



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRA  
MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON DRONES, EN LA PARROQUIA BELISARIO  
QUEVEDO, BOSQUE ANTENAS DEL PICHINCHA**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: MARTHA ELISA LEÓN IPO

TUTOR: CÉSAR IVÁN ÁLVAREZ MENDOZA

Quito, Ecuador

2022

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

Yo, Martha Elisa León Ipo con documento de identificación No: 0604729798, manifiesto que:

Soy la autora 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, 4 de mayo del año 2022.

Atentamente,



---

Martha Elisa León Ipo  
0604729798

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

Yo, Martha Elisa León Ipo con documento de identificación No. 0604729798, 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 autora del Trabajo experimental: “Análisis de Susceptibilidad de Riesgo por Deslizamiento de Tierra mediante Fotogrametría con Drones, en la Parroquia Belisario Quevedo, Bosque Antenas del Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera 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, 4 de mayo del año 2022.

Atentamente,



---

Martha Elisa León Ipo  
0604729798

## **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 SUSCEPTIBILIDAD DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE TIERRA MEDIANTE FOTOGRAMETRÍA CON DRONES, EN LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, BOSQUE ANTENAS DEL PICHINCHA, realizado por Martha Elisa León Ipo con documento de identificación N° 0604729798, 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, 4 de mayo del año 2022

Atentamente,



---

Ing. César Iván Álvarez Mendoza PhD.  
1720100922

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, por ser una guía en mi vida, así como a mis Padres Mariano y Juana, quienes han apoyado de manera incondicional en cada etapa de mi vida, por toda su confianza en mí, siendo ellos mi motivación para que día a día crezca como persona y profesionalmente.

A mi hermano José, quien ha sido como mi segundo padre, por ser un hermano ejemplar, por estar siempre apoyando de manera incondicional, al igual que a mi hermana Alexandra por apoyarme en todo momento.

A toda mi familia por darme ánimos en los momentos difíciles y poder contar con apoyo de cada uno de ustedes.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y mis hermanos por todo su cariño, esfuerzo y apoyo en prepararme profesionalmente.

A mi docente Tutor Dr. César Iván Álvarez, por compartir su experiencia profesional, tiempo y guía en todo momento.

A los ingenieros Renato Sánchez, Víctor Rueda y Carlos Vélez, quienes me dieron gran apoyo en cada trámite correspondiente para el uso de equipos y el laboratorio ambiental.

A Katherine Molina, Alfredo Sierra y Andrés Valdivieso, por su gran aporte en este trabajo.

Un agradecimiento especial a mi Universidad Politécnica Salesiana por haberme formado académicamente, a todos mis docentes por compartir sus conocimientos y experiencias profesionales, a mis amigos de carrera por estar siempre presentes Ale, Andy, Edwin, Katys y Mauri.

## INDÍCE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Pregunta de la Investigación .....	4
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivo General .....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. Hipótesis .....	4
1.4. Ubicación Geográfica .....	5
1.5. Descripción de las características generales del área de estudio .....	6
1.5.1. Clima.....	6
1.5.2. Precipitación .....	6
1.5.3. Temperatura .....	6
1.5.4. Hidrografía.....	6
1.5.5. Geología.....	6
1.5.6. Topografía.....	7
1.6. Historia de deslizamientos en el Distrito Metropolitano de Quito .....	7
1.7. Susceptibilidad de deslizamientos en el Distrito Metropolitano de Quito.....	9
1.8. Situación actual frente a Riesgos Naturales.....	10
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
2.1. Marco Teórico.....	12
2.1.1. Susceptibilidad.....	12
2.1.2. Amenaza .....	12
2.1.3. Riesgo .....	12
2.1.4. Vulnerabilidad.....	13
2.1.5. Deslizamientos.....	14
2.1.6. Deslizamientos en laderas.....	14
2.1.7. Clasificación de Movimientos en Masa.....	16
2.1.8. Clasificación de Deslizamientos .....	16
2.1.9. Deslizamiento Traslacional.....	16
2.1.10. Deslizamiento Rotacional .....	17
2.1.11. Sistema de Información Geográfica.....	17
2.1.12. Vehículos Aéreos No Tripulados.....	17
2.1.13. Usos de UAV's .....	18
2.1.14. Legislación Nacional Ecuatoriana para la Regulación de drones .....	18
2.1.15. Drone Phantom 4 Pro.....	20
2.1.16. Sistema de Posicionamiento Global GPS .....	22
2.1.17. Global navigation Satellite System. (GNSS).....	23
2.1.18. Sistema de posicionamiento global -GPS DIFERENCIAL.....	25
2.1.19. GPS E300 PRO- Survey .....	25
2.1.20. Método Estático .....	27
2.1.21. Posicionamiento GNSS de Puntos de control.....	27
2.1.22. Trimble Bussines Center.....	28
2.1.23. PIX4DMapper.....	28
2.1.24. Fotogrametría .....	29
2.1.25. Structure from motion (SfM).....	29

2.1.26.	Nube de Puntos .....	30
2.1.27.	Ortomosaico .....	30
2.1.28.	Modelos Digitales de Elevación. ....	30
2.1.29.	Modelos Digitales de la superficie.....	31
2.1.30.	DroneDeploy .....	31
2.1.31.	UAV Forecast .....	31
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1.	Propiedades del suelo del área de estudio.....	33
3.1.1.	Distribución de partículas del suelo -Método de Hidrometro de Bouyoucos ASTM D4622-63 .....	34
3.1.2.	Índice de dispersión de suelos-Método Doble Hidrómetro ASTM D42221-99 .....	35
3.1.3.	Estabilidad de Agregados-Método de Tamizado Húmedo .....	35
3.1.4.	Materiales y Equipos para determinar la distribución de partículas, Índice de dispersión y estabilidad del suelo.....	36
3.2.	Puntos de control terrestre y Planificación de Vuelos .....	37
3.2.1.	Materiales y Equipos para Recolección de datos GNSS .....	38
3.3.	Post-Procesamiento de Puntos de Control Trimble Business Center. ....	41
3.4.	Obtención y procesamiento de las imágenes aéreas .....	43
3.4.1.	Planificación del Vuelo.....	43
3.4.2.	Equipos y Software para el levantamiento y procesamiento de las fotografías aéreas .....	46
3.4.3.	Procesamiento de las fotografías con tecnología SfM mediante Pix4D ..	46
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
4.1.	Análisis de propiedades Físicas del Suelo del Área de Estudio.....	50
4.2.	Análisis de Resultados Puntos de Control .....	54
4.3.	Análisis de Ortomosaicos y Modelo digital de Superficie.....	59
4.4.	Análisis de resultados del desplazamiento diferencial a partir de los puntos de objetos.....	63
4.5.	Resultados de Movimiento Posicional de Puntos de Objeto entre octubre y diciembre.....	67
4.6.	Resultados de Vectores de velocidad anual .....	70
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
5.1.	Conclusiones .....	74
5.2.	Recomendaciones .....	76
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>77</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>85</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Clasificación de los deslizamientos según Varnés 1987.....</i>	16
<b>Tabla 2</b>	<i>Especificaciones de Receptor GNSS.....</i>	26
<b>Tabla 3</b>	<i>Rendimiento de RMS.....</i>	27
<b>Tabla 4</b>	<i>Equipos y Software para toma de puntos de control y Post-Procesamiento.....</i>	38
<b>Tabla 5</b>	<i>Planificación de fechas de Vuelos.....</i>	44
<b>Tabla 6</b>	<i>Equipos y Software para procesamiento en PIX4D Mapper.....</i>	46
<b>Tabla 7</b>	<i>Propiedades de suelos de Área de Estudio.....</i>	50
<b>Tabla 8</b>	<i>Criterio de clasificación de la estabilidad agregada de Yoder.....</i>	51
<b>Tabla 9</b>	<i>Criterio de clasificación para el índice de porcentaje de dispersión.....</i>	52
<b>Tabla 10</b>	<i>Clasificación de mapa de pendientes y sus características.....</i>	53
<b>Tabla 11</b>	<i>Resultados de post procesamiento en TBC.....</i>	55
<b>Tabla 12</b>	<i>Resultados promedio de Error Medio Cuadrático (RMS) de 3 meses.....</i>	58
<b>Tabla 13</b>	<i>Errores de RMS medidos de los GCP.....</i>	59
<b>Tabla 14</b>	<i>Magnitud de Movimiento vertical y Horizontal(cm) de puntos de objeto ...</i>	65
<b>Tabla 15</b>	<i>Movimiento Posicional por coordenadas entre T1-T3.....</i>	68
<b>Tabla 16</b>	<i>Vectores de velocidad anual de los puntos de objeto por ejes.....</i>	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Ubicación del área de estudio</i> .....	5
<b>Figura 2</b> <i>Numero de deslizamientos en el DMQ 2005-2015</i> .....	8
<b>Figura 3</b> <i>Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en DMQ</i> .....	10
<b>Figura 4</b> <i>Mapa de segregación Urbana, invasiones y zonas de riesgo por deslizamientos en DMQ</i> .....	11
<b>Figura 5</b> <i>Partes de un deslizamiento</i> .....	15
<b>Figura 6</b> <i>Partes del Drone Phantom 4 Pro</i> .....	21
<b>Figura 7</b> <i>Partes de Control Remoto</i> .....	22
<b>Figura 8</b> <i>GPS E300 PRO</i> .....	25
<b>Figura 9</b> <i>Estructura de funcionamiento de SfM</i> .....	29
<b>Figura 10</b> <i>Esquema de Metodología Aplicada</i> .....	33
<b>Figura 11</b> <i>Ubicación de Puntos de control (GCP)</i> .....	38
<b>Figura 12</b> <i>Recoleccion de datos GNSS-GPS</i> .....	39
<b>Figura 13</b> <i>Controladora con Software SurPad 4.0</i> .....	40
<b>Figura 14</b> <i>Página Principal para descarga de datos crudos</i> .....	41
<b>Figura 15</b> <i>Coordenadas Geográficas Entre Base de la IGM- Base del área de estudio</i> .....	42
<b>Figura 16</b> <i>Distribución de puntos de control dentro del área de estudio</i> .....	43
<b>Figura 17</b> <i>Delimitación de plan de vuelo</i> .....	44
<b>Figura 18</b> <i>Mapa de áreas a monitorear por 3 meses</i> .....	45
<b>Figura 19</b> <i>Mapa de pendientes de la vulnerabilidad estructural del área de estudio</i> .....	52
<b>Figura 20</b> <i>Zonas de riesgo por deslizamiento</i> .....	54
<b>Figura 21</b> <i>Desacoplamiento de Punto 4</i> .....	57
<b>Figura 22</b> <i>Desacoplamiento de Punto 5</i> .....	58
<b>Figura 23</b> <i>Puntos de Control y Puntos de Objeto</i> .....	60
<b>Figura 24</b> <i>Mapa de Modelo Digital de la superficie octubre</i> .....	61
<b>Figura 25</b> <i>Mapa Modelo digital de la superficie diciembre</i> .....	62
<b>Figura 26</b> <i>Movimiento Bidimensional de Puntos de objeto</i> .....	63
<b>Figura 27</b> <i>Representación de <math>\Delta S</math> y <math>\Delta H(cm)</math> en T1-T3</i> .....	67
<b>Figura 28</b> <i>Representación de mapa de vectores de Velocidad anual</i> .....	71

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> <i>Procedimientos para determinar las características físicas del suelo .....</i>	<b>85</b>
<b>Anexo 2</b> <i>Informe de procesamiento de GCP y Reporte de calidad de PIX4D.....</i>	<b>88</b>
<b>Anexo 3</b> <i>Presencia de árboles caídos, deforestación y deslizamientos en el área de estudio</i>	<b>89</b>

## RESUMEN

La presente investigación se realizó para analizar la susceptibilidad de deslizamiento de tierra por las actividades antrópicas o naturales en Bosque Antenas del Pichincha del DMQ. En la actualidad los deslizamientos de tierra ocurren con mayor frecuencia ya sea por las condiciones climáticas como las precipitaciones continuas, o por eventos naturales como los sismos, generando preocupación e inseguridad a la población. Para realizar este estudio se utilizó un vehículo aéreo no tripulado que permitió obtener la información geográfica de las zonas de difícil acceso y recopilar los datos donde ya hay deslizamientos muy pequeños. Los vuelos se realizaron durante los meses octubre, noviembre y diciembre, con el objetivo de determinar la posible dirección y modificación de las coordenadas de ubicación del modelo desarrollado, en cada periodo se analizó 400 fotografías aproximadamente, además se utilizó un GPS diferencial de doble frecuencia para colocar los 7 puntos de control terrestre, cuyas coordenadas se obtuvo con el método estático GNSS. Para procesar las imágenes obtenidas se utilizó el software PIX4D, en cada periodo se recopiló la información de error medio cuadrático (RMS) y distancia de muestreo del suelo (GSD), como resultados del procesamiento se obtuvo Modelo digital de la superficie y ortomosaico. Los resultados obtenidos de primer periodo el RMS máximo = 0,0235m y GSD 0,0352m, para el periodo 3 se obtuvo RMS máximo de 0,0132 m y GSD de 0.0304 m. Para el modelo de ubicación y altura la comparación de movimientos entre el periodo T3 y T1, el valor de desplazamiento bidimensional fue de 1,7 m. y la variación de la altura de 1,031 m.

**Palabras clave:** Susceptibilidad, deslizamientos, vehículos aéreos no tripulados, estructura de movimiento, modelo digital de la superficie, ortomosaico

## ABSTRACT

The present investigation was conducted to analyze the susceptibility of landslides for the activities anthropogenic or natural in Pichincha Antennas Forest of the DMQ. In the actuality the landslides happen more frequently, either due to climatic conditions such as continuous rainfall, or due to natural events such as earthquakes generating concern for the population. To carry out this study used an unmanned aerial vehicle (UAV), was used to get geographic information on areas of difficult access and collect data where there are very small landslides. The flights were carried out during the months of October, November and December with the objective of determining the possible direction and modification of the location coordinates of the developed model. Approximately 400 photographs were analyzed in each period, in addition, a dual-frequency differential GPS was used to place the 7 ground control points, whose coordinates were obtained with the static GNSS method. To process the images obtained, the PIX4D software was used, in each period the information of root mean square error (RMS) and Ground Sampling Distance (GSD) was collected, as outputs of the processing, a digital model of the surface and orthomosaic was obtained for the location and height. The results obtained from the first period the maximum RMS = 0.0235m and GSD 0.0352m, for period 3 maximum RMS of 0.0132 m and GSD of 0.0304 m were obtained, the comparison of movements between the period T3 and T1, the value of two-dimensional displacement was 1.7 m and the variation of the height of 1.031m.

**Keys words:** Susceptibility, landslides, unmanned aerial vehicles, structure from motion, digital surface model, orthomosaic.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los movimientos de masa o también llamados deslizamientos son considerados como un fenómeno destructivo a nivel mundial, ocurren por la combinación de varios factores geológicos, geomorfológicos, condiciones climáticas y por las acciones antrópicas, dejando numerosas pérdidas en el ámbito social, económico y ambiental (Suarez, 1988).

“La ocurrencia de los deslizamientos se presenta con mucha incertidumbre por tener diversas formas de falla, velocidad de movimiento y condiciones de los materiales, donde las zonas montañosas tropicales y las laderas son más susceptible a sufrir problemas de deslizamientos”(Onel et al., 2017).

En el Distrito Metropolitano de Quito los deslizamientos ocurren con mucha frecuencia, es por ello, que desde septiembre del 2021 la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA), en conjunto con el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) y del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ), ejecutaron un proyecto denominado “Desarrollo de Capacidades en Reducción del Riesgo de Desastre en Pendientes a Nivel Técnico y Territorial”. Con la finalidad de efectuar un reconocimiento de la situación de la ciudad frente a la ocurrencia de deslizamientos, el propósito de este estudio será; aplicar medidas preventivas frente a los deslizamientos, en base a los análisis de peligros y la evaluación de riesgos, que permitirá estructurar y fortalecer el sistema de alerta temprana por deslizamientos.(Petroenergia, 2021)

Para realizar el estudio de análisis de susceptibilidad de deslizamiento, es importante recopilar información de los datos sobre deslizamientos ocurridos en el pasado, ya que esta información permitirá predecir futuros deslizamientos (Turner et al., 2015).

Una de las técnicas actuales para obtener la información geográfica para la gestión de riesgos, es mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) o comúnmente conocido como el dron. El uso de los (UAV), ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad para los trabajos de ingeniería, planificación territorial, arquitectura, agricultura, militar, etc., destacando la eficiencia y optimización de tiempo (Ouédraogo et al., 2014).

Actualmente, la tecnología UAV, es una alternativa que permite analizar, evaluar, y monitorear un área de interés, gracias a su amplia gama de aplicaciones integrados como; el Sistema de Posicionamiento Global, Unidades de medición Inercial (IMU), cámara de alta resolución que permite obtener imágenes aéreas, que proporciona información de la ubicación, por consiguiente, esta información es procesada en un software especializado y hace posible realizar mediciones sobre las mismas, generando resultados de modelos 3D, a este proceso se le conoce como la fotogrametría (Costales, 2018).

La fotogrametría es una técnica que permite, definir formas, dimensiones y situación espacial de cualquier objeto en 3D. Para obtener una buena precisión en las reconstrucciones es importante georreferenciar con un GPS de alta precisión, donde los puntos de control deben ser bien distribuidos y perceptibles al momento de realizar las fotografías aéreas (Yaprak et al., 2018). La fotogrametría aérea georreferenciada permite obtener ortomosaicos, modelos digitales de superficie, modelos digitales de elevación, de un área específica en estudio (Olarte, 2017). Los modelos 3D son proyecciones ortogonales que presentan las propiedades geométricas de un plano, lo cual hace posible realizar mediciones exactas sobre la misma y a su vez que pueda ser exportada a otros programas de diseño y modelación (Costales, 2018).

Ante esta perspectiva, el presente estudio pretende analizar la susceptibilidad de riesgo por deslizamiento de tierra mediante la combinación de tecnología UAV (Vehículo aéreo no tripulado) y GPS diferencial, en el bosque de Antenas del Pichincha Norte de Quito. Para la cual se adaptó una metodología que se dividió en tres fases: primero la obtención de

información a través de las fuentes bibliográficas, segundo trabajo de campo para tomar los puntos de control, ejecución de planes de vuelo y muestreo de suelos para reconocer las características físicas de la estabilidad del suelo y por último procesamiento de la información y la modelación de vectores de velocidad de movimientos en el software ArcGis.

El crecimiento demográfico e industrial del DMQ ha incrementado radicalmente en las dos últimas décadas principalmente en los sectores periféricos y en los extremos norte y sur de la capital, es así que se puede evidenciar alto crecimiento demográfico en el sur en los barrios cercanos al parque metropolitano y en el norte los sectores de Calderón y San Antonio de Pichincha (Secretaria de Planificación del DMQ., 2015). Así mismo, se ha evidenciado un alto crecimiento demográfico en las laderas de del Pichincha Noroccidente de Quito, donde los barrios; La Primavera, San Vicente de las Casas, Vista Hermosa, y la Comuna Alta, se encuentran bajo la presión del crecimiento de viviendas de una forma muy desordenada.

Según Demoraes y D'ercole (2001), en su investigación denominado "La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito", identificó a más de 80 zonas vulnerables a deslizamientos e inundaciones, una de las causas principales, es por el crecimiento urbano en las franjas de riesgo, que aumenta los niveles de vulnerabilidad ante los diferentes tipos de amenazas.

Según el informe Atlas de Riesgos (2015) del DMQ, 90 barrios han sido definidos como susceptibles a deslizamientos de tierra, por su ubicación en los lugares periféricos con altas pendientes y orillas de las quebradas.

La Secretaria de Gestión de Riesgos (2020), ha determinado 77 taludes que están en situación de vulnerabilidad, siendo las más visibles los taludes que se ubican en la vía Simón Bolívar, Ruta Viva, en la zona norte, la inestabilidad del suelo se registra en Miraflores, Altamira, San José, Santa Anita, Bellavista, las Casas, La Comuna, La Gasca, El Pinar Alto y el Osorio.(Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad, s. f.)



## **1.1. Pregunta de la Investigación**

¿Cuán susceptible a sufrir daños son los barrios San Vicente de las Casas y La Primavera, ante los deslizamientos de tierra en el bosque Antenas del Pichincha? En el estudio realizado por 3 meses evaluando los deslizamientos existentes el área de estudio de 5 tramos.

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo General***

Evaluar el riesgo potencial por movimiento de tierra con el uso de drones y la técnica de fotogrametría que permita analizar las amenazas en el área de estudio.

### ***1.2.2. Objetivos Específicos***

- Establecer la línea base del área de estudio y caracterizar el medio físico, biótico y social, del área de influencia directa del estudio.
- Obtener información geográfica e imágenes satelitales del área de estudio utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV) drones y la información satelital disponible.
- Establecer medidas de protección para la población de las áreas de influencia directa e indirecta mediante la realización de mapas temáticos digitales con la información geográfica obtenida de los UAV que represente el grado de afectación mediante el uso de sistemas de información geográfica online.

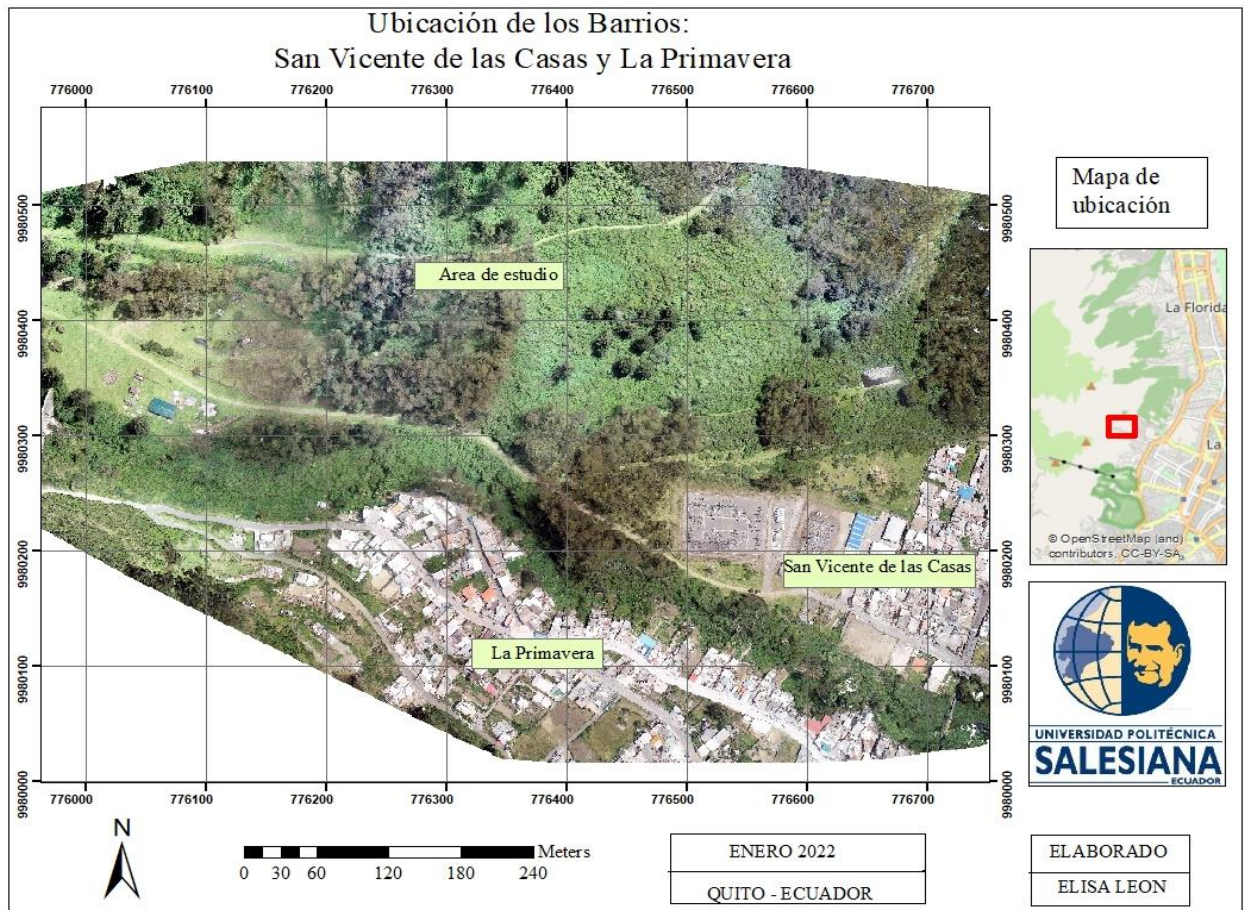
## **1.3. Hipótesis**

Los barrios San Vicente de las Casas y la Primavera son susceptibles a sufrir las consecuencias de deslizamientos de tierra debido a la ubicación geográfica con altas pendientes en las faldas de Bosque Antenas del Pichincha, uso de suelos, y el crecimiento urbano en un contexto de vulnerabilidad física y falta de planificación urbana.

#### 1.4. Ubicación Geográfica

El presente estudio se llevó a cabo en la parroquia Belisario Quevedo, bosque Antenas de Pichincha. Colindante con barrios La Primavera y San Vicente de las Casas del Distrito Metropolitano de Quito, en las coordenadas de ubicación UTM WGS84, este 776662.7586m, norte 9980127.7660m y 3075,4557 msnm, mismas que se encuentran en las faldas del Ruccho Pichincha. El área de estudio cuenta con una superficie de 26,096 hectáreas.

*Ubicación del área de estudio*



*Nota.* Mapa de ubicación del área de estudio y barrios San Vicente de las Casas y La Primavera.

Fuente: La investigación.

## **1.5. Descripción de las características generales del área de estudio**

### **1.5.1. Clima**

“El clima de Quito es variable, debido a su orografía, topografía y la presencia de microclimas en su entorno. Tiene dos estaciones; el invierno y el verano en función al régimen pluviométrico”.(D. Salazar et al., 2015).

### **1.5.2. Precipitación**

Uno de los elementos principales del clima es la precipitación, siendo uno de los factores determinantes para eventos como deslizamientos, flujos de lodo, etc., recibe un promedio de precipitación anual sobre los 1400mm a 2000mm/año (Boada, 2012). La humedad relativa en el DMQ es de 75% (Sasso et al., 2011).

### **1.5.3. Temperatura**

“La temperatura es un factor meteorológico que tiene variación muy alta en el DMQ, la temperatura media anual es de 14,5°C, sin embargo, en las oscilaciones diarias, la media mínima es de 9,5°C, y la media máxima de 21°C” (D. Salazar et al., 2015).

### **1.5.4. Hidrografía**

El principal río en DMQ es el río Machangara, originada desde el cerro Atacazo, el río Monjas que se origina en las laderas del volcán Rucu Pichincha con una altitud de 1660msnm.(Sasso et al., 2011)

### **1.5.5. Geología**

Quito se encuentra situada en el seno topográfico formado en su mayoría por productos volcánicos y sedimentarios, ubicado a lo largo de la Cordillera Occidental de los Andes delimitado por el volcán Casitagua por el norte, la falla de Quito por el Este, las faldas orientales de Pichincha por el oeste y el volcán Atacazo por el sur.(Geotecnia, 2020)

### **1.5.6. Topografía**

En el DMQ la topografía es irregular por las condiciones geológicas de asentamiento, la topografía en las faldas de pichincha oscila desde 3.000m a 4.200m, se consideran como pendientes muy inclinadas (Geotecnica, 2020).

### **1.6. Historia de deslizamientos en el Distrito Metropolitano de Quito**

El Distrito Metropolitano de Quito debido al contexto geodinámica, geomorfológico, hidroclimático y antrópico, las amenazas por deslizamientos son numerosas y variadas, algunos lugares tienen la probabilidad de ocurrencia muy alta.

Los deslizamientos corresponden a desplazamiento en masa de terrenos de una pendiente, se trata regularmente movimiento de taludes de algunos metros de altura que se vienen abajo, pudiendo dejar pedidas estructurales, económicos, e incluso pérdida de vidas humanas., estos accidentes son más frecuentes en la época lluviosa y están relacionados con el debilitamiento superficial por exceso de humedad al borde de los taludes.(D'Ercole y Metzger, 2015)

En el DMQ, se ha vivido varios eventos de deslizamientos, los Quiteños en especial los habitantes de La Primavera y San Vicente de las Casas destacan: el hecho ocurrido en el año 1975, el aluvión de la Gasca que dejó desconectado al resto de la ciudad, este hecho sucedió debido a la ruptura de una barrera natural de ramaje y desechos formada en el curso de la quebrada de Pambachupa, arrastrando flujos de lodo hasta la avenida 10 de agosto.

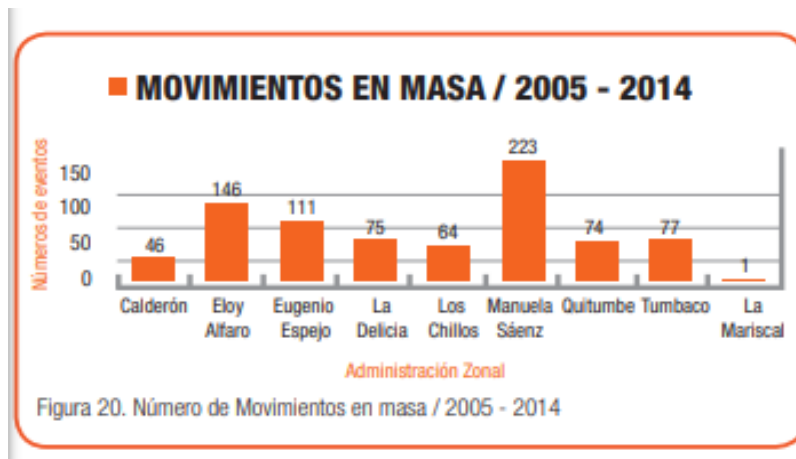
En el año 2000 debido a un invierno fuerte ocurrió un deslizamiento en el barrio Santa Teresita dejando como resultado destrucción de viviendas, pérdida de vidas humanas. Desde el año 1973 hasta el mes de Agosto de 2014 se registraron 173 deslizamientos de mayor relevancia en el DMQ (J. Salazar, 2016).

Según el informe Atlas de Amenazas Naturales (2015), en el DMQ, se registró 817 deslizamientos, entre los años 2005-2014, de las cuales en la administración zonal Manuela

Sáenz se registró 223 deslizamientos, seguido por la administración zonal Eloy Alfaro y Eugenio espejo.



*Numero de deslizamientos en el DMQ 2005-2015.*



*Nota.* la imagen representa datos estadísticos de movimientos de masa por cada administración zonal del DMQ Obtenido de (Salazar et al., 2015).

Desde noviembre de 2018 a marzo de 2019 en el DMQ, se registraron 63 movimientos de masa, destacando el deslizamiento ocurrido en el barrio Pinar Alto y el Osorio.(Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad)

Según Diario el Comercio (2020) desde septiembre del 2019 hasta enero de 2020 se registraron 59 emergencias de deslizamientos de tierra. En el mes de marzo de 2021, hubo deslizamientos de tierra en la avenida los conquistadores tramo que conecta una de las principales avenidas Simón Bolívar. En el mes de octubre del 2021 sucedió deslizamientos de tierra en la avenida Velasco Ibarra, Balcón del Valle debido a las fuertes lluvias. Durante el sismo de 4.7° ocurrido el día 23 de noviembre del 2021 ocurrió deslizamientos en diferentes tramos de la avenida Simón Bolívar y entrada a túnel de Guayasamin, debido a las fallas geológicas que presenta estas zonas.

### **1.7. Susceptibilidad de deslizamientos en el Distrito Metropolitano de Quito**

La susceptibilidad a sufrir consecuencias del deslizamiento de tierra en el DMQ, es muy alto, varios estudios han determinado que la estabilidad estructural, el crecimiento urbano en periferias y las condiciones climáticas son elementos que contribuyen formar los escenarios ideales donde pueda ocurrir los deslizamientos, la susceptibilidad se define a través de dos factores: condicionantes y detonantes. Los factores condicionantes son consideradas como las condiciones geológicas, geomorfología, topográficas, el uso y la cobertura vegetal del suelo, los factores detonantes se conocen como; son la sismicidad y la ocurrencia de precipitación.(Chaverri, 2016).

El DMQ ofrece condiciones ideales para que ocurra los deslizamientos, derrumbes o todo tipo de movimiento de masa, siendo más susceptibles las zonas húmedas o tipo tropical donde predominan los deslizamientos, mientras que en las zonas secas, donde reciben precipitaciones anuales por debajo de 1400mm o bajas precipitaciones con suelos descubiertos predominan el flujo de lodos, los deslizamientos y desprendimientos que se generan en las orillas de las quebradas, taludes de vías, en pendientes mayores a 30°.(Salazar et al., 2015)

Mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en DMQ



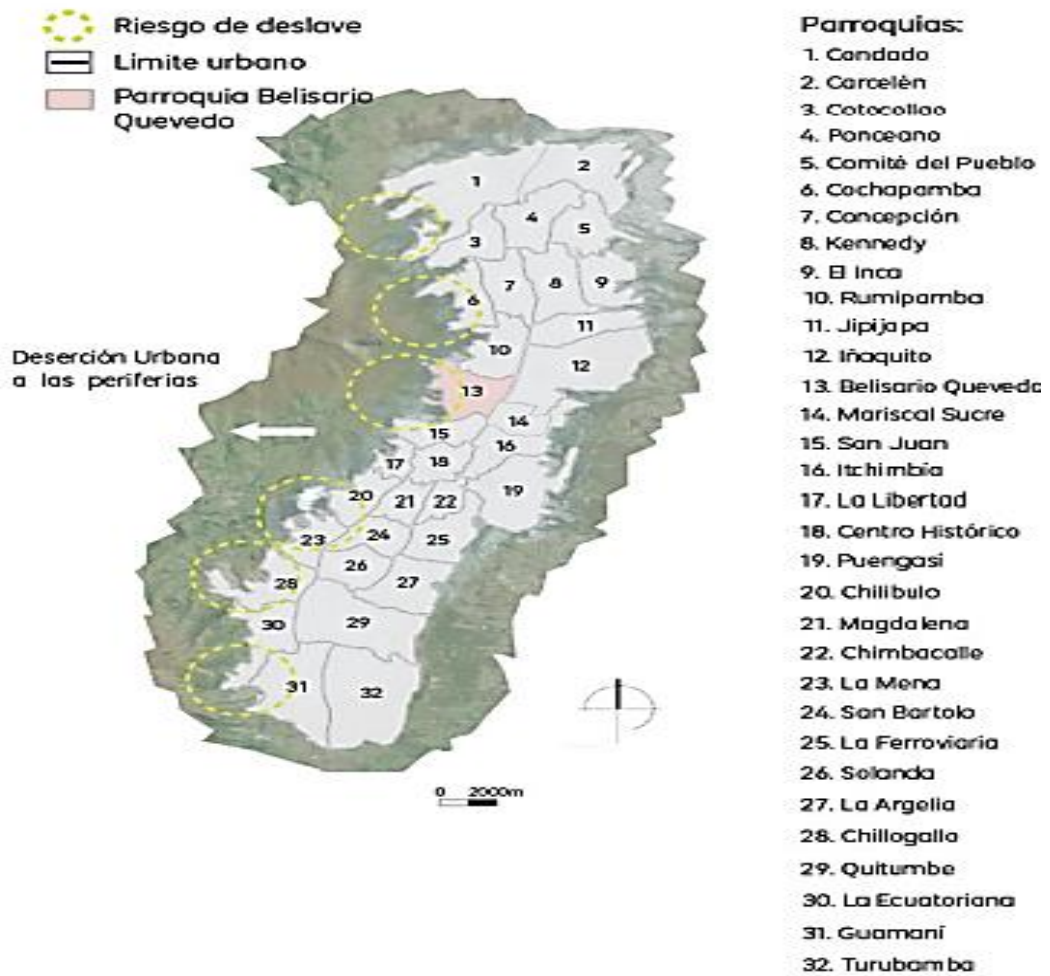
Nota. este mapa aborda el espacio cubierto por la ciudad de Quito, permitiendo identificar las zonas donde hay gran posibilidad de ocurrencia de deslizamientos por los factores condicionantes y detonantes. En cuanto corresponde al área de estudio, la parroquia Belisario Quevedo, perteneciente a la de Zona Eugenio Espejo y según la representación del mapa pertenece a una categoría alta en susceptibilidad de deslizamientos, al igual que muchas zonas extremas de la ciudad.

Tomado de (Diario el Comercio, 2020)

### 1.8. Situación actual frente a Riesgos Naturales

Los barrios que se sitúan en las faldas de Pichincha tales como San Vicente de Las Casas, La Primavera, la Comuna, el Pinar Alto, Ñaquito Alto, el Osorio y otros barrios más están ubicados en zonas de riesgo a deslizamientos por las condiciones topográficas (D’Ercole & Metzger, 2015). En estas zonas las construcciones de viviendas están ubicadas en pendientes muy inclinadas, al pie de la montaña y las construcciones al filo de la quebrada, exponiéndose al riesgo de deslizamiento consecuentemente.

Mapa de segregación Urbana, invasiones y zonas de riesgo por deslizamientos en DMQ.



Nota. La imagen representa el riesgo por deslizamientos de 32 parroquias de Quito, destacando que los puntos críticos de barrios periféricos de parroquia el Condado, la Concepción, Belisario Quevedo, Chilibulo, La Mena, Chillogallo, Guamani.

Tomado de:(Rivera, 2021)



## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. Marco Teórico

#### 2.1.1. *Susceptibilidad*

“Se define como predisposición natural o potencial que tiene una área donde se puede ocurrir fenómenos de remoción en masa, por factores que contribuyen directamente como es la geología, geomorfología, precipitación, uso del suelo, cortes naturales, y/o artificiales”.(Chaverri, 2016).

#### 2.1.2. *Amenaza*

“Se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructivo dentro de un periodo de tiempo y en lugar determinado”.(Cardona, 2001)

Las amenazas pueden ser naturales o antrópicas, las naturales se caracterizan por ser originadas por la fuerza de la naturaleza donde no existe intervención humana, estas características pueden ser de origen geológico, hidrometeorológicos, sismicidad, sequías, huracanes, inundaciones, tsunamis y deslizamientos, las antrópicas son causadas por la maniobra del hombre.

#### 2.1.3. *Riesgo*

Se define como la probabilidad de que una amenaza genere pérdidas en diferentes ámbitos como; social, ambiental, económico. Por lo tanto, el riesgo estima las pérdidas y daños conforme a magnitud. No hay una sola definición como tal, cada concepto determina probabilidad de ocurrencia y el impacto que causaría cada evento.

Según Lee (2009) define los 3 mejores conceptos para entender el significado de riesgo.

- El riesgo es una condición que requiere la intervención humana para contrarrestar la magnitud del impacto de las consecuencias adversas que surgen de un evento, circunstancia o acción.

- El riesgo es la probabilidad de diferentes niveles de daños potenciales que nacen de un evento o circunstancia, el riesgo puede ser futuro o actual.
- Los riesgos incluyen pérdidas o daños como económicos como ambientales, el riesgo individual o social dado por muerte o lesiones

El riesgo se determina por:

$$Riesgo = Probabilidad(deslizamiento de tierra) * consecuencias.$$

#### **2.1.4. Vulnerabilidad**

Según Donoso (2017) define como “las características que posee cada elemento, dichas características lo vuelven frágil de recibir los efectos de un evento adverso. Las características pueden provenir de otros factores físicos, ambientales, sociales y económicos”.

La Vulnerabilidad se define como “el grado de pérdida de un elemento dado, o un conjunto de elementos en riesgo como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada, el nivel de poblaciones, propiedades, actividades económicas en riesgo”.(Soeters y Van Westen, 1996)

La vulnerabilidad depende directamente del grado de exposición, protección como medios de defensa y la resiliencia de adaptarse a nuevos cambios, la reacción, recuperación y la reconstrucción inmediata.

Wilches Chau define tipos de vulnerabilidad en 10 conceptos, para vulnerabilidad física, económica, social, política, técnica, ideológica y la vulnerabilidad cultura, a todas estas características de vulnerabilidad se conoce como la vulnerabilidad global (Chaux, 1993).

El reconocimiento de vulnerabilidad tiene como resultado una correspondencia representada en la siguiente ecuación (Torres, 2007)

$$C = HxExV$$

**Donde:**

C= Consecuencia Adversa

H = Evento de peligro de deslizamiento

E = Total de elementos en peligro o en riesgo incluyendo: (población, estructuras, actividad económica servicios, etc.)

V= Vulnerabilidad Proporción a E, reducida por un evento de peligro de deslizamiento.

Se debe tener presente que el peligro de deslizamiento varia con el tiempo la cual arroja resultados de diferentes niveles.

#### **2.1.5. Deslizamientos**

Es un proceso de degradación natural, movimiento perceptible ladera abajo de una masa de suelo, roca o combinación de las mismas la cual ocurre en una superficie de ruptura o falla, la formación de grietas transversales es la señal principal de que pueda existir algún tipo de movimiento, la ruptura de la superficie es la que define qué tipo de deslizamiento puede ocurrir y puede ser de carácter catastróficos.(Alcántara, 2000)

Los deslizamientos pueden ocurrir de manera natural o antrópica generalmente son causados por la fuerza de gravedad, que permite movilizar la roca, los suelos sobre la pendiente generalmente este proceso es causado por la erosión y desgaste de masas. La gravedad es una de las fuerzas que actúa permanentemente sobre una pendiente y los deslizamientos solo ocurren cuando la gravedad excede la resistencia del material.(USAID, 1993) la susceptibilidad a deslizamientos es inherente a las condiciones de cada aérea específica.

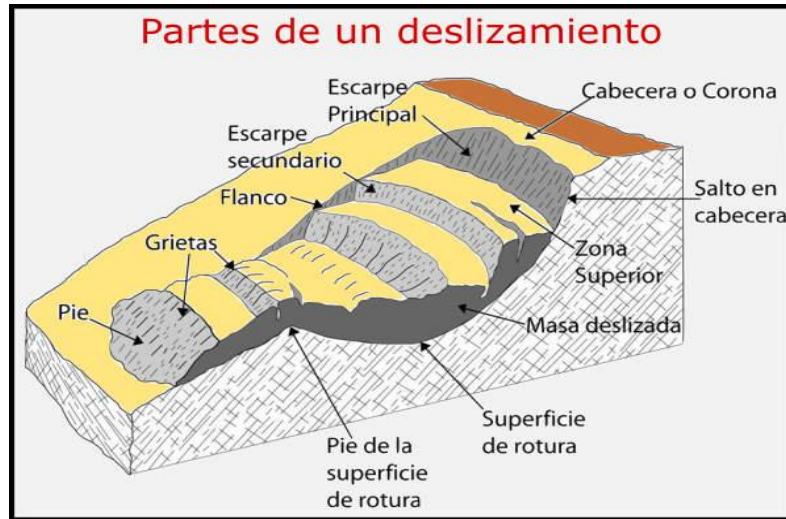
#### **2.1.6. Deslizamientos en laderas**

Son procesos de movilización de masas sobre una superficie, puede ser lenta o rápida, ocasionalmente las laderas donde la pendiente es mayor a 30° son más propensos a sufrir este tipo de movimientos de suelos, detrios o roca e incluso ambos, donde la fuerza de gravedad actúa constantemente, a estos procesos le acelera los agentes erosivos como la precipitación

la condición meteorológica, de tal forma que el agua aumenta las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo.(INDECI, 2011)



### Partes de un deslizamiento



Nota. La figura ilustra las partes un deslizamiento y su estructura.

Tomado de Manual de Estimacion del Riesgo ante Movimientos en Laderas por (INDECI, 2011)

La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, las partes principales de un deslizamiento se divide en 15. *El escarpe principal*, es una superficie de pendiente muy pronunciada, *escarpe secundario*, superficie abrupta del material desplazado, *cabeza*, porción superior del material desplazado, *cima*, contacto entre material desplazado con el escarpe principal, *pie de la superficie de ruptura*, intersección con la parte inferior de la superficie y superficie original, *punta del pie*, alcance del material desplazado de la escarpa principal, *puntera*, punto más alejado desde la cima, *pie*, material desplazado pendiente abajo, *cuero principal*, material desplazado entre la escarpa principal y pie, *flanco*, constancia de deslizamientos de tierra, *corona*, material no desplazado entre las principales escarpas, *superficies de separación*, separa el material desplazado y área estable, *material desplazado*, material deforme de su posición original, *zona de agotamiento*, material desplazado queda

debajo de la superficie inicial y *Zona de acumulación* dentro de la cual el material desplazado queda encima de la superficie original del terreno.(INDECI, 2011)

### 2.1.7. Clasificación de Movimientos en Masa

Los movimientos de tierra se clasifican en: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, programaciones laterales, reptaciones.

**Tabla 1.**

*Clasificación de los deslizamientos según Varnés 1987.*

Tipo de Movimiento	Tipo de Material		
	Roca	Suelo	
		Grueso	Fino
<b>Caída</b>	Roca	Destríos	Suelos
<b>Volcamiento</b>	Roca	Detritos	Suelos
<b>Deslizamiento</b>	Rotacional Traslacional	Roca Detritos	Suelos
<b>Separación Lateral</b>	Roca	Detritos	Suelos
<b>Flujos</b>	Roca	Detritos	Suelos
<b>Movimientos complejos</b>	Combinación de dos o más peligros		

*Nota.* Esta tabla representa la clasificación de deslizamientos y los tipos de materiales según Varnés 1978.

### 2.1.8. Clasificación de Deslizamientos

Los deslizamientos se clasifican según la forma de ruptura o falla en la superficie y como se trasladan los materiales.

### 2.1.9. Deslizamiento Traslacional

Es un movimiento rápido o lento de una masa de suelo, la masa se mueve a lo largo de una superficie casi plana u ondulada en el sentido de la ladera a veces canalizada en secciones transversales.(Olarte, 2017) son caracterizados por movimientos superficiales de materiales no cohesivos y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de las discontinuidades sobre planos de fallas o en pendientes de 8 a 10 grados, formando placas de estratos cuyas bases quedan desprovistas de soporte y su desplazamiento casi paralela a la pendiente del terreno.(Olarte, 2017)

### ***2.1.10. Deslizamiento Rotacional***

Este tipo de movimientos ocurre en superficie de falla subterránea, en taludes o pendientes conformados de suelos arcillosos, además representa materiales granulares o en macizos de roca muy fracturada, en las cuales la presión de poros es suficientemente alta capaz de generar una falla rotacional (Olarte, 2017) además estos deslizamientos se mueven a lo largo de superficies con falla de quebradura en forma circular y cóncavas con poca distorsión interna del material. Casualmente se da en terrenos homogéneos cohesivos e isotópicos, presentando en su fase inicial poca deformación de los materiales y a medida que se desplaza la masa se van cambiando más. “La cabeza del material desplazado se mueve verticalmente hacia abajo, mientras que la parte superior del material se bascula hacia el escarpe”.(INDECI, 2011).

### ***2.1.11. Sistema de Información Geográfica***

SIG, es una colección de software, hardware, datos geográficos, es la unión de información en formato digital diseñado para capturar, almacenar actualizar, analizar y representar de manera efectiva los datos georreferenciados para planificación y gestión complejas.(Sarría, 2006) Por lo tanto, los SIG son bases de datos que suelen tener un componente espacial en el almacenamiento de datos, con la cual puede generar y almacenar productos similares a mapas. (Saud, 2018)

### ***2.1.12. Vehículos Aéreos No Tripulados***

Son aeronaves conocidos como Drones, los vehículos aéreos no tripulado (VANTs) o por sus siglas en inglés UAV's (Unmanned Aerial Vehicle), definido como un vehículo aéreo motorizado que no integra un tripulante humano, la cual es controlado y monitoreada de forma remota por un dispositivo auxiliar, mediante un sistema de comunicación por vía satélite, bluetooth y Wifi de radiocontrol, (Rivera., 2017).

Los UAV's vienen integrados por: *autopilotos* que es un procesador central (hardware) se utiliza para pilotar al VANT, un *GPS* software que permite recopilar información de geoposicionamiento siguiendo la trayectoria del drone, facilita realizar el despegue y aterrizaje en el mismo punto de origen, además, estructuras complementarias para soporte de cámaras y equipos auxiliares. carga útil, sensores pasivos.(Ojeda et al., 2017)

#### **2.1.13. Usos de UAV's**

En la parte cartográfica la tecnología de los drones es una evolución que permite la obtención de información geoespacial, facilitando el acceso a zonas geográficas complicadas, atreves de planes de vuelos a baja altura.

También es muy utilizado por las fuerzas militares y civiles para llevar misiones militares, filmografía, agricultura, construcción, arqueología, seguimiento de áreas de contaminación, riesgos, etc. Con fines de investigación.

#### **2.1.14. Legislación Nacional Ecuatoriana para la Regulación de drones**

Según la Dirección General de Aviación Civil (DGAC, 2020) emitió el Reglamento de Operación de Aeronaves pilotada a distancia (RPA's)-Drones, documento expedido el 4 de noviembre de 2020, este reglamento aplica para aeronaves cuyos pesos de despegue sea superior a 0,25kg, y menor a 150kg.

**Art. 14.-** Está Prohibida la operación de RPA en espacio controlado salvo que exista la autorización de AAC

**Art. 16.-** Horas de operación.

Salvo autorización especial emitida, las aeronaves 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 RPAs no excederá en ningún momento una altura de 400 pies equivalentes a 122m sobre el terreno.

**Art, 18.-** Las RPA no será operadas en las cercanías de un aeródromo, helipuerto, zonas prohibidas, zonas restringidas, zonas intangibles, áreas sensibles, estratégicas y zonas de seguridad del Estado.

**Art. 25.- Registro**

Todo propietario de una RPA, debe registrar la aeronave en la Dirección General de Aviación Civil.

**Art. 26. Seguros**

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:

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

Obtenida de (DGAC, 2020)

**Art. 28.-** Autoridad de Inspección



Todo propietario u operador de una RPA debe permitir a los inspectores de la AAC en cualquier momento y lugar, realizar las inspecciones y chequeos necesarios para determinar el cumplimiento de la reglamentación aeronáutica vigente

**Art. 31.-** Registros de mantenimiento

El operados de una RPA deberá mantener registros de mantenimiento de acuerdo a lo recomendado por el fabricante

**Art. 32.-** Autorización de operado RPA

Para la operación de una RPA en trabajos aéreos, el operador deberá estar en posesión de una Autorización de Operador de RPA emitida por la AAC.

**2.1.15. Drone Phantom 4 Pro**

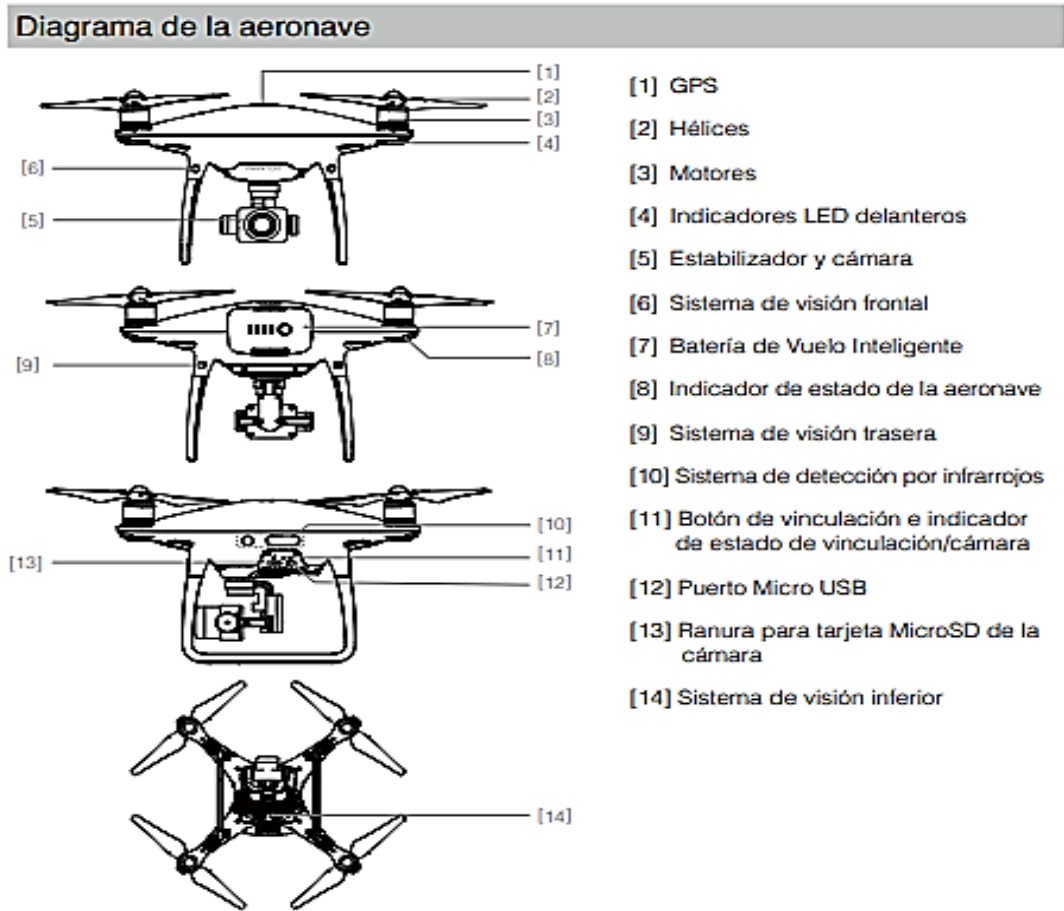
Es un dron de 4 hélices o quadróptero que integra una cámara de 20 megapíxeles que permite obtener fotografías, videos en 4k y 60 fotogramas por segundo, en muy buena calidad y resolución, integra un sistema de posicionamiento global GPS para su geoposicionamiento, entre las características destacadas cuenta con un sensor de visión y de infrarrojos que ayuda a detectar obstáculos en 5 direcciones diferentes, estos sensores permiten desviar obstáculos de manera inteligente durante el vuelo manual, el sistema de sensores visuales también ayuda a mejorar la precisión del vuelo estacionario en áreas cerradas o con mayor interferencia donde no hay señal de GPS. El control de vuelo es registrado y almacena los datos más destacados como la ubicación de cada vuelo, los modos de seguridad incluyen regreso al punto de origen en caso de que pierda la señal con el control.

El control remoto es la herramienta con la cual se enlaza la comunicación por medio de satélites, wifi o bluetooth, no cuenta con una pantalla sin embargo, se conecta un dispositivo de soporte móvil con DJI GO 4 con la cual se dirige, monitorea la trayectoria y posicionamiento

de la nave además, incluye una batería de vuelo inteligente de 5870 mAh y un sistema de gestión de energía para ofrecer hasta por 30 minutos el vuelo.(DJI, 2017)

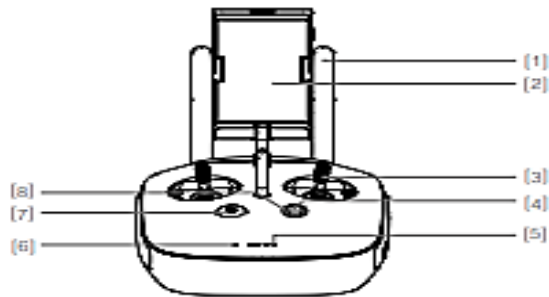


*Partes del Drone Phantom 4 Pro*



*Nota.* En la imagen se ilustra las partes del dron y su funcionalidad para el buen manejo y optima función. Adaptado de Manual de Manejo de Drone Phantom4. (DJI, 2017).

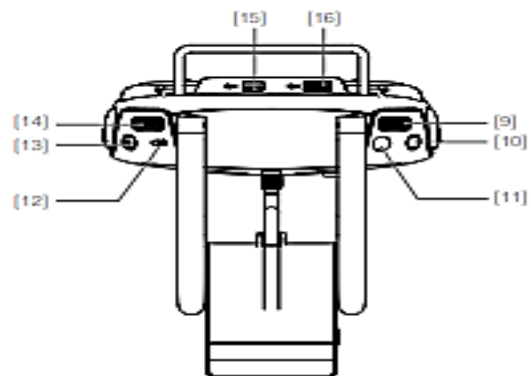
## Partes de Control Remoto



- [1] **Antenas**  
Transmiten el control de la aeronave y la señal de vídeo.
- [2] **Soporte para dispositivo móvil**  
Permite anclar el dispositivo móvil al control remoto.

- [3] **Palanca de control**  
Controla la orientación y el movimiento de la aeronave.
- [4] **Botón de regreso al punto de origen (RTH)**  
Mantenga pulsado el botón para iniciar el modo de regreso al punto de origen (RTH).
- [5] **LED de nivel de batería**  
Muestra el nivel de la batería del control remoto.
- [6] **LED de estado**  
Muestra el estado del sistema del control remoto.
- [7] **Botón de encendido**  
Se utiliza para encender y apagar el control remoto.
- [8] **LED de RTH**  
El LED circular que rodea el botón RTH muestra el estado de RTH.

- [9] **Dial de configuración de la cámara**  
Gire el dial para ajustar la configuración de la cámara. (Solo funciona cuando el control remoto está conectado a un dispositivo móvil que ejecute la aplicación DJI GO 4).
- [10] **Botón de pausa durante vuelo inteligente**  
Pulse una vez para permitir que la aeronave salga de TapFly, ActiveTrack u otro modo de vuelo inteligente.
- [11] **Botón del obturador**  
Disparador de dos etapas, púlselo para tomar una foto.
- [12] **Conmutador de modo de vuelo**  
Permite cambiar entre modo P, modo S y modo A.
- [13] **Botón de grabación de vídeo**  
Pulse para comenzar a grabar vídeo. Vuelva a pulsar para detener la grabación.
- [14] **Dial del estabilizador**  
Utilice este dial para controlar la inclinación del estabilizador.
- [15] **Puerto Micro USB**  
Puerto reservado.



- [16] **Puerto USB**  
Conexión al dispositivo móvil para la aplicación DJI GO 4.

*Nota.* La ilustración permite conocer partes del control DJI, con su funcionalidad.

Adaptado de Manual de manejo de drone Phantom4 (DJI, 2017).

### 2.1.16. Sistema de Posicionamiento Global GPS

Se utiliza para determinar las coordenadas con mayor precisión posible de cualquier punto respecto de un sistema de referencia mundial, siendo el más usado las coordenadas

proyectadas WGS84, los puntos pueden estar ubicados en cualquier parte del planeta y las observaciones se puede realizar en cualquier momento del día, este GPS, consiste en la determinación de las distancias de satélites utilizando mínimo 4 satélites y son recibidas por receptores especializados.(Mosquera, 2019).

### ***2.1.17. Global navigation Satellite System. (GNSS)***

“Es un conjunto de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, IRNSS, estos sistemas de navegación son capaces de entregar a escala mundial cualquier punto y momento el posicionamiento espacial y temporal”.(Cisneros et al., 2019)

“La definición en general de sistema de posicionamiento global, es la trilateración de los satélites, una técnica empleada que calcula las posiciones relativas de los objetos a partir de la geometría de triángulos”.(Aguero et al., 2018) Los sistemas de navegación por satélite tienen una estructura que divide en tres segmentos:

#### ***2.1.17.1. Segmento espacial***

Está compuesta por satélites que se encuentran orbitando alrededor de la tierra en distintos planos y consta con 24 satélites con 3 de reserva en 6 orbitas planas, con inclinación de 55° respecto al plano del Ecuador; son 4 satélites en cada orbita a una altura de 20200km y la frecuencia de 1615Mhz, con una característica peculiar de contar con un reloj atómico para calcular la distancia por medio de la diferencia de tiempo, el sistema GPS garantiza mínimo 5 satélites visible en cualquier parte del mundo.(Aguero et al., 2018, p. 4)

#### ***Relojes de los satélites.***

Son osciladores atómicos, por su alta frecuencia y la gran estabilidad, permite calcular la distancia por la diferencia de tiempo con precisión de orden  $60 \times 10^{15}$  segundos y

consiguientemente no excederá las dos céntimas de milímetro, donde el GPS permitirá tener visible mínimo 5 satélites.(Mosquera, 2019)

#### **2.1.17.2. *El segmento de control***

Está formada por 10 estaciones en todo el mundo monitoreada por el ministro de defensa de U.S.A. son encargadas de recolectar datos de los satélites con el objetivo de determinar, predecir las orbitas y los relojes de abordo para aplicar correcciones de posición orbital y temporal a los distintos satélites enviando información de sincronización de relojes atómicos.(Aguero et al., 2018).

Las estaciones de monitoreo y control, tiene coordenadas conocidas con alta precisión, las mismas son suministradas con receptores GPS de doble frecuencia y un reloj Cesio, desarrollan funciones de monitoreo, recibiendo las señales de los satélites, captura de datos meteorológicos, transmisión de datos a estación de control maestra.(Mosquera, 2019)

#### **2.1.17.3. *Segmento de usuarios***

Son instrumentos o equipos receptores GPS utilizados para “recibir y procesar la señal emitida por el segmento espacial, estos aparatos están integrados esencialmente por una antena y un receptor electrónico” (Aguero et al., 2018).

La antena está conectada al receptor, donde las coordenadas se calculan corresponde al centro radioeléctrico de la antena, un microprocesador calcula las coordenadas de la antena, la velocidad y acimut en caso de que el aparato este en movimiento, integra una memoria para almacenar observaciones, su capacidad es comprometida de acuerdo a su evolución(Mosquera, 2019).

Las principales fuentes de error al momento de recolectar datos son las condiciones atmosféricas obstrucciones o interferencias por anta tensión.

### 2.1.18. Sistema de posicionamiento global -GPS DIFERENCIAL

Es un equipo GNSS de doble frecuencia diseñado con tecnología sofisticada entre sus componentes principales está el uso de geo receptor móvil conocido como *rover* y una estación que tiene coordenadas conocidas con la mayor exactitud posible que sirve como la *base*. “La estación base, coteja las mediciones transmitidas por los satélites y recibe en tiempo real las coordenadas de los puntos”.(Aguero et al., 2018)

### 2.1.19. GPS E300 PRO- Survey

E300 Pro, es un GPS de nueva generación GNSS, tiene un diseño ligero de 940 gr, de tamaño pequeño, inspirado en el platillo volador que significa; tecnología del futuro. El seguimiento de múltiples constelaciones y frecuencias ofrece trabajo en una solución fija, facilitando su aplicación en diferentes áreas de trabajo de modo correcto. E300 PRO, presenta funciones de radio, red banda L e IMU, la facilidad de comunicación mediante Bluetooth, wifi, 4G Network, radio(e-Survey, 2018).



### GPS E300 PRO



*Nota.* La imagen representa las características visibles del GPS. Obtenido Manual de uso de GPS-E300PRO (e-Survey, 2018)

### 2.1.19.1. Características Generales E 300 pro

*Material.* El cuerpo es hecho de aleación de magnesio peso de 940 gr.

*Protección.* Incorpora el IP67, diseñado para para resistencia de caída a 2 m.

*Voz Inteligente.* El software receptor y controlador admite voz inteligente, para informar el estado de solución.

*Interfaz de Usuario web.* E300 pro dispone su propia página web UI, tienen la posibilidad de ver el estado de posición, solución, configuración de modo de trabajo, descarga de datos y actualizar el firmware, todo atreves del siguiente usuario web de <http://192.168.10.1> con cualquier teléfono, tableta o PC.

*Atlas de Banda L.* Atlas es un servicio para proporcionar un servicio de corrección de precisión global sobre satélites de banda L, E300 Pro cuenta con la suscripción correspondiente para lograr una precisión centimétrica sin ninguna estación base

*artk.* La nueva tecnología RTK opera en cualquier dispositivo compatible con Atlas al permitirle mantener la precisión, disponibilidad y confianza de nivel RTK cuando fallan las correcciones RTK.

### 2.1.19.2. Especificaciones del Producto

#### Tabla 2.

#### *Especificaciones de Receptor GNSS*

Características de GPS-E300 PRO	
Canal	800
Seguimiento Satelital	GPS, GLONAS, BeiDou, Galileo, SBAS, IRNSS, QZSS, Banda L Atlas
Adquisición de señal	< 1 seg
Arranque caliente	< 10 seg
Velocidad de actualización	5 Hz, hasta 50 Hz
Inicialización fiabilidad	>99, 9%
Memoria	16 GB

*Nota.* Tomada de: (e-Survey, 2018)

**Tabla 3.**

*Rendimiento de RMS*

Precisión horizontal y vertical	
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
Código diferencial	Horizontal: 0,25 m
SBAS Precisión	Horizontal: 0,3 m

*Nota.* Destaca el rendimiento de RMS y su precisión que se obtiene al recolectar los datos.

Tomado de: (e-Survey, 2018)

**2.1.20. Método Estático**

Este tipo de medición se realiza en áreas con mucha interferencia, obstrucciones o cuando se requiere obtener coordenadas de un punto de manera precisa y confiable, para tomar las coordenadas se requiere dos receptores; una base y un rover, la base es colocada en un punto donde se conoce con exactitud sus coordenadas geográficas y permanece durante todo el proceso de recolección de datos, mientras que el receptor móvil debe permanecer por un tiempo determinado por el operador para grabar datos en el campo transmitido por los satélites, la recolección de datos dependerá de la distancia entre los receptores, la configuración geométrica de los satélites y las condiciones de obstrucción presente en el área de estudio.(Aguero et al., 2018) La información de los datos brutos obtenida durante las observaciones se guarda en la memoria de los receptores, mediante software especializado se procesa la línea base de los datos brutos entre la base y el rover determinando las diferencias entre las coordenadas observadas y fijas. La alta calidad del equipo geodésico proporciona posiciones con alta precisión dando resultados con errores milimétricos (Muños N, 2018)

**2.1.21. Posicionamiento GNSS de Puntos de control**

Es un sitio físico en la tierra que tiene conocida su posición de coordenadas geográficas, son establecidos para georreferenciar objetos espaciales y fenómenos de interés de acuerdo a



las necesidades de cada proyecto.(Perdomo et al., 2015) No existe una norma establecida que permita tener el número total para colocar los puntos de control.

Según Pérez (2001), recomienda que: para tener mayor precisión y control en la correlación plani-altimétrica de las imágenes, es necesario 5 puntos de control distribuidos en las esquinas y uno en el centro.

Según Rivera (2017), establece: “colocar 6 puntos de control para un área de 30 Hectáreas”, mientras que Perdomo (2015), establece: “colocar 12 puntos de control en 6 hectáreas”, por otro lado Agisoft (2018), recomienda “colocar 10 a 15 puntos de control bien distribuidos en el área de estudio para obtener mayor precisión y resultados de alta calidad”. Para el levantamiento de puntos, el proyecto diseñado para una escala de 1:1000, la precisión del producto final debe ser de 30 cm.

#### **2.1.22. Trimble Business Center**

Es un software de escritorio para trabajos de topografía muy desarrollada, con características especiales para el tratamiento, procesamiento y administración de datos como; la nube de puntos, fotogrametría, instrumentos ópticos y GNSS, gracias a su software CAD ayuda a los profesionales de las ciencias geoespaciales, ingenierías trabajar de manera inmediata con los datos de campo obteniendo resultados muy eficaces.(TBC, 2020)

#### **2.1.23. PIX4DMapper**

Es un software de fotogrametría, un paquete de licencia comercial, disponible para el procesamiento de estructuras a partir del movimiento (SfM), que utiliza las imágenes capturadas de manera aérea por los drones para generar: mapeo profesional de modelos y mapas 3D como; ortomosaicos, nube de puntos y DSM. Siendo una herramienta que reduce costos de operación.(Nuyts et al., 2020)

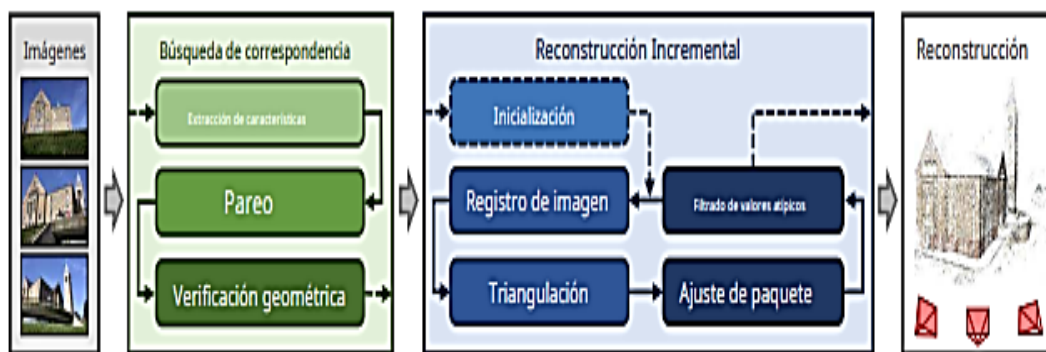
### 2.1.24. Fotogrametría

“Es una técnica que permite medir sobre las fotografías, cuyo objetivo es definir con mayor precisión posible la forma, dimensiones, estimar las propiedades geométricas de los objetos y su ubicación espacial a partir de las fotografías”.(Acosta et al., 2017) Entre sus herramientas potenciales se tienen; “la generación de ortomosaicos, modelo digital de superficie, modelo digital de terreno, generación de curvas de nivel, etc..”,(Ojeda et al., 2017). La construcción de los modelos 3D se realiza en tres etapas: a) Bloque Fotogramétrico, b) Generación y densificación de nube de puntos, c) DSM y ortomosaicos.

### 2.1.25. Structure from motion (SfM)

I

Estructura de funcionamiento de SfM



Nota. La imagen representa pasos para la reconstrucción 3D de un modelo digital.

Tomado de (Schonberger y Frahm, 2016).

SfM o estructura de movimiento, es el proceso de reconstrucción de la estructura 3D mediante la canalización de procesamiento secuencial.(Schonberger y Frahm, 2016). SfM, interviene para la reconstrucción 3D segunda etapa de procesamiento PIX4D, donde SfM se basa en el ajuste del bloque fotogramétrico, en la redundancia obtenida de múltiples imágenes con altos porcentajes de traslape, las características extraídas y correlacionadas permite obtener

la geometría de la cámara 3D su posición y orientación, los datos resultantes son una nube de puntos dispersos, que es la primera representación aproximada del modelo digital de la superficie.(Torrado et al., 2016).

Secuencialmente, la etapa de reconstrucción requiere densificar la nube de puntos, para ello extrae la mayor cantidad de puntos o coordenadas 3D de la escena que complementa la nube de puntos dispersos, además, la ayuda de los GCP es crucial para corregir la ubicación de geoposicionamiento 3D de todos los puntos de la cámara, en esta etapa forman la técnica de explotar múltiples imágenes y correlacionar o “multi-image matching”. (Turner et al., 2015) Finalmente se genera un DSM, y un ortomosaico para la generación de estos modelos la nube de puntos pasar por triangulación y rasterización.(Torrado et al., 2016)

#### ***2.1.26. Nube de Puntos***

La nube de puntos son conjuntos de puntos 3D que permiten reconstruir una malla 3D, la cual guarda los datos de los píxeles asociada a cada punto en la posición X,Y,Z la información permite generar modelos 3D como modelo digital aproximado.(Acosta et al., 2017). Mientras que la malla texturizada es una presentación de la forma del modelo que consiste en vértices, bordes, caras y la textura de las imágenes que se proyecten en él.(Survey y Sales, 2021)

#### ***2.1.27. Ortomosaico***

Es el conjunto de imágenes tomadas de una o varias cámaras, que presentan las áreas de solape entre sí, son unidas y combinadas es una sola imagen, por lo tanto, es un producto de imagen fotogramétricamente georreferenciada, la cual es obtenida a través de un algoritmo de triangulación y rasterización.(Ojeda et al., 2017)

#### ***2.1.28. Modelos Digitales de Elevación***

Es la representación cartográfica digital de elevación de la superficie de la tierra desnuda, cuando se conserva las características adosadas de la superficie se conoce como

modelo digital de la superficie.(Ibañez, 2008) Para obtener un MDT se eliminan las elevaciones que no corresponden al terreno (Ojeda et al., 2017)

#### **2.1.29. Modelos Digitales de la superficie**

Representa la información de la altura de la superficie terrestre, registrando los elementos de la escena como; la altura de las edificaciones, vegetación, y todo tipo de objetos que tengan superficies de elevación sobre la tierra desnuda(Survey & Sales, 2021)

#### **2.1.30. DroneDeploy**

La aplicación DroneDeploy, se utiliza para realizar planes de vuelos y automatizar facilitando la captura de imágenes aéreas, la planificación inicia con la definición de una región de interés, dibujada sobre un mapa base en Google Earth Pro con extensión KML. DroneDeploy tiene aplicaciones instalables dentro de su software, el *KML and SHP Import*, permite subir formatos KML, una vez que se define la región de interés es necesario establecer parámetros de vuelo: como la altura y el traslape.(ArcGeek, 2021)

#### **2.1.31. UAV Forecast**

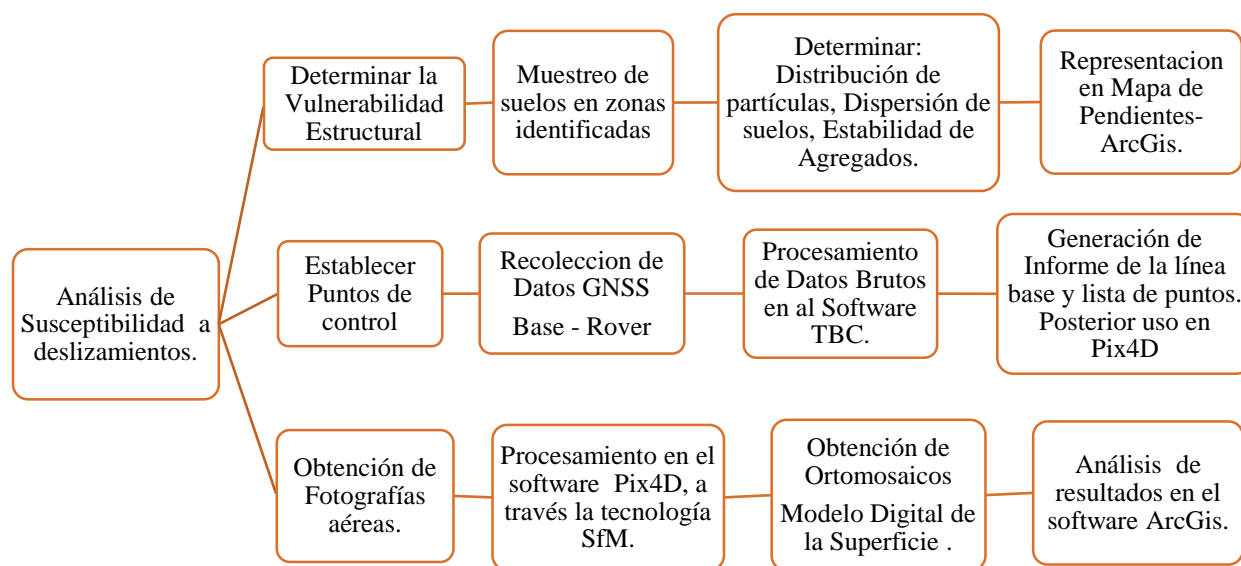
Es una aplicación que permite ver la perspectiva del tiempo, tales como el clima, dirección del viento, probabilidades de precipitación, los satélites activos, la actividad solar(kp), zonas y restricciones de vuelo.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar cuan susceptible es el área de estudio en la parroquia Belisario Quevedo, bosque Antenas de Pichincha, se basó en el estudio de Yaprak et al., (2018) denominado “The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Monitoring Rapidly Occurring Landslides” donde se adaptó cada uno de las técnicas con el fin monitorear y obtener vectores de velocidad de movimiento; por lo tanto, esta investigación la metodología se dividió en 3 partes:

- ✓ Se determinó las propiedades físicas del suelo, con la finalidad de identificar la vulnerabilidad estructural de la pendiente.
- ✓ Recolección de datos crudos con el GPS para los puntos de control y obtención de las imágenes aéreas con el Dron.
- ✓ Procesamiento de información en software especializados.

## Esquema de Metodología Aplicada



*Nota.* Este esquema representa la metodología y el orden a seguir, dividiendo en 3 fases, cada proceso está relacionado con el trabajo de campo y oficina para sus análisis respectivos.

Fuente: La Investigación.

### 3.1. Propiedades del suelo del área de estudio

Las propiedades físicas del área de estudio se realizaron con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad estructural de la pendiente, las condiciones físicas y la fuerza de resistencia del suelo al movimiento de masa o deslizamientos, para la cual se determinó tres parámetros: la distribución de partículas del suelo utilizando el método de hidrómetro Bouyoucos, el índice de porcentaje de dispersión mediante el método de doble hidrómetro, y el índice de estabilidad agregada mediante el método de tamizado húmedo.

### ***3.1.1. Distribución de partículas del suelo -Método de Hidrometro de Bouyoucos ASTM D4622-63***

La distribución de partículas del suelo, es una de las características físicas muy destacadas, que permite pronosticar el comportamiento físico del suelo ante el impacto de agentes externos a él.

La textura de suelo expresa el porcentaje en peso, de los rangos de tamaño de partículas de arcilla, limo y arena inferiores a 2 mm de partículas minerales que contiene la tierra fina, a la cual le describe como una clase textural del suelo. Los términos de grava son de  $> 2,00\text{mm}$ , la arena de  $2.00$  a  $0.005$  mm, el limo  $0.05\text{mm}$ - $0.002\text{mm}$  y arcilla  $< 0.002\text{mm}$  (Gomez, 2013)

El método de Bouyoucos consiste en dispersar las partículas minerales del suelo mediante una solución dispersante hexametáfosfato de sodio, se somete a un proceso agitación mecánica, posteriormente se deja sedimentar en probetas de 1000ml aforando con agua destilada, para tomar la lectura se coloca el hidrómetro y se va midiendo indirectamente el porcentaje de cada fracción diferentes tiempos. Este método se basa en la ley de Stokes relacionando la velocidad de sedimentación, pues las partículas grandes se sedimentan con mayor facilidad en cambio las partículas pequeñas no, esto debido a que las partículas grandes tienen menos área específica y por ende menos flotabilidad que las partículas pequeñas.

*Cálculos para obtener los resultados de la distribución de partículas*

Tetha

$$\theta = -0,2761 * L + 50,957$$

Donde L =Lectura tomada por el Hidrómetro

Corrección a Factor de Temperatura

$$FT = -0,013 * T^{\circ}\text{blanco} + 1,2417$$

Diámetro de la partícula

$$\frac{\theta}{(\sqrt{\text{Tiempo}})}$$

Diámetro Corregido

$$D_c\emptyset = \text{Diámetro de la partícula} * \text{Factor de la Temperatura}$$

Porcentaje de Peso

$$\%Peso = \frac{(Ln - Lo)}{(P)} * 100$$

Dónde:  $Ln$ =Lectura del densímetro

$Lo$ =Lectura del blanco

$P$ =Peso de la muestra

### **3.1.2. Índice de dispersión de suelos-Método Doble Hidrómetro ASTM D4221-99**

Es un método estándar para la caracterización de arcilla dispersiva, por el doble hidrómetro se utiliza en conjunto con el método de Hidrómetro de Bouyoucos ASTM D4622-63, en una muestra de suelo se duplica esta metodología, las dos prácticas son muy similares se diferencian por: agregar el agente dispersante y agitación mecánica en caso de la norma ASTM D422-63 en cambio la norma ASTM 422.99, agrega la bomba del vacío, excluye el dispersante y la agitación mecánica, este método cubre la determinación del porcentaje de partículas menor a 0,05mm de diámetro en una suspensión al agua.

Los cálculos se realizan utilizando las fórmulas de la práctica de ASTM D4622- 63.

### **3.1.3. Estabilidad de Agregados-Método de Tamizado Húmedo**

La estabilidad estructural de agregados se define como la firmeza de los agregados del suelo al desintegrarse gracias a la acción de fuerzas externas, como el impacto de gotas de lluvia o la humedad.(Velasco., 2014) La estabilidad es como una característica dinámica, por



ende, se considera como un indicador sensible de tendencias a la recuperación o degradación de suelos

El método de tamizado húmedo propuesto por Yoder (1936) consiste en medir la cantidad de agregados que permanecen intactos después de que las muestras sean sometidas a la aplicación de fuerzas mecánicas por tamizado húmedo. La estabilidad de agregados expresa la resistencia que tienen las partículas del suelo al estar en contacto con el agua y con el dispersante Hexametáfosfato de Sodio. La fuerza destructiva que se aplica es el agua y el agente dispersante, los agregados que resistan a la fuerza del agua y dispersante se conoce como agregados estables que servirán como indicadores para determinar cuán susceptible es a erosionar el suelo o no, los suelos no estables por su alto grado de erosión, son más susceptibles a que se genere movimientos de masa.(Gomez, 2013)

*Fórmula para determinar el índice de estabilidad de agregados.*

$$E.A = (\% \text{ de suelo } > 0.25\text{mm}) = \frac{\text{Peso de agregados secos-arena}}{\text{Peso de suelo seco-arena}} * 100$$

### ***3.1.4. Materiales y Equipos para determinar la distribución de partículas, Índice de dispersión y estabilidad del suelo***

- Materiales y Equipos para determinar Distribución de Partículas
  - ✓ Cronometro
  - ✓ Balanza
  - ✓ Tamiz N° 10, 6
  - ✓ Hidrómetro estándar Agitador manual o mecánico
  - ✓ Vaso de precipitación
  - ✓ Probeta aforada de 1000 ml
  - ✓ Termómetro
  - ✓ Pipeta de 10 ml
  - ✓ Agente dispersante
  - ✓ Agua destilada

- Materiales y equipos para Índice de porcentaje de dispersión.
  - ✓ Balanza con sensibilidad de 0,01g
  - ✓ Bomba del vacío
  - ✓ Hidrómetro 152
  - ✓ Tamiz N°10, 75
  - ✓ Matraz
  - ✓ Probetas de 1000 ml
  - ✓ Termómetro
  - ✓ Crisol
  
- Materiales y Equipos-Índice de estabilidad agregada por Tamizado Húmedo
  - ✓ Solución Hexametáfosfato de sodio
  - ✓ Agua destilada
  - ✓ Seri de tamiz de 2mm y 0,25mm
  - ✓ Piceta
  - ✓ Crisol
  - ✓ Balanza de presión de 1g
  - ✓ Horno
  - ✓ Pinza

### **3.2. Puntos de control terrestre y Planificación de Vuelos**

Los puntos de control (Ground control points, GCP) por sus siglas en inglés, son puntos de referencia que se colocan físicamente, las cuales deben ser visibles desde el aire e idealmente localizables en varias fotografías, para establecer su posición 3D se utiliza un GPS de alta precisión.

En consiguiente, para este estudio los puntos de control fueron distribuidas en siete partes dentro del área de estudio, seis de ellos se ubicaron en áreas donde hay deslizamientos poco notables. Para la recolección de datos GNSS, se utilizó GPS-E300 PRO, de doble frecuencia, los datos fueron recolectados mediante el método estático, donde la estación base del GPS permaneció aproximadamente 4 horas en un punto de coordenadas conocidas con mayor precisión, mientras que con el receptor móvil rover, se tomó posicionamientos de los 7

puntos con una duración de 20 minutos por cada punto. Se utilizó el software SurPad 4.0, en sistema de referencia WGS 1984, proyección UTM Zona 17S.

La información a bruta es almacenada en la memoria de los equipos para su Post-Procesamiento, esta técnica se aplicó para los 3 meses que tuvo la duración del estudio.

### 3.2.1. *Materiales y Equipos para Recolección de datos GNSS*

**Tabla 4.**

*Equipos y Software para toma de puntos de control y Post-Procesamiento*

<b>Equipos y Softwares</b>	
<b>Equipos</b>	GPS, E300 Pro e-Survey- Receptores Base y Rover Recolector de Datos Movil. Trípode
<b>Softwares</b>	SurPad4.0 Trimble Business Center

*Nota.* Equipos otorgados por la Universidad Politecnica Salesiana para el trabajo de campo y procesamiento de datos.

Fuente: La Investigación.

|

*Ubicación de Puntos de control (GCP)*



*Nota.* Marca para puntos de control terrestre.

Fuente: La Investigación

# I

## *Recoleccion de datos GNSS-GPS*



*Nota.* GPS armado en tripode.  
Obtenida de (Pazmiño, 2021)

# I

## Controladora con Software SurPad 4.0



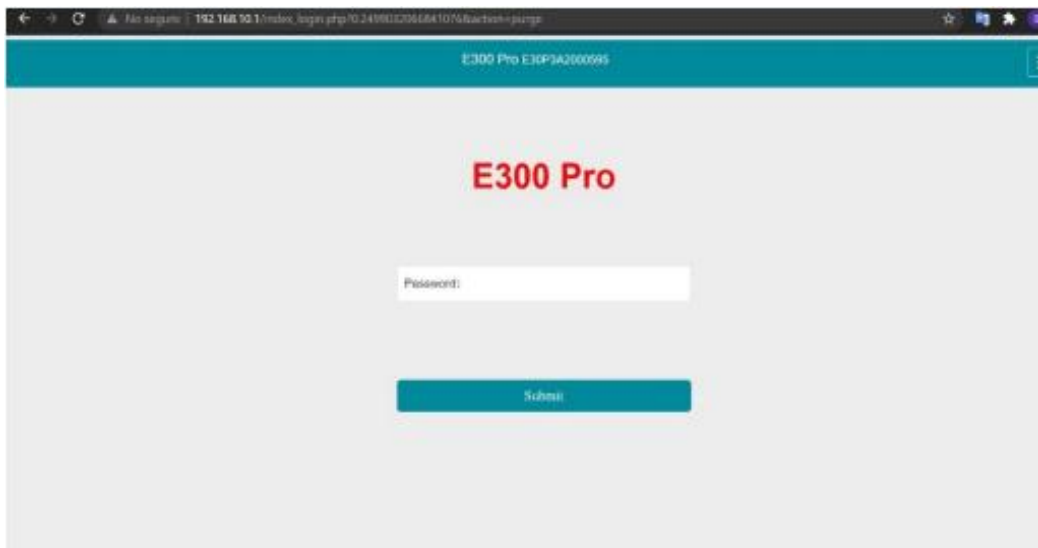
*Nota.* Recolector de datos.

Fuente: La Investigación.

Para la descargar de los datos crudos se debe ingresar a la página de e-Survey mediante ID <http://192.168.10>, con la clave password, para la cual es necesario conectar con el wifi de cada equipo base y rover, posterior a esto procederá a descargar en formato Rinex 2.1 para el post-proceso.

I

*Página Principal para descarga de datos crudos.*



*Nota.* Pagina para descargar datos brutos del GPS.

Fuente: La Investigación.

### **3.3. Post-Procesamiento de Puntos de Control Trimble Business Center**

TBC, se utilizó para el post procesamiento de los archivos descargados en formato Rinex2.1, para el procesamiento, se creó una nueva plantilla en configuración proporcionando datos de la empresa, usuario, operador de campo y oficina, se definió el sistema de coordenadas proyectadas UTM WGS84 zona de referencia 17 Sur, Geoide EGM96 (global). Para el procesamiento de la línea base, se estableció criterios de aceptación de precisión horizontal de  $0,0900\text{m}+1\text{ppm}$  y precisión vertical  $0,1000\text{m}+1\text{ppm}$ , en tipo de solución fija.

Para establecer las coordenadas de la base del área de estudio, se tomó como referencia a la estación GNSS más próxima QUI1, propiedad de Instituto Geográfico Militar-Ecuador, con los datos de esta estación se realizó el post proceso para corregir los errores entre línea de vectores y definir las coordenadas precisas de la estación base.

I

*Coordenadas Geográficas Entre Base de la IGM- Base del área de estudio.*

**Componentes de vector (Marca a marca)**

De: QUI1					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	778986,3017 m	Latitud	S0°12'54,5622"	Latitud	S0°12'54,5622"
Norte	9976195,8519 m	Longitud	A78°29'36,9892"	Longitud	A78°29'36,9892"
Elevación	2896,6789 m	Altura	2922,3890 m	Altura	2922,3890 m

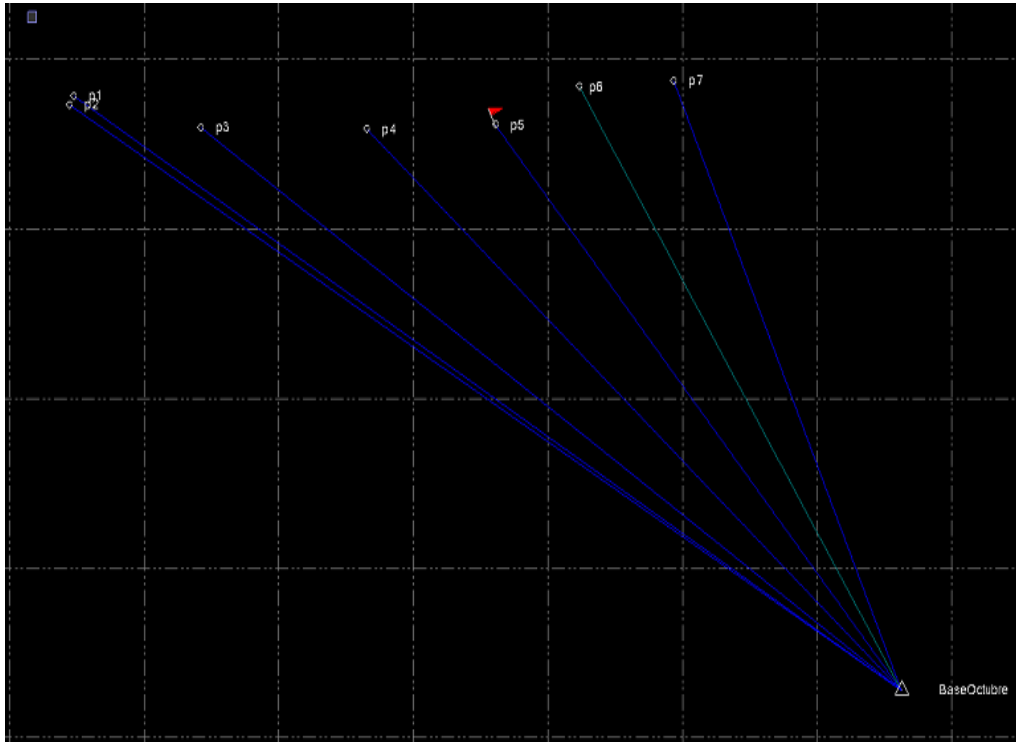
  

Hasta: BASE					
Cuadrícula		Local		Global	
Este	776862,7586 m	Latitud	S0°10'46,6322"	Latitud	S0°10'46,6322"
Norte	9980127,7660 m	Longitud	A78°30'52,1089"	Longitud	A78°30'52,1089"
Elevación	3075,4557 m	Altura	3100,9997 m	Altura	3100,9997 m

*Nota.* La Imagen representa, las coordenadas procesadas de la esta estacion base IGM con la estacon base del area de estudio y las coordenadas seran las mismas para los 3 meses de estudio. Fuente. La Investigacion.

Para el post proceso de los datos del rover, se utilizó los datos de la base con sus coordenadas conocidas, para este proceso se exporta datos de navegación y observación junto con los datos del rover de los siete puntos, se corrige las interferencias de cada punto para obtener mayor precisión, posteriormente se procesa la línea base, se genera el informe de la línea base y la lista de puntos con sus coordenadas 3D corregidos para su uso posterior.

### Distribución de puntos de control dentro del área de estudio



*Nota.* La imagen representa como se encuentra la distribución de los puntos de control, con respecto a la base, pues cuanto mas cerca se encuentre la base con el rover se genera un vector mas corto por ende emitira menos errores y mejora la precision.

Fuente: La Investigación.

## 3.4. Obtención y procesamiento de las imágenes aéreas

### 3.4.1. Planificación del Vuelo

Para levantar la información geográfica mediante UAV, se realizó un cronograma respecto al tiempo, definiendo para 3 meses llevar a cabo este estudio. En la planificación se consideró aspectos importantes como; la trayectoria del vuelo, el solape entre las imágenes, la altura del vuelo.



**Tabla 5.**

Planificación de fechas de Vuelos

Planificación de Vuelos					
Periodo	Mes de vuelo	Altura de Vuelo	Traslape Longitudinal	Traslape Transversal	Tiempo de Vuelo
1	Octubre	120	80	80	15
2	Noviembre	120	80	80	15
3	Diciembre	120	80	80	15

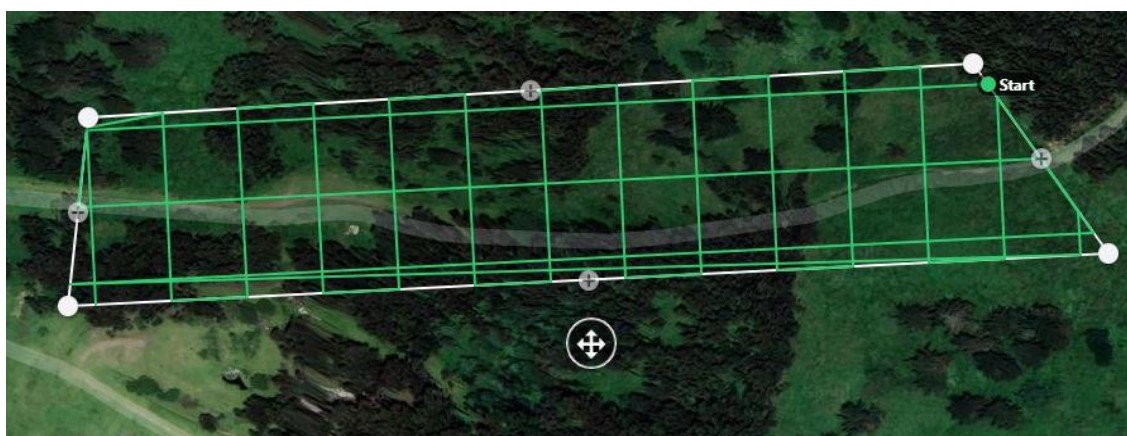
*Nota.* Fechas de vuelo del dron con parametros establecidos.

Fuente: La Investigación.

Para la obtención de las fotografías aéreas se elaboró mapa de delimitación en formato KML de Google Earth Pro con las áreas a mapear, Los vuelos en los 3 meses fueron guiados y monitoreados con la aplicación DroneDeploy. Para este estudio se utilizó un dron Phantom 4 pro, previo a cada vuelo se revisó que el estado general del dron que este actualizado y la brújula calibrada correctamente, además, se revisó las condiciones meteorológicas en la aplicación UAV forecast.

## I

*Delimitación de plan de vuelo*



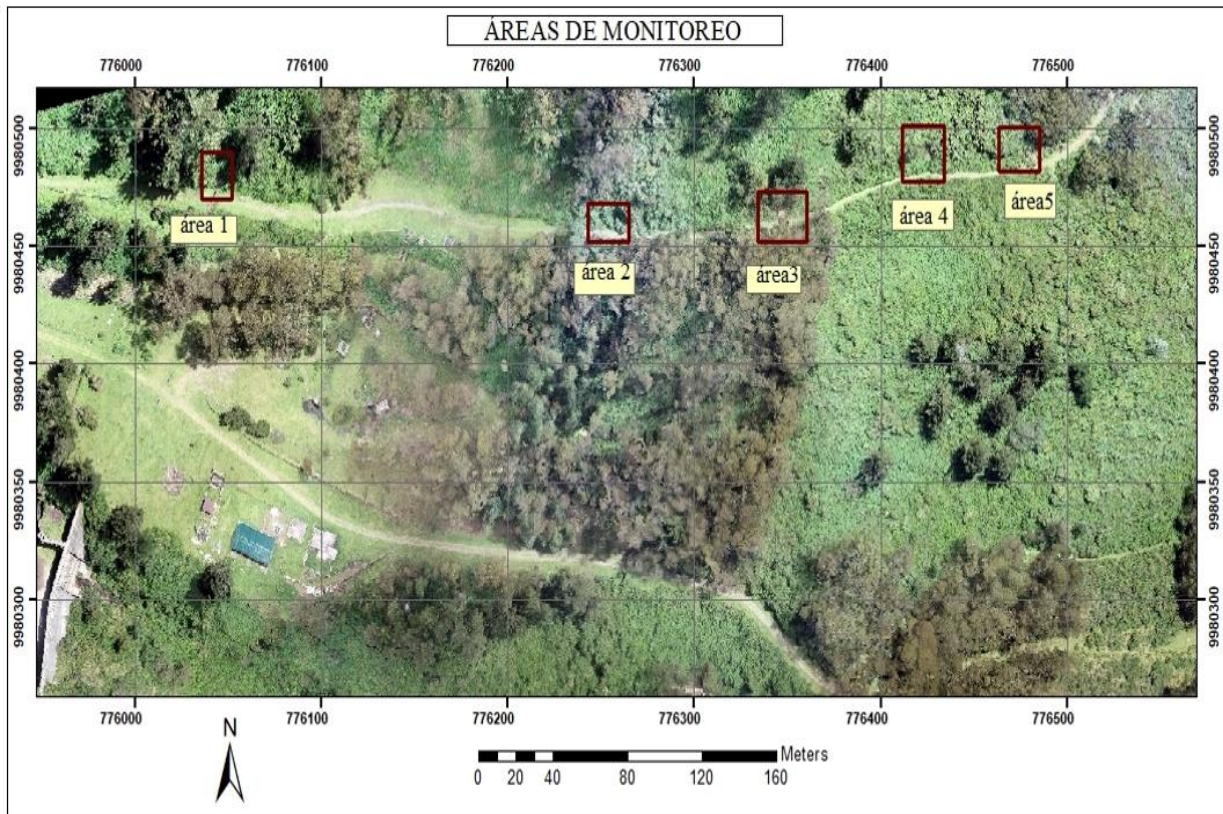
*Nota.* La imagen representa el área a cubrir con el dron para los 3 meses, para delimitar el área se exporto un archivo KML a la aplicacion DroneDeploy a travez de una computadora de escritorio y se establecio los parametros del vuelo.

Fuente: La Investigación.

Los vuelos realizados en el mes de octubre, noviembre y diciembre fueron utilizados para monitorear si se genera cambios en las 5 áreas donde ya hay deslizamientos.

I

Mapa de áreas a monitorear por 3 meses



*Nota.* Los cuadros marcados de color rojo son áreas donde hay pequeños deslizamientos, las cuales fueron monitoreadas en los 3 meses de este estudio.

Fuente: La Investigación

### 3.4.2. Equipos y Software para el levantamiento y procesamiento de las fotografías aéreas

**Tabla 6.**

Equipos y Software para procesamiento en PIX4D Mapper

Equipos y Softwares	
EQUIPOS	Drone Phantom 4 pro. Tablet Computadora de escritorio Intel® Core™i9 de 64 bits. GPU Nvidia Geforce
SOFTWARE	DJI 4GO DroneDeploy UAV Forecast Pix4D Mapper ArcGis.

*Nota.* Equipos otorgados por la Universidad Politecnica Salesiana para el trabajo de campo y procesamiento de datos.

Fuente: La investigación.

### 3.4.3. Procesamiento de las fotografías con tecnología SfM mediante Pix4D

El procesamiento de las fotografías aéreas para la reconstrucción de modelos 3D, se realizó a partir de la tecnología Structure from Motion SfM, integrado en el software Pix4D, que realiza en 3 etapas.

#### *Procesamiento Inicial*

Pix4D, utiliza las fotografías aéreas como entrada principal y como insumos extras los GCP, a esta etapa se conoce como bloque fotogramétrico, consiste en relacionar el espacio de la imagen y el espacio del terreno, para la cual se divide en tres partes: i) extracción y correlación de características, ii) parámetros de la cámara, iii) orientación de las imágenes, los dos últimos procesos no son indispensables.

La *Extracción y correlación* de las características identifica y relaciona características muy similares entre imágenes de las áreas de traslape, con dichas características establece la orientación relativa entre cámaras y la estructura tridimensional de la escena registrada, la

extracción de las características utiliza la técnica de algoritmos como el SIFT (scale invariant feature transform), que divide en cuatro etapas: detectar máximos y mínimos en el espacio-escala, identificar puntos de interés, asignar orientación y generar el vector descriptivo de 128 dimensiones(Lowe, 2004).

La correlación de las características compara los vectores descriptivos extraídos, se basa en la búsqueda cuadrática, donde se realizan todas las combinaciones posibles en la comparación de los puntos 3D, las correspondencias erróneas son eliminados a partir de la estimación de la orientación relativa de las imágenes a través del cálculo de la matriz fundamental si los parámetros internos de la cámara son conocidos. (Torrado et al., 2016)

*Calibración de cámaras y orientación de imágenes.* La calibración o la alineación denota la capacidad de definir la posición y orientación de la cámara en un solo bloque, utilizando las coordenadas de puntos de enlace identificados.(Fraser & Congalton, 2018) este proceso de calibración se puede realizar por dos métodos, a) La calibración en el campo, b) la auto calibración,

En la calibración geométrica de una cámara el objetivo es establecer los parámetros intrínsecos como la distancia focal, punto principal de la imagen y las distorsiones de la cámara, mientras que, la orientación de las imágenes, consiste en definir los parámetros de orientación exterior como las coordenadas de posición y los ángulos de inclinación, estos parámetros se pueden hacer por dos métodos como la georreferenciación directa y la georreferenciación indirecta. La georreferenciación directa, se conoce por la implementación de sistemas GPS a bordo de las plataformas, cabe recalcar que en la actualidad la mayoría de los sistemas UAV utilizados para la fotogrametría aérea cuentan con un GPS, con propósitos de navegación y la georreferenciación directa. Sin embargo, estos GPS son simplificados obteniendo una menor exactitud en el geoposicionamiento. La georreferenciación indirecta requiere puntos homólogos entre imágenes (tie points) y los puntos de control terrestre de mayor precisión, con

esta información se ajusta el bloque fotogramétrico y se efectúa el proceso de optimización por ajuste de mínimos cuadrados en el que son calculadas los parámetros de orientación exterior. (Torrado et al., 2016)

### ***Paso 2 Nube de Puntos y malla-Reconstrucción de escenas 3D***

La reconstrucción 3D, se hace a partir de la extracción y relación geométrica de las imágenes del paso 1, que tiene como producto final un modelo de nube puntos.

A continuación, SfM descubre imágenes que tienen las características similares de la escena, busca correspondencias de la imagen (I.a) para cada característica de la imagen (I.b), usando una métrica de similitud comparando la apariencia de las características, la salida de este proceso es un conjunto de pares de imágenes muy superpuestas, nuevamente SfM verifica las coincidencias de los pares de imágenes superpuestas tratando de estimar una transformación que asigna puntos característicos entre imágenes utilizando la geometría proyectiva, como resultado de esta etapa es conjunto de pares de imágenes verificadas geográficamente, llamado gráfico de escena.(Schonberger & Frahm, 2016)

Para la reconstrucción 3D, la entrada es el gráfico de la escena y la generación de puntos 3D determina las coordenadas 3D de los puntos característicos extraídos del procesamiento inicial. Donde SfM, se basa en ajuste del bloque, y en la redundancia obtenida múltiples fotografías con alto porcentaje de traslape.(Torrado et al., 2016) dando como resultado una nube de puntos dispersa, mientras que la densificación de nube de puntos extrae la mayor cantidad de puntos 3D

### ***Paso 3 DSM y Ortomosaicos***

Esta es la etapa final de procesamiento y consiste en generar un modelo digital de elevación DEM (raster) y un ortomosaico(TIFF), para obtener estos modelos la nube de puntos pasa por procesos de triangulación y rasterización. “La triangulación consiste en generar una

red irregular de triángulos (TIN) de la que son interpoladas los valores de la altura para la generación de un archivo raster”.(Torrado et al., 2016)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis de propiedades Físicas del Suelo del Área de Estudio

Para evaluar la fuerza sobre la resistencia del suelo al deslizamiento, se determinó 3 parámetros físicos del suelo; la distribución de las partículas, estabilidad agregada y porcentaje de dispersión, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos

**Tabla 7.**

*Propiedades de suelos de Área de Estudio*

N° Muestra	Profundidad	Textura	Clase	%	%Estabilidad		
		Arena%	Arcilla%	Limo%	Dispersión	Agregada	
1	0-0,2m	73	19	8	FA	3,4	10,3
2	0-0,2m	76	12,3	11,7	FA	4	15,5
3	0-0,2m	75	19	6	FA	2,9	17,4

*Nota.* Resultados de los tres parametros fisicos del suelo. Fuente: La Investigacion

Los resultados obtenidos para la distribución de partículas, en las 3 muestras se encontró un alto contenido de arena, bajo contenido de arcilla y limo, se determinó clase textural como franco arenoso (FA).

El alto contenido de la arena en el área de estudio disminuye la disgregación generando equilibrio entre el contenido de la humedad con las diferentes capas del suelo. Este efecto evita que los suelos se meteoricen y genere perdidas del suelo. El Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia- IDEAM(2012), menciona que los suelos con gran contenido de arcilla elevada de 22%, son considerados como suelos altamente susceptibles a deslizamientos que podrían causar flujos de escombros cohesivos, desplazando sobre grandes superficies. Por lo tanto, las características del suelo determinan el tipo de movimiento en masa.

Los resultados obtenidos para la estabilidad agregada fueron menores al 20%, mostrando una estabilidad estructural baja en las 3 muestras del suelo. Este resultado indica

que el suelo es susceptible a movimientos de masa, a mayor severidad mayor susceptibilidad que se de movimientos de masa por la degradación del suelo. Los suelos del DMQ, generalmente están conformados por cangahua y cenizas volcánicas y son materiales resistentes ayudan a dar estabilidad a las construcciones, la desventaja es cuando se satura el agua pierde la dureza y genera un desequilibrio en la estabilidad. Además, los sismos aceleran el proceso de inestabilidad de suelos.(Fierro & Moran, 2021)

Los resultados obtenidos para el índice de porcentaje de dispersión fueron menores al 10%, esto significa que son suelos con baja capacidad de erosión, gracias a la materia orgánica de la cobertura vegetal que proporciona amortiguamiento físico contra el impacto de las gotas de lluvia y la insolación directa.

A continuación, se presenta 2 tablas de criterio de clasificación para la estabilidad de agregados y el índice de relación de dispersión.

**Tabla 8 .**

*Criterio de clasificación de la estabilidad agregada de Yoder*

Nivel	Valores %
Muy alta	>60
Alta	40-60
Media	20-40
Baja	10-20
Muy Baja	<10

*Nota.* Los valores de la tabla son establecidos para tamizado Húmedo de Yoder y bajo los mismos criterios se clasifico los resultados.

Citado por :(Velasco., 2014).



**Tabla 9.**

*Criterio de clasificación para el índice de porcentaje de dispersión*

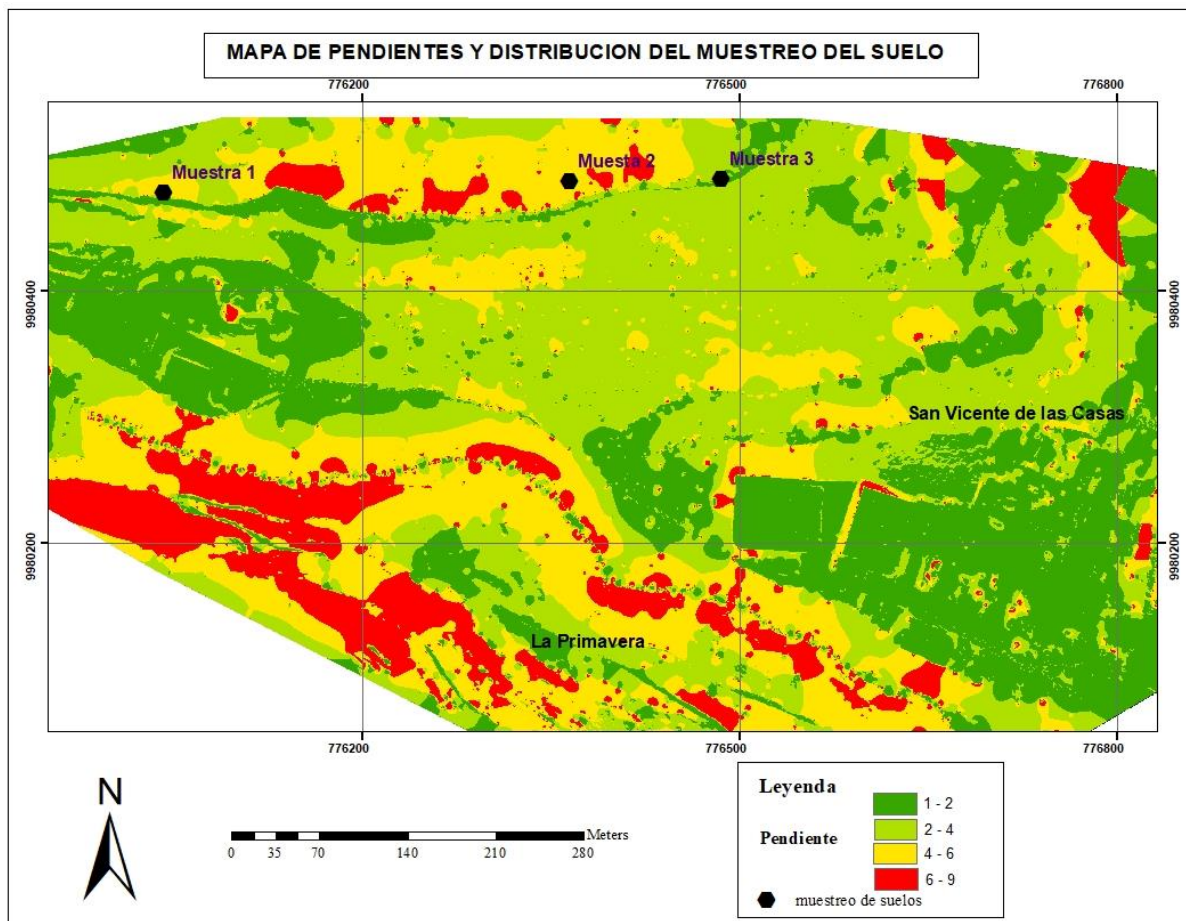
Valor en%	Clasificación
<30	No dispersivo
30-50	Intermedio
>50	Dispersivo

Nota. Los resultados de porcentaje de dispersión fueron clasificados en base a este criterio.

Obtenido de:(Sherard, 1972)

I

*Mapa de pendientes de la vulnerabilidad estructural del área de estudio*



Nota. Mapa de pendientes y puntos de muestreo del suelo.

Fuente: La Investigacion.

A continuación, se muestra la valoración asignada a la clase del mapa de pendientes.

**Tabla 10.**

*Clasificación de mapa de pendientes y sus características*

<b>Grado de susceptibilidad</b>	<b>Rango de pendientes</b>	<b>Descripción de procesos</b>
Bajo	0 a 1% Plana a casi plana	condición transitable y laborable.
Medio	1 a 2% Ligeramente inclinada 2 a 3% Moderadamente inclinada 3 a 4% fuertemente inclinada	Pendientes que pueden generar movimiento de masa a baja velocidad y magnitud ocasionalmente deslizamientos
Alto	Moderadamente empinado 4 a 5% Empinado 5 a 6%	Procesos denudacionales intensivos, evidencia la erosión del suelo, puede generar desprendimiento de rocas.
Muy Alto >6	Muy empinado 5 a 6% Extremadamente empinado > a 6%	Caída de rocas, por efectos de tectonismo y bioclastia.

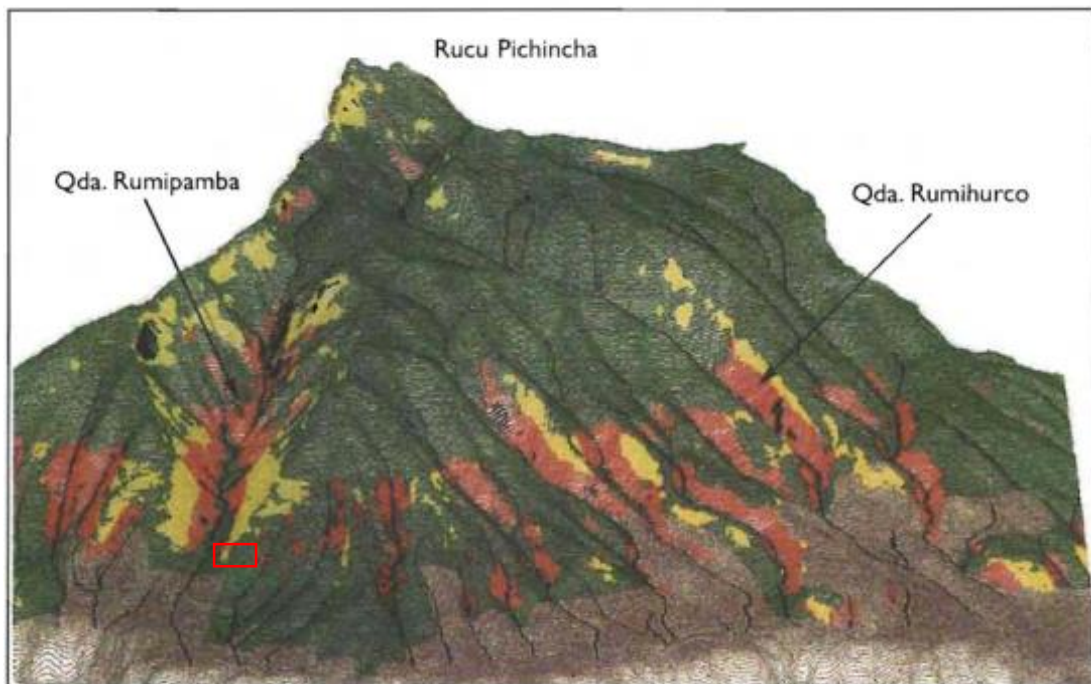
*Nota.* Representa la categoría de clasificación de mapa de pendientes y su magnitud.

Adpatado de: (Figueredo, 2019).

Bajo este criterio de clasificación las muestras del suelo 1 y 2 fueron tomadas en áreas moderadamente empinadas y la muestra 3 en áreas moderadamente inclinadas, consecuentemente, estos suelos son inestables que pueden generar deslizamientos.

En el estudio de Movimientos de Suelo en Pendientes del Ruccu Pichincha realizado por Risser (2000), para comprender y predecir los riesgos urbanos asociados a los fenómenos naturales en particular los deslizamientos de tierra, identifico doce zonas de riesgo, donde se podría producir posibles deslizamientos relacionando directamente con la inestabilidad del suelo.

## Zonas de riesgo por deslizamiento



*Nota.* La imagen representa suelos estables, inestables y centros poblados. Tomado de Movimiento en Laderas del Pichincha (Risser et al., 2000).

La imagen presenta a las zonas con riesgo de deslizamientos, en la zona Norte de Quito, donde las áreas verdes corresponden a suelos estables, áreas amarillas a suelos inestables, y las áreas rojas a sitios que generan flujos de lodos, las áreas grises al pie de las laderas son sectores Urbanizados. Por lo tanto, las áreas estudiadas corresponden a tipo de suelos inestables donde se puede ocurrir deslizamientos.

### 4.2. Análisis de Resultados Puntos de Control

La recolección de los datos GNSS para puntos de control terrestre se tomó por un intervalo de 20 minutos en cada punto, el resultado de post procesamiento de datos crudos entre las dos estaciones, base y rover, es un vector que define la relación entre ellas. Para definir la calidad de los resultados, se considera el tipo de solución, que consiste en “determinar las ambigüedades de enteros para cada satélite en el cálculo de un vector, si todas las ambigüedades de enteros sean determinadas se considera como una solución fija (ambigüedades fijas a

enteros) la solución fija es la mejor solución posible”.(S. Salazar, 2009) Mientras que la solución flotante indica 50% de las ambigüedades determinadas, definiendo una mala calidad. En la tabla 13 de las coordenadas proyectadas UTM 17S WG84, se visualiza las variaciones de sobre posición de cada mes.

**Tabla 11.**

*Resultados de post procesamiento en TBC*

<b>Muestreo Octubre</b>						
<b>ID</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación</b>	<b>Prec. H. (Metro)</b>	<b>Prec. V. (Metro)</b>	<b>Tipo de solución</b>
1	776047,759	9980479,136	3201,368	0,053	0,089	Fija
2	776045,246	9980473,766	3194,897	0,051	0,085	Fija
3	776142,008	9980460,646	3191,663	0,041	0,088	Fija
4	776265,530	9980459,541	3203,185	0,042	0,091	Fija
5	776361,139	9980462,013	3217,760	0,038	0,092	Fija
6	776423,448	9980483,962	3222,445			Flotante
7	776493,378	9980488,305	3222,090	0,042	0,09	Fija
<b>Muestreo Noviembre</b>						
<b>ID</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación</b>	<b>Prec. H. (Metro)</b>	<b>Prec. V. (Metro)</b>	<b>Tipo de solución</b>
1	776047,311	9980477,92	3200,0753	0,076	0,077	Fija
2	776048,043	9980477,92	3198,5216			F
3	776141,927	9980460,48	3191,4701	0,056	0,083	Fija
4	776289,385	9980459,52	3198,9434	0,041	0,093	Fija
5	776348,438	9980461,92	3210,2931	0,067	0,074	Fija
6	776423,864	9980482,24	3217,8115	0,08	0,074	Fija
7	776493,582	9980487,68	3222,8613	0,041	0,045	Fija
<b>Muestreo Diciembre</b>						
<b>ID</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Elevación</b>	<b>Prec. H. (Metro)</b>	<b>Prec. V. (Metro)</b>	<b>Tipo de solución</b>
1	776046,336	9980480,982	3200,530	0,044	0,088	Fija
2	776047,149	9980475,140	3195,630	0,046	0,088	Fija
3	776142,525	9980462,913	3191,015	0,056	0,087	Fija
4	776282,093	9980463,326	3200,903	0,051	0,089	Fija
5	776339,920	9980462,139	3215,026	0,057	0,086	Fija
6	776422,583	9980484,200	3217,733	0,053	0,088	Fija
7	776491,400	9980489,443	3222,813	0,062	0,084	Fija

*Nota:* Resultados Obtenidos de procesamiento de línea base.

Fuente: La investigación.

En el mes de octubre se post proceso los 7 puntos en TBC, de las cuales 6 puntos pasaron los criterios establecidos de precisión Horizontal  $0,0900\text{m} + 1.000 \text{ ppm}$ , precisión vertical  $0,1000 \text{ m} + 1.000 \text{ ppm}$ , en solución fija, mientras el posicionamiento N°6 se obtuvo un resultado de modo flotante, consecuentemente el punto no pasa los indicadores y no puede ser utilizada con GCP. Estos errores son muy comunes por la posición de los satélites espaciales que no se encuentran en el mismo sitio, también influye la interferencia existente como las antenas y los árboles.

En el mes de noviembre se tomó los mismos puntos con los criterios de aceptación de mes de octubre, de las cuales 6 puntos pasaron, excepto el posicionamiento N°2, debido a tiempo de toma de datos que fue por 5 minutos, por lo tanto, ese punto es flotante y no se toma en cuenta para procesamiento en GCP.

Los resultados de procesamiento de mes de diciembre cumplen con criterios de aceptación y en solución fija, por lo tanto, todos los puntos GCP son utilizables para procesamientos posteriores.

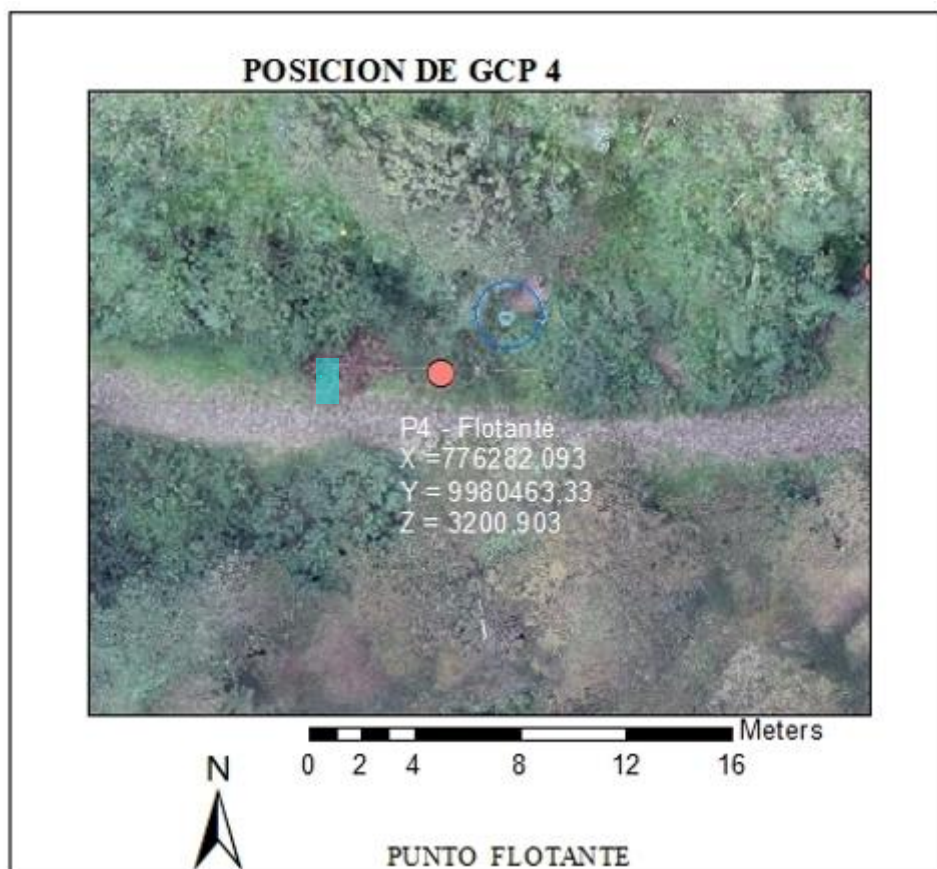
Los puntos N° 4 y 5 en el informe de procesamiento TBC, cumplen con los criterios establecidos en precisión y estado de solución para los tres meses, sin embargo, los resultados de posicionamiento se encuentran con metros de error en cada periodo, estos dos puntos fueron tomados en el tramo donde hay árboles primarios muy altos con vegetación muy densa y la calidad de posicionamiento está estrechamente relacionada con el número de satélites que el GPS sea capaz de visualizarse, este error se asume que al momento de receptar la señal de los satélites la obstrucción que hay en la zona no les permitió receptar señal suficiente, para el punto 4 la coordenada más próxima del punto señalado es de octubre, para el punto 5 la coordenada geográfica más próxima con 1.5 m de error es muestreo de diciembre por ende estos puntos no podrán ser utilizados para ningún procesamiento posterior debido a su margen de error de 2 a 5 m. A este error le relacionamos con el PDOP, ya que en estos dos puntos

reflejan más de 10, lo que significa que son puntos inadecuados que debió haberse tomado por más tiempo.

El PDOP, referido a la precisión de posición 3D adimensional, “relaciona el error en la posición del usuario y el error en la posición del satélite. Los valores aceptables de PDOP son del orden de 3. Los valores superiores a 7 se consideran inadecuados”.(González, 2010)

I

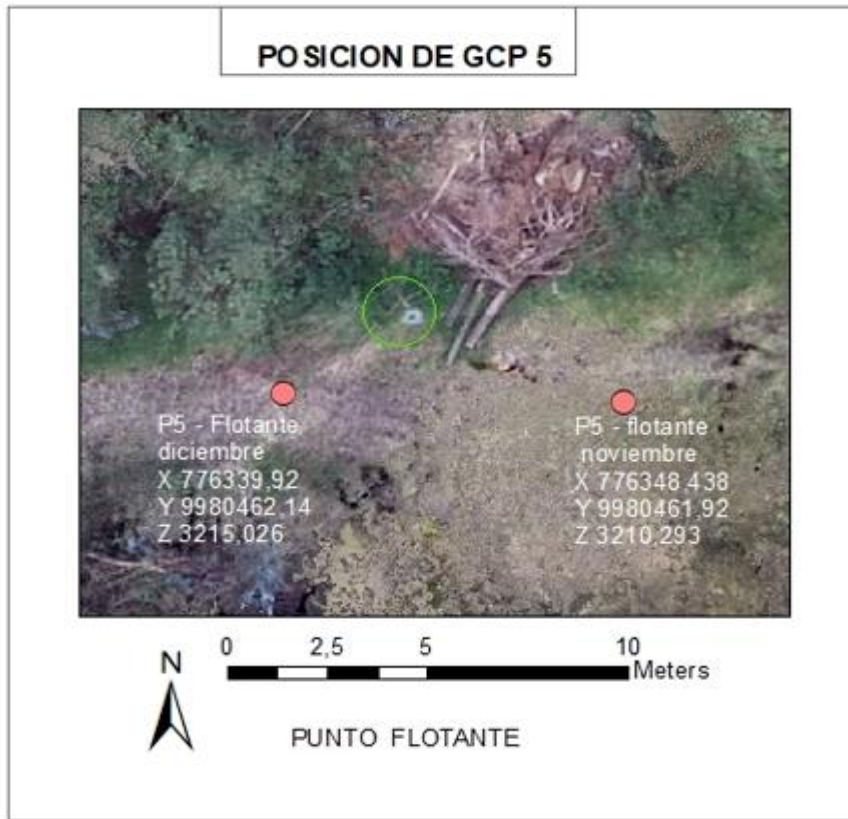
#### Desacoplamiento de Punto 4



*Nota:* La imagen muestra el error de posicionamiento de punto de control N° 4, en el campo los datos se grabaron en el área marcado azul, el resultado de procesamiento coloca las coordenadas a 5 metros fuera del área.

Fuente: La Investigación.

Desacoplamiento de Punto 5



*Nota.* La imagen muestra el error de posicionamiento de punto de control N°5. En el campo los datos se grabaron en el área marcado de blanco con círculo verde y el resultado de procesamiento coloca las coordenadas de 2 y 3 metros fuera del área.

Fuente: La Investigación.

**Tabla 12**

*Resultados promedio de Error Medio Cuadrático (RMS) de 3 meses*

m	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Promedio
<b>RMS1</b>	0,0069	0,0198	0,029	0,0200	0,0363	<b>0,032</b>	0,0204	<b>0,0235</b>
<b>RMS2</b>	0,0300	<b>0,013</b>	0,028	0,0230	0,029	0,012	0,018	<b>0,0219</b>
<b>RMS3</b>	0,0165	0,0146	0,0104	0,0130	0,0098	0,0121	0,0157	<b>0,0132</b>

*Nota.* Resultados obtenidos de precisión horizontal y vertical de cada punto por los 3 periodos.  
Fuente: La Investigación.

El Error medio cuadrático mide la cantidad de error que existe entre dos conjuntos de datos, comparado un valor ya observado, en efecto los resultados del mes de diciembre tienen un promedio de 0,0132m lo que significa que estos puntos tienen mayor precisión, mientras que el mes de octubre y noviembre registra un promedio de RMS más alto. Por lo tanto, la precisión varía, este resultado se justifica porque en los dos meses hay puntos que no cumplen con parámetros de aceptación y fueron rechazados como puntos desacoplados.

**Tabla 13.**

*Errores de RMS medidos de los GCP*

<b>Periodos</b>	<b>RMS (m)</b>	<b>GSD(m)</b>
Octubre	0,0235	0,0352
Noviembre	0,0219	0,0303
Diciembre	0,0132	0,0304

*Nota.* El RMS es la precisión de puntos de control para cada procesamiento y el GSD indica la precisión y nivel de detalle de los resultados en Pix4D.

Fuente: La investigación.

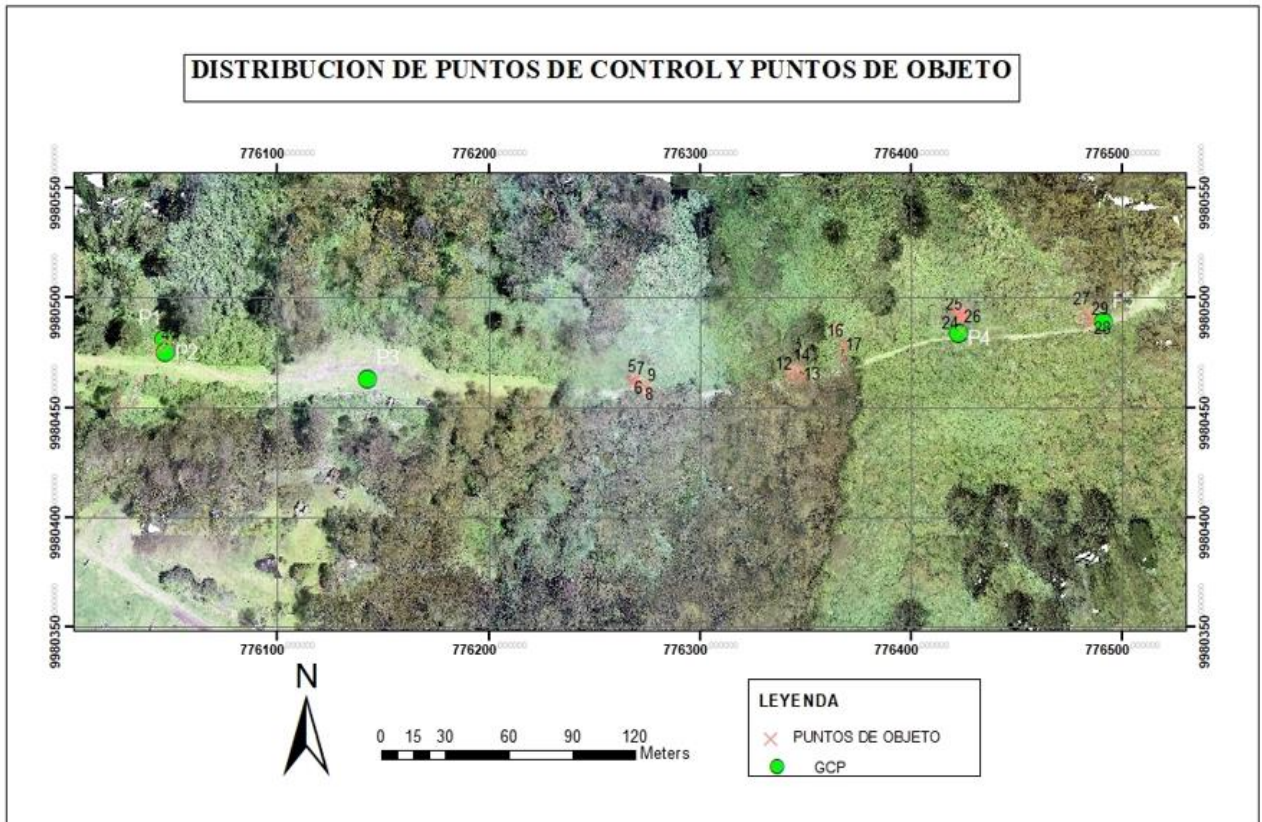
#### **4.3. Análisis de Ortomosaicos y Modelo digital de Superficie**

Como resultado de procesamiento del software Pix4D, se obtuvo modelo digital de la superficie y un ortomosaico para cada periodo, estos resultados fueron analizados mediante el Software ArcGis, donde se verificó la superposición de cada ortomosaico, y los puntos de control.

Para analizar si hay modificaciones o nuevos deslizamientos en el área de estudio, se creó 30 puntos de objetos 3D en coordenadas proyectadas UTM WGS84 17S, sobre los ortomosaicos de cada mes, con la finalidad monitorear la aceleración de movimiento en los 3 periodos. Los puntos de objetos se colocaron dentro de las áreas donde hay movimientos de tierra y caída de árboles.



## Puntos de Control y Puntos de Objeto



*Nota.* La ilustración representa el ortomosaico obtenido del procesamiento en Pix4D del área de estudio, adjunto con el posicionamiento de puntos de control y los puntos de objetos, la simbología de círculo verde corresponde a los 5 puntos de control terrestre, y los puntos rojos son puntos de objetos creados en el software ArcGis, para el seguimiento a deslizamientos en las 5 áreas.

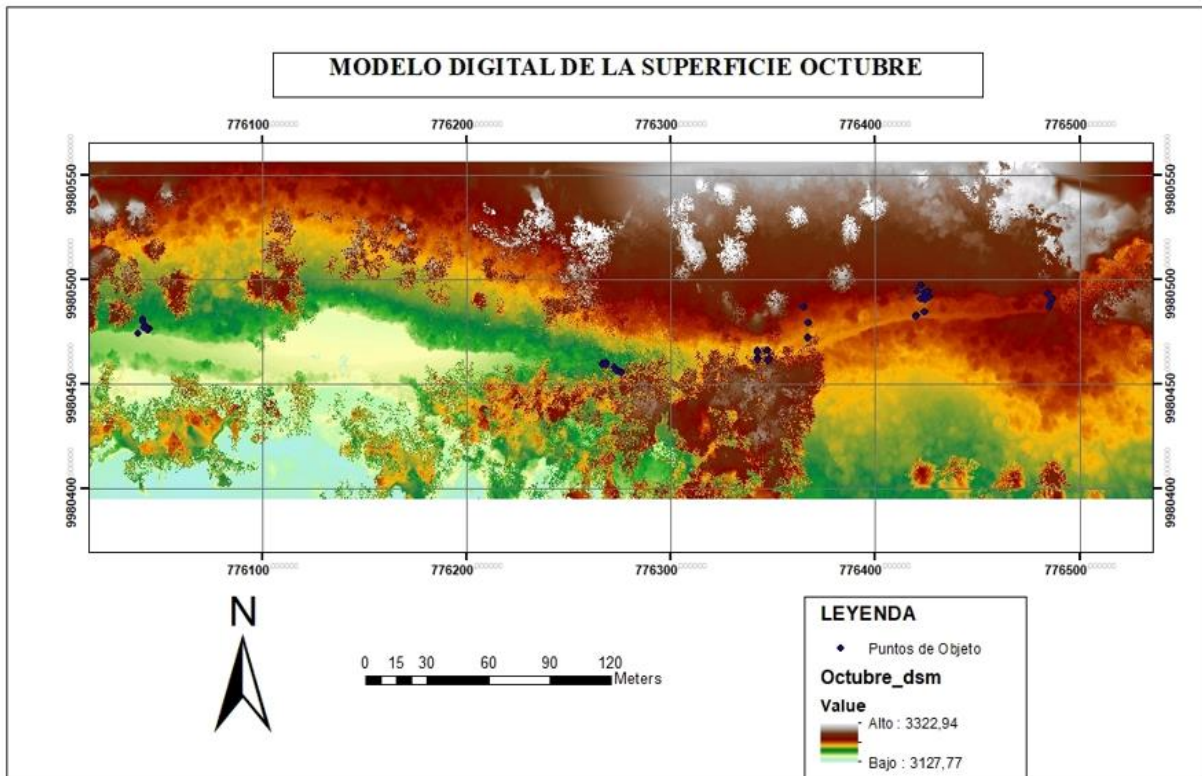
Fuente: La Investigación.

El DSM, permite visualizar todo lo que se encuentra encima de la superficie del área de estudio incluye construcciones, arboles, y la vegetación en general.

El DSM del mes de octubre presenta las características iniciales que tiene la superficie hasta esa fecha, los modelos generados en los siguientes meses permitirán analizar si se generó cambios de un periodo a otro.

I

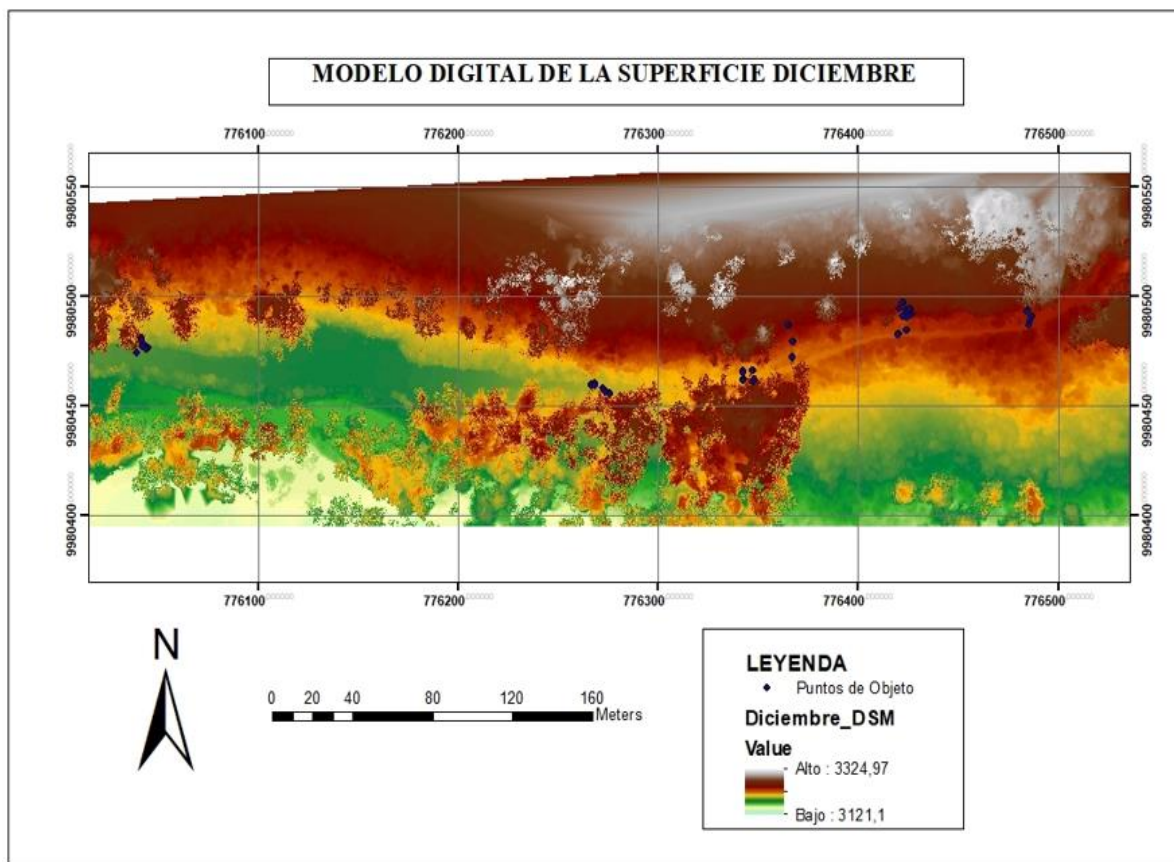
Mapa de Modelo Digital de la superficie octubre.



*Nota.* El DSM, del mes octubre es el punto de partida para monitorear si sucede nuevos deslizamientos dentro del area, permitirar tambien evaluar si se presenta cambios las 5 áreas donde ya hay deslizamientos.

Fuente: La Investigación

*Mapa Modelo digital de la superficie diciembre*



*Nota.* Mapa de modelo digital se la superficie.

Fuente: La Investigación.

El DSM del mes de diciembre presenta las características finales que tomó el área de estudio en transcurso de los dos meses, los puntos de color azul son los puntos de objetos con coordenadas x,y que permitirán calcular el desplazamiento diferencial de un periodo a otro.

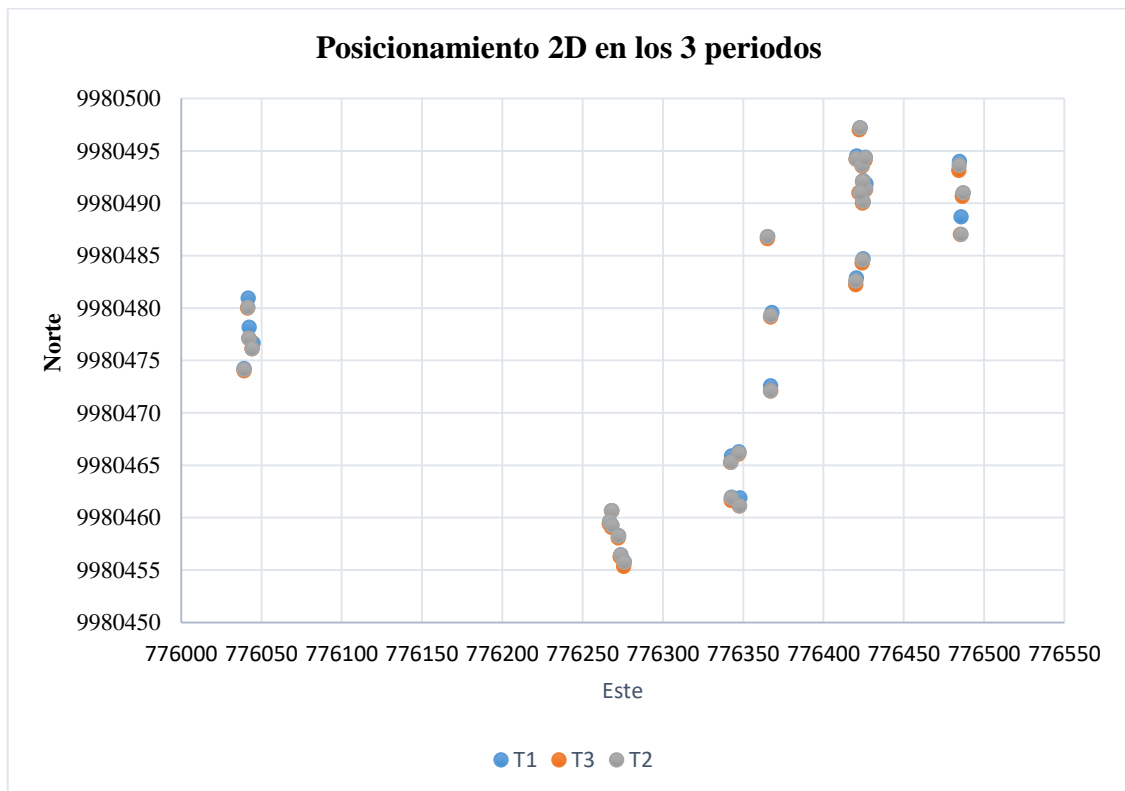
Durante los tres meses que se realizó este estudio no se presenciaron nuevos deslizamientos en otras áreas dentro del área de estudio, los deslizamientos en los 5 tramos se identificaron como deslizamiento rotacional. Por ende, para evaluar si ocurrió nuevos movimientos dentro de las 5 áreas identificadas se calcularon la posición de los puntos de objetos que fueron colocados en el ortomosaico de cada mes.

#### 4.4. Análisis de resultados del desplazamiento diferencial a partir de los puntos de objetos

A partir de los datos de posicionamiento (X,Y,Z) de los puntos de objetos, se realizaron cálculos para encontrar la distancia entre dos puntos, con la finalidad de determinar la velocidad de movimiento de un mes respecto, para la cual se hizo la comparación de los datos entre octubre - noviembre y octubre – diciembre.

|

##### *Movimiento Bidimensional de Puntos de objeto*



*Nota.* Gráfico de Geoposicionamiento bidimensional(x,y) entre los tres periodos.

Fuente: La Investigación.

La ilustración de posicionamiento bidimensional de los puntos de objetos, es una representación general de cómo se posiciono los datos(X,Y) en cada mes, en si representa si hay movimiento de un mes respecto a otro entre los 3 periodos, de acuerdo a esta gráfica, el comportamiento de estos puntos se mantienen aproximadamente iguales, hay una diferencia

poco notable en los meses octubre a noviembre, mientras noviembre a diciembre se mantienen, para definir cuanto fue el valor que de desplazamiento se realizo los cálculos matemáticos correspondientes acontinuacion.

Para definir la magnitud del movimiento entre el periodo octubre y diciembre, se calculó la distancia entre dos puntos, aplicando el teorema de Pitágoras mediante la siguiente ecuación.

$$d = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2}$$

Donde:

$$(x_3 - x_1)^2 = \text{Coordenadas } X$$

$$(y_3 - y_1)^2 = \text{Coordendas } Y$$

$$(z_3 - z_1)^2 = \text{Coordendas } Z$$

**Tabla 14.***Magnitud de Movimiento vertical y Horizontal(cm) de puntos de objeto*

Magnitud de movimiento vertical y Horizontal		
ID	m	m
1	1,026	1,136
2	1,093	1,129
3	0,817	1,536
4	0,252	0,252
5	0,083	3,908
6	0,301	0,301
7	0,292	0,536
8	0,285	0,287
9	0,368	7,771
10	0,576	4,121
11	0,739	4,951
12	0,300	3,158
13	0,370	7,083
14	0,857	15,456
15	0,297	0,423
16	0,932	1,334
17	0,522	0,524
18	0,553	0,836
19	0,505	0,561
20	0,378	0,428
21	0,349	0,406
22	0,720	1,274
23	0,330	0,330
24	0,419	0,422
25	0,534	0,564
26	0,647	1,326
27	0,722	0,737
28	0,948	1,031
29	0,473	0,629
30	1,772	1,787

*Nota.* Resultados obtenidos para la magnitud de movimientos.

Fuente: La Investigación.

La tabla 14, representa el movimiento bidimensional (X,Y)  $\Delta S$ , entre los meses octubre y diciembre. En el movimiento bidimensional el punto de objeto N°5, se desplazó 0,083m, fue

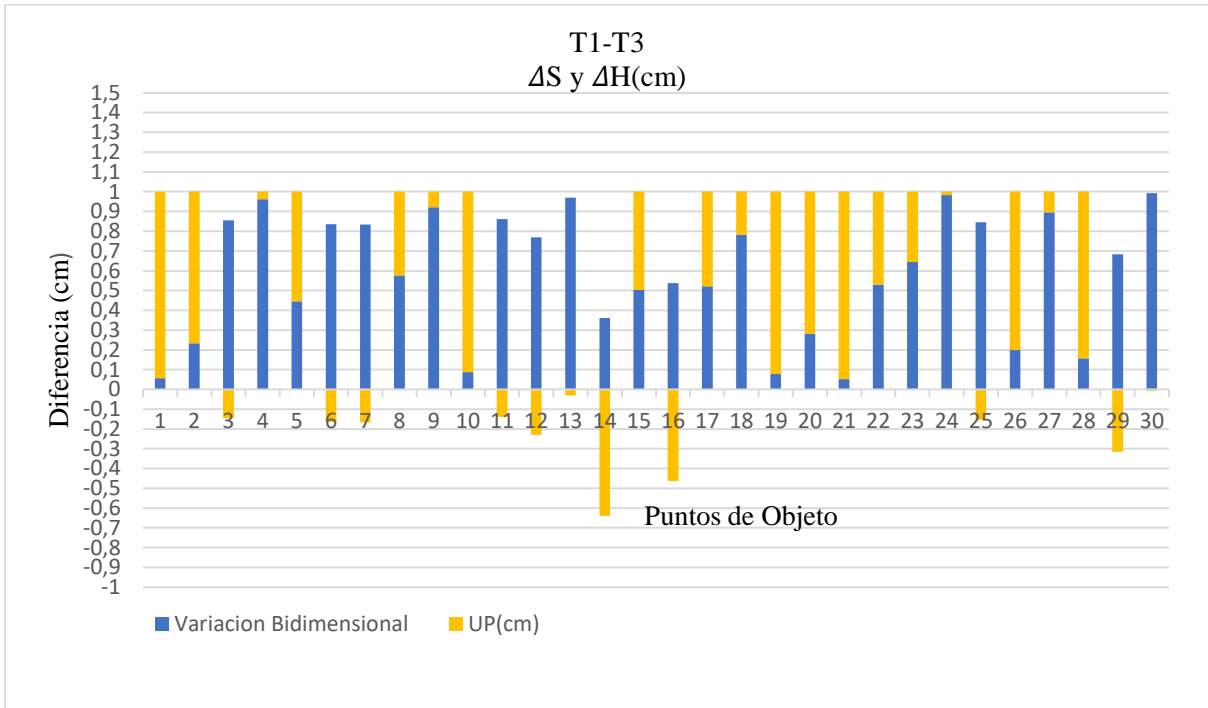
el desplazamiento más bajo, mientras que el movimiento máximo se generó en el punto 30. Con un valor de 1,772 m.

Para interpretar la variación de la altura, se obtuvo el valor de elevación  $Z$  en el DSM de mes de octubre, y el valor de  $Z$  de mes de diciembre, con este resultado se hizo el análisis de posicionamiento 3D, de puntos de objetos para comparar cambios de posición bidimensional y variación de la altura.

La variación de la altura  $\Delta H$ , no se relacionó para todos los puntos debido al crecimiento de la vegetación, mismas que varía de un mes a otro, como fue el caso de punto 1,2,3,5, 9,10,11,12,13,14,22, y 26. Por la tanto el hundimiento más alto ocurrió en el punto 28 con un valor de 1,031m. En el estudio de monitoreo a movimientos de masa realizado por Yaprak (2018), establece el uso de modelo digital de superficie para suelos desnudos o con escasa vegetación, o a su vez densificar los nube de puntos 3D, donde cada punto 3D debe proyectarse correctamente mínimo en tres imágenes para el software Pix4D, por defecto, se puede elegir hasta seis imágenes, esta opción reduce el ruido y mejora la calidad de nube de puntos por lo tanto los resultados obtenidos como el ortomosaico, el DSM se podrá apreciar mejor los detalles.

I

Representación de  $\Delta S$  y  $\Delta H(cm)$  en T1-T3



*Nota.* La imagen representa diferencia de la posición bidimensional, respecto a la altura entre los periodos octubre y diciembre, donde la altura no se relacionó para todos los puntos con respecto al desplazamiento 2D. La barras amarillas indican la elevacion o el hundimiento donde hay valores que sobrepasan mas de 1m, las barras de color azul representa el posicionamiento bidimensional.

Fuente: La Investigación.

**4.5. Resultados de Movimiento Posicional de Puntos de Objeto entre octubre y diciembre**

Con los resultados de los movimientos posicionales obtenidos en el área de deslizamiento, se calcularon los vectores de la velocidad puntual, estimando el modelo para 3 meses.  $V_x, V_y, V_z$ .



**Tabla 15.***Movimiento Posicional por coordenadas entre T1-T3*

ID	Octubre-Diciembre		
	Xi(m)	Yi(m)	Zi(m)
1	0,410	0,940	0,488
2	0,301	1,050	-0,286
3	0,602	0,551	1,301
4	0,108	0,228	-0,004
5	0,072	0,041	-3,907
6	0,211	0,215	0,000
7	0,210	0,203	-0,449
8	0,201	0,201	-0,034
9	0,301	0,211	7,763
10	0,402	0,412	-4,080
11	0,412	0,614	-4,895
12	0,202	0,222	-3,143
13	0,201	0,310	7,074
14	0,405	0,755	15,432
15	0,210	0,210	0,301
16	0,837	0,410	-0,954
17	0,110	0,510	0,047
18	0,512	0,208	-0,628
19	0,400	0,308	0,244
20	0,218	0,309	0,199
21	0,194	0,290	0,207
22	0,411	0,591	1,051
23	0,311	0,111	0,008
24	0,405	0,104	0,049
25	0,531	0,057	0,182
26	0,502	0,409	1,158
27	0,314	0,650	0,149
28	0,413	0,853	0,405
29	0,335	0,334	0,414
30	0,495	1,701	-0,232

*Nota.* Resultados obtenidos de movimientos entre Octubre a diciembre.

Fuente: La investigación

Los vectores de velocidad puntual (x,y,z), modelo estimado para 365 días, se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$V(x, y, z) = \frac{\Delta V(x, y, z)}{\Delta t} 365 \text{días}$$

Dónde:

$\Delta t$ : Diferencia de tiempo de los periodos

$\Delta V(x,y,z)$ : la diferencia entre los componentes de coordenadas proyectadas entre periodo T1-T3.

Para calcular la diferencia de variación de tiempo se tomó en cuenta desde 11 de octubre de 2021 a 10 de diciembre 2021.

Cálculos para posición X.

$$V(x, y) = \frac{\Delta V(0,4101)}{60 \text{días}} 365 \text{días/año}$$

$$V(x, y) = 2,494 \text{m/año}$$

Cálculos para posición Y.

$$V(x, y, z) = \frac{\Delta V(0,9402)}{60 \text{días}} 365 \text{días/año}$$

$$V(x, y, z) = 5,719 \text{m/año}$$

Cálculos para la posición Z.

$$V(x, y, z) = \frac{\Delta V(0,4881)}{60 \text{días}} 365 \text{días/año}$$

$$V(x, y, z) = 2,969 \text{m/año}$$

Esta fórmula se aplicó para evaluar a todos los puntos de objetos, los resultados se muestran en la tabla 16

#### 4.6. Resultados de Vectores de velocidad anual

**Tabla 16.**

*Vectores de velocidad anual de los puntos de objeto por ejes.*

ID	X(m/año)	Y(m/año)	Z(m/año)
1	2,495	5,720	2,969
2	1,832	6,389	-1,742
3	3,663	3,354	7,912
4	0,659	1,385	-0,026
5	0,440	0,246	-23,768
6	1,284	1,309	0,000
7	1,278	1,236	-2,732
8	1,223	1,225	-0,207
9	1,833	1,284	47,223
10	2,447	2,508	-24,821
11	2,507	3,733	-29,781
12	1,231	1,349	-19,121
13	1,223	1,888	43,031
14	2,465	4,595	93,879
15	1,278	1,279	1,833
16	5,090	2,495	-5,803
17	0,672	3,103	0,284
18	3,116	1,267	-3,818
19	2,435	1,876	1,482
20	1,326	1,882	1,211
21	1,183	1,767	1,262
22	2,498	3,598	6,391
23	1,892	0,675	0,048
24	2,467	0,633	0,300
25	3,230	0,344	1,105
26	3,054	2,487	7,042
27	1,910	3,954	0,907
28	2,511	5,192	2,464
29	2,039	2,032	2,520
30	3,011	10,348	-1,412

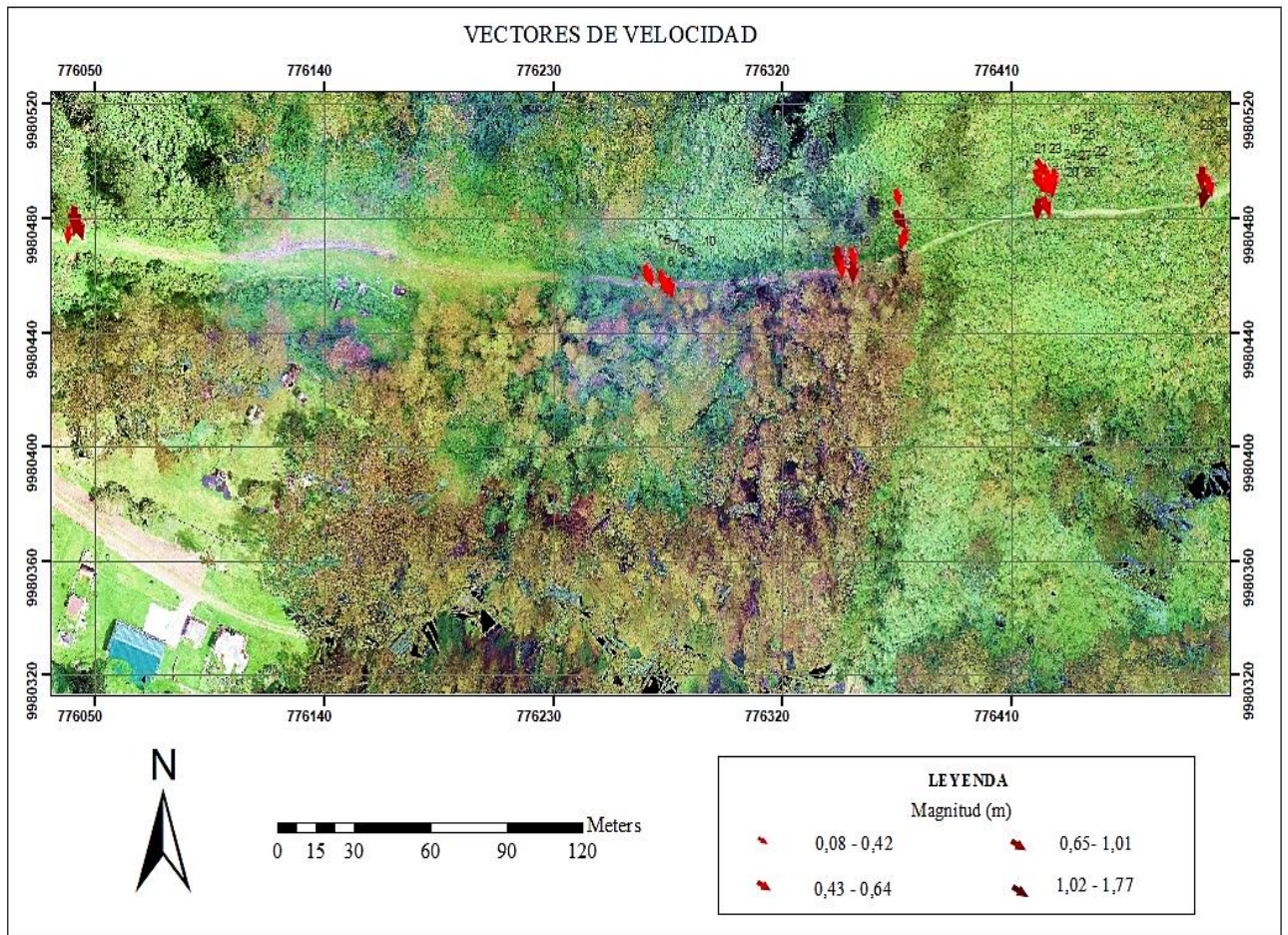
*Nota.* Resultados obtenidos para vectores de velocidad anual.

Fuente: La Investigación

Con los resultados de vectores de velocidad se encontró movimientos característicos anuales de  $V_x= 5,09m$   $V_y= 10,348m$ ,  $V_z=2,52m/año$ .

I

*Representación de mapa de vectores de Velocidad anual*



Nota. Elaboracion Propia. En el mapa de vectores de velocidad anual se puede observar que el deslizamiento de tierra muestra no muestra una estructura típica para las areas 2, 3,4 y 5.

Fuente: La Investigación.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las 5 áreas monitoreadas se generó desplazamientos en las áreas 2, 3, 4 y 5, mientras que en el área 1 no se muestra estructura diferente, en cuanto que el flujo de dirección de movimientos de masa tomaría a Barrio San Vicente de las Casas y la Quebrada Rumipamba como área de influencia directa a sufrir

impacto del deslizamiento, mientras que el barrio la Primavera sufriría consecuencias en menor grado los asentamientos al filo de la quebrada, por otro lado el barrio la Primavera tiene amenaza de que ocurra deslizamientos del cerro Rumiloma que tiene pendiente mucha más pronunciadas, considerando la muy alta susceptibilidad por inestabilidad de terrenos junto a este problema la vulnerabilidad física, social contribuye a que esta amenaza sea persistente. Por consecuente la magnitud de movimiento de las 5 áreas puede variar de un mes a otro debido a las condiciones meteorológicas presentes en la zona.

Según Peltre, (1989) indica que los mayores problemas del sitio urbano y las periferias están relacionados con el reemplazo de sistema natural de drenaje de las quebradas, por una red de alcantarillado que no puede ser técnicamente dimensionada para evacuar las crecientes torrentes por las precipitaciones. En cuanto a los derrumbes necesitan un reglamento de urbanismo que permita la delimitación de asentamientos en las pendientes muy pronunciadas, además, la aplicación de normas de construcción adaptadas al riesgo sísmico y a los deslizamientos. Según (Fierro y Moran, 2021). En el estudio realizado en la comuna Santa Clara de San Millan a 4 km del área de estudio, determinaron que la falta de planificación urbana conlleva a que siga creciendo la expansión urbana en zonas periféricas donde hay probabilidad de que ocurra deslizamientos, riesgo de deslave futuro, relacionando el cambio climático por las constantes precipitaciones y el cambio de uso de suelos como principales causas para que ocurra este tipo de desastre. Es por ello que la planificación urbana y la protección de áreas naturales debe ser la prioridad, tanto para las zonas urbanas y rurales, así como el acceso y control de recursos como derechos colectivos para preservar espacios vitales para el bienestar de la sociedad.

#### **4.7. Posibles Medidas de prevención para áreas de influencia directa e indirecta**

Entre las diferentes actividades recomendadas en áreas susceptibles a deslizamientos es conservar las zonas naturales localizadas en los sitios de laderas, manteniendo las áreas verdes, evitando la deforestación de los árboles y la vegetación en general, que cumplen papeles fundamentales como regular la cantidad de agua en el suelo, las raíces sirven de soporte para la tierra y evita que el agua forme flujos de lodo.

Evitar la mala costumbre de depositar los escombros en las quebradas, con el tiempo se rellenan las quebradas y consecuentemente el asentamiento de los escombros en la nueva superficie generará hundimientos, el paso del cauce natural y de las aguas servidas se pueden quedar estancados, por ende, tomara nuevas rutas generando daños en otras superficies.

Abrir canales en la parte superior de las construcciones que se encuentran en el pie de la montaña, manteniendo limpias para que el agua de la lluvia corra libremente hasta desembocar en la quebrada, además dar mantenimiento al tanque de reservorio que se encuentra abandonada en San Vicente de las Casas.

Evitar que la expansión urbana siga avanzando de manera desmesurada en áreas catalogadas de alto riesgo ya que contribuyen a la desestabilización de taludes por construcciones anti técnicas en las pendientes, además el incremento en los coeficientes de escorrentía.

Para las autoridades municipales, actualizar la ordenanza metropolitana 0432, del régimen Administrativo del suelo en el DMQ, que impidan las construcciones fuera de la cota establecida, y se cumpla lo que estipulan los artículos.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1. Conclusiones

En este estudio se comparó los ortomosaicos y el modelo digital de la superficie obtenidos durante los 3 meses de estudio, para analizar los posibles movimientos en el área de estudio. Los principales hallazgos en el estudio son los siguientes.

- Los vehículos aéreos no tripulados son una alternativa muy eficaz, que permiten obtener la información geográfica actualizada, en buena resolución optimizando el tiempo y recursos, que con las técnicas tradicionales se llevaría más tiempo y recursos.
- La aplicación de los UAV, en la gestión de riesgos es un gran aporte, ya que en el caso de los deslizamientos se pueden monitorear la velocidad y la dirección del movimiento que toma de un mes a otro, lo que permite tomar decisiones y precauciones necesarias además la información proporcionada coopera como un sistema de alerta temprana.
- La distancia del muestreo del suelo GSD que determina la precisión del nivel de detalle en los resultados de modelamiento digital, para la cual en el mes de octubre se obtuvo un valor de 0,0353m donde el nivel de detalle no se puede apreciar claramente, para el mes de noviembre diciembre se bajó la altura del vuelo por defecto, se redujo el valor de GSD obteniendo un valor de 0,0303m, permitiendo visualizar el modelo digital y el ortomosaico a mayor detalle.
- El error medio cuadrático de los tres meses se encontró diferencias muy bajas, estos resultados pueden asociarse a la distancia de la longitud de la base, el tiempo de observación, la manipulación involuntaria al momento de recolectar datos. Un buen resultado de RMS no siempre implica buenos resultados, sin embargo, es un indicador que se debe considerar.

- La ubicación geográfica de los barrios San Vicente de las Casas y la Primavera pertenecientes a la Parroquia Belisario Quevedo, se sitúan en las zonas consideradas de altas pendientes, que tienen factores contribuyentes a la alta susceptibilidad de que ocurran deslizamientos, junto a este problema están asociados otros tipos de amenazas naturales y antrópicas capaces de afectar al territorio.
- En este estudio de las 5 áreas monitoreadas por tres meses, se puede concluir que las áreas 2,3,4 y 5 es donde se generó más desplazamiento en modelamiento anual, mientras que en el área 1 no se muestra estructuras diferentes. Si se sigue generando el desplazamiento, el área de influencia directa a sufrir las consecuencias es el Barrio San Vicente de las Casas que se sitúa al pie de la montaña ya que la dirección del movimiento de tierra toma esa ruta, mientras que el barrio la Primavera tiene amenaza de que ocurra posibles deslizamientos del cerro Rumiloma que tienen pendientes mucho más pronunciadas.
- La ausencia de las autoridades que gestionen y den seguimiento a la planificación urbana en las laderas de Pichincha del DMQ conlleva que se sigan construyendo viviendas en las áreas susceptibles al deslizamiento, en caso de los barrios San Vicente de las Casas y la Primavera deben evitar seguir con construcciones de viviendas, considerando que se encuentran al pie de las montañas, con altas pendientes y suelos inestables.



## 5.2. Recomendaciones

Para realizar este tipo de estudios se recomienda analizar por un tiempo más prolongado puede ser de 5 meses a un 1 año, ya que es el tiempo donde se podrá recolectar información suficiente y los resultados más semejantes con la realidad, por la precipitación, cambios en uso del suelo, sismicidad, etc.

El uso de vehiculó aéreo no tripulado para áreas con mucha vegetación es muy útil, pero se recomienda utilizar aviones de ala fija o la tecnología LIDAR, que trasvasa la vegetación y se obtiene información más precisa del suelo. Además, en áreas con vegetación muy densa es recomendable trabajar con modelo digital del terreno ya que el modelo digital de superficie genera confusión por crecimiento de vegetación entre un periodo a otro con respecto a la variación de la altura.

Para determinar la precisión exacta de las coordenadas geográficas dentro de áreas con mucha interferencia como el caso de GCP n°4 y n° 5, se recomienda recolectar datos con receptores GNSS, por más 2 horas como mínimo e incluso por día ya que mientras más datos se almacena contendrá mayor precisión, se debe evitar mover cuando se está recolectando los datos, o colocar en un bipode.

Para ampliar la información de susceptibilidad de deslizamientos se recomienda combinar con la metodología de Mora Varson, que toma 2 factores con sus subdivisiones muy importante que permitirá obtener información predictora.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, G., McClung, E., Jiménez, G., & García, V. H. (2017). Using photogrammetry through unmanned aerial vehicles (Uav) as a risk assessment tool: The archaeological chinampas of xochimilco. *Revista Espanola de Antropologia Americana*, 47, 197. <https://doi.org/10.5209/REAA.61978>
- Agisoft. (2018). *Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.4*.
- Aguero, E., Montilla, A., & Valero, G. (2018). *Medición de puntos GPS por el método estático con equipo diferencial. Una experiencia didáctica en el Instituto Pedagógico de Maturín*. <http://orcid.org/0000-0003-4587-3852><http://orcid.org/0000-0001-9739-4971><http://orcid.org/0000-0002-7122-1682>
- Alcántara, L. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas*, 1(41), 11. <https://doi.org/10.14350/rig.59101>
- ArcGeek. (2021). *Fotogrametría de los UAV y fundamentos de cartografía con LIDAR | El blog de franz*. <https://acolita.com/fotogrametria-de-los-uav-y-fundamentos-de-cartografia-con-lidar/>
- Boada, S. C. (2012). *Historia de la vegetación del Páramo del Guagua Pichincha durante los últimos 730 años*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Cardona, O. (2001). Conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*, 5-20. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6219/04Capitulo2.PDF?sequence=4&isAllo>

wed=y

- Chaux, W. (1993). Vulnerabilidad Social. *LIBRO COLECTIVO: Parentalidad, Vulnerabilidad Social y Convivencia Social*, 85-104. <https://doi.org/10.2307/j.ctv2d6jrqm.6>
- Chaverri, I. (2016). *Zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento, por medio de la metodología Mora-Vahrson, en la microcuenca del Río Macho, San José, Costa Rica; Zonificación de la susceptibilidad a deslizamiento, por medio de la metodología Mora-Vahrson, en la microc.*
- Cisneros, S., Garcia, E., Montoya, K., & Sinde, I. (2019). *Estudio de las Configuraciones de Puntos de Control Terrestre para Fotogrametría con Drone*. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial/article/view/1278/942>
- Costales, G. (2018). Análisis Comparativo Entre Los Software De Prueba Agisoft Photoscan Y Pix4D Para El Procesamiento De Datos Obtenidos Con Fotogrametría De Vehículo Aéreo No Tripulado (Uav) De Bajo Costo Aplicado a Proyectos De Medio Ambiente. *Escuela Politecnica Nacional*, 179.
- D'Ercole, R., & Metzger, P. (2015). *Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito* (Número Censo 2010).
- Demoraes, F., & D'ercole, R. (2001). *Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en Ecuador*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01292338>
- DGAC. (2020). Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs). *Dirección General De Aviación Civil*, 811, 1-2.
- Diario el Comercio. (2020). *77 zonas de Quito están en riesgo por deslizamientos - El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/quito-riesgo-deslizamientos-lluvias-clima.html>
- DJI. (2017). Manual del Usuario Phantom 4 PRO/PRO+. *Dji*, 477, 1-43.

- Donoso, J. D. (2017). *Análisis de riesgos ante la amenaza de deslizamiento a las orillas de la quebrada Chusig en la Urbanización Santa Mónica Alta, parroquia de Conocoto, zona del Valle de los Chillos, Ciudad de Quito. Informe para sus habitantes.* <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1329/1/T-UIDE-1086.pdf>
- e-Survey. (2018). *Estudio de la tierra | eSurvey GNSS.* <https://esurvey-gnss.com/product/survey>
- Fierro, L., & Moran, J. (2021). *PERSPECTIVA SOCIOAMBIENTAL DEL RIESGO DE DESLAVE EN LA COMUNA DE SANTA CLARA DE SAN MILLÁN PERTENECIENTE AL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. PERIODO 2014-2020.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20880/1/UPS - TTS495.pdf>
- Figueredo, A. (2019). *Clasificación de pendientes y sus características.* [https://github.com/Vicajo/Tarea\\_1](https://github.com/Vicajo/Tarea_1)
- Fraser, B. T., & Congalton, R. G. (2018). Issues in Unmanned Aerial Systems (UAS) data collection of complex forest environments. *Remote Sensing*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/rs10060908>
- Geotecnia. (2020). *Geología de Quito: fallas y sismicidad.* <https://geotecniafacil.com/geologia-fallas-quito/#:~:text=Quito es una depresión topográfica,eólica y de erosión fluvial.>
- Gomez, J. (2013). Manual de practica de campo y de laboratorio de suelo. En *Centro Agropecuario la Granja-Sena* (p. 53). [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas\\_campo\\_laboratorio\\_suelos.pdf;jsessionid=839C77EE942482F497716CF1AAE06575?sequence=1](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/2785/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf;jsessionid=839C77EE942482F497716CF1AAE06575?sequence=1)
- González, P. (2010). *Levantamiento Mediante Gps.* 63. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4651/pfc5890.pdf>

- Ibañez, E. (2008). *Validacion del modelo digital del terreno de precision a partir de datos Lases Escaner Aerotransportado*. 33.
- IDEAN. (s. f.). *Metodología para la Zonificación de Susceptibilidad General del Terreno a los Movimientos en Masa*. Recuperado 20 de enero de 2022, de [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- INDECI. (2011). *Manual de Estimación del Riesgo ante Movimientos en Masa en Laderas*.
- Lee, E. M. (2009). Landslide risk assessment: The challenge of estimating the probability of landsliding. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42(4), 445-458. <https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-007>
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision* 2004 60:2, 60(2), 91-110. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>
- Mosquera, A. (2019). *Implementacion de Red Geodesica para Catastro del estado de Nayarit*.
- Muñoz N, C. L. (2018). *Precision and accuracy of the static GNSS method for surveying networks used in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n1.64543>
- Nuyts, S., Murphy, J., Li, Z., & Hickey, K. (2020). A Methodology to Assess the Morphological Change of a Multilevel Beach Cusp System and their Hydrodynamics: Case Study of Long Strand, Ireland. *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 593-598. <https://doi.org/10.2112/SI95-116.1>
- Ojeda, W., González, A., Pérez, A., & Flores, J. (2017). Applications of unmanned aerial vehicles in hydroagricultural engineering. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 8(4), 157-166. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-04-10>
- Olarte, J. (2017). *Clasificación de Movimientos en Masa y su Distribución en Terrenos Geológicos de Colombia*. 35.

- Onel, A., González, O., Jesús, R., & Amaya, G. (2017). *Evaluación del riesgo por deslizamiento de una ladera en la ciudad de Tijuana, México* *Landslide risk assessment of a slope in Tijuana city, Mexico*. <https://doi.org/10.14483/22487638.12063>
- Ouédraogo, M. M., Degré, A., Debouche, C., & Lisein, J. (2014). The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphology*, *214*, 339-355. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2014.02.016>
- Peltre, P. (1989). Quebradas y Riesgos Naturales en Quito, Periodo 1900-1988. *Riesgos Naturales en Quito Lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi*, 92. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-10/31647.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/31647.pdf)
- Perdomo, C., Nuñez, N., Caicedo, J., & Machado, D. (2015). *ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS DE CONTROL* *Establecimiento de Puntos de Control Terrestre para la Corrección Planialtimétrica de Imágenes tomadas por Drones*. [https://www.researchgate.net/publication/299530511\\_ESTABLECIMIENTO\\_DE\\_PUNTOS\\_DE\\_CONTROL\\_TERRESTRE\\_PARA\\_LA\\_CORRECCION\\_PLANIALTIMETRICA\\_DE\\_IMAGENES\\_TOMADAS\\_POR\\_DRONES\\_ESTABLISHMENT\\_OF\\_GROUND\\_CONTROL\\_POINTS\\_PLANIALTIMETRIC\\_CORRECTION\\_FOR\\_IMAGE\\_TAKEN\\_BY\\_U](https://www.researchgate.net/publication/299530511_ESTABLECIMIENTO_DE_PUNTOS_DE_CONTROL_TERRESTRE_PARA_LA_CORRECCION_PLANIALTIMETRICA_DE_IMAGENES_TOMADAS_POR_DRONES_ESTABLISHMENT_OF_GROUND_CONTROL_POINTS_PLANIALTIMETRIC_CORRECTION_FOR_IMAGE_TAKEN_BY_U)
- Pérez., J. (2001). *CENTRO UNIVERSITARIO DE MÉRIDA Titulación: Ingeniero Técnico en Topografía*.
- Petroenergía. (2021). *Estudio de ocurrencia de movimientos en masa en el Distrito Metropolitano de Quito*. <https://www.petroenergia.info/post/estudio-de-ocurrencia-de-movimientos-en-masa-en-el-distrito-metropolitano-de-quito>
- Risser, Vincent, Gallegos, & collab. (2000). *MOUVEMENTS DE TERRAIN SUR LES*

*VERSANTS ORIENTAUX DU VOLCAN RUCU PICHINCHA (QUITO-EQUATEUR).*

- Rivera., J. (2017). *Vista de EJE 05-02 Evaluación de Método de Corrección Geométrica de Fotografía Aérea escala 1:1.000 capturada por vehículos aéreos no tripulados estableciendo una red Geodésica de cuarto orden.*  
<http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/64/58>
- Rivera, A. V. (2021). *Centro de desarrollo productivo y comunitario Local.*  
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4491>
- Salazar, D., Diego, J., Caminagua, P., Yandún, F., Rosero, M., Rojas, M., Rivera, M., Rojas, M., & Salazar, A. (2015). *De amenazas naturales.* 126.  
[https://ia801301.us.archive.org/31/items/AtlasAmenazasNaturalesDMQ/Atlas\\_amenazas\\_naturales\\_DMQ.pdf](https://ia801301.us.archive.org/31/items/AtlasAmenazasNaturalesDMQ/Atlas_amenazas_naturales_DMQ.pdf)
- Salazar, J. (2016). *SIG aplicado a la zonificación de la amenaza por deslizamientos en la ciudad de Quito, Ecuador by UNIGIS América Latina - Issuu.*  
[https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/merged](https://issuu.com/unigis_latina/docs/merged)
- Salazar, S. (2009). *Guía Práctica para el uso del Receptor GPS de Monofrecuencia LI.* 93.
- Sarría, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica.* Universidad de Murcia, departamento de Geografía. *Sistemas de Información Geográfica*, 35. <https://bit.ly/3sPPZI1>
- Sasso, J., Andrade, M., Ospina, O., Araujo, P., Albornoz, P., Washima, P., Crespo, R., Álvarez, Y., Ortiz, P., & Narváez, I. (2011). *Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA, el Fondo Ambiental del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-FLACSO Sede Ecuador. Derechos de propiedad intelectual ©.*  
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54250.pdf>
- Saud Al, M. M. (2018). *Using Space Techniques and GIS to Identify Vulnerable Areas to*

*Natural Hazards Along the Jeddah-Rabigh Region, Saudi Arabia.*

[http://bibliotecas.ups.edu.ec:2212/ehost/ebookviewer/ebook/ZTAwMHh3d19fMTc4MjEwNI9fQU41?sid=3c4a19cb-7e0e-4e5c-89ad-](http://bibliotecas.ups.edu.ec:2212/ehost/ebookviewer/ebook/ZTAwMHh3d19fMTc4MjEwNI9fQU41?sid=3c4a19cb-7e0e-4e5c-89ad-8a5c42e37ab3%40sessionmgr103&vid=2&format=EB&lpid=lp_13-2&rid=0)

[8a5c42e37ab3%40sessionmgr103&vid=2&format=EB&lpid=lp\\_13-2&rid=0](http://bibliotecas.ups.edu.ec:2212/ehost/ebookviewer/ebook/ZTAwMHh3d19fMTc4MjEwNI9fQU41?sid=3c4a19cb-7e0e-4e5c-89ad-8a5c42e37ab3%40sessionmgr103&vid=2&format=EB&lpid=lp_13-2&rid=0)

Schonberger, J. L., & Frahm, J. M. (2016). Structure-from-Motion Revisited. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016-Decem*, 4104-4113. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.445>

Secretaria de Planificacion del DMQ. (2015). Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial DMQ. *GAD Municipal de Quito*.

Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad. (s. f.). *Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad / Municipio del Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado 1 de diciembre de 2021, de <https://www.quito.gob.ec/index.php/secretarias/secretaria-de-seguridad-y-gobernabilidad>

Sherard, J. (1972). *Estudio de fallas en las tuberías y daños por erosión causados por la lluvia en presas de arcilla en Oklahoma y Mississippi: Sherard, James L: Descarga gratuita, préstamo y transmisión por secuencias: Internet Archive*. <https://archive.org/details/CAT31329302/page/n3/mode/2up?view=theater>

Soeters, R., & Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis, and zonation. *Special Report - National Research Council, Transportation Research Board*, 247(December), 129-177.

Suarez, J. (1988). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*.

Survey & Sales. (2021). *Diferencias entre DSM, DEM y DTM | Survey Rental & Sales*. <https://surveyrental.com.pe/blog/nuestro-blog-1/post/diferencias-entre-dsm-dem-y-dtm->



- TBC. (2020). *Una potente suite de software de oficina de datos geoespaciales*.  
<https://www.trimble.com/Survey/>
- Torrado, O., Jiménez, J., & Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 20(50), 119-140.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a09>
- Torres Chung, C. R. (2007). Valoración Del Riesgo En Deslizamientos. *Universidad Ricardo Palma*, 413. <http://cybertesis.urp.edu.pe/handle/urp/52>
- Turner, D., Lucieer, A., & de Jong, S. M. (2015). Time series analysis of landslide dynamics using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*, 7(2), 1736-1757.  
<https://doi.org/10.3390/rs70201736>
- USAID. (1993). *Manual sobre el manejo de peligros Naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado*.  
<http://www.oas.org/usde/publications/unit/oea65s/ch15.htm#capitulo> 10. evaluación del peligro de deslizamientos de tierra
- Velasco., X. U. A. (2014). *Estabilidad de Agregados de un suelo quemado a diferentes instensidades de fuego diesiocho años despues de un incendio forestal*. 0211-6820, 1.
- Yaprak, S., Yildirim, O., Susam -Tokat, T., Inyurt -Zonguldak, S., & Oguz -Tokat, I. (2018). The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Monitoring.... *Geod. list*, 2(560), 113-132.

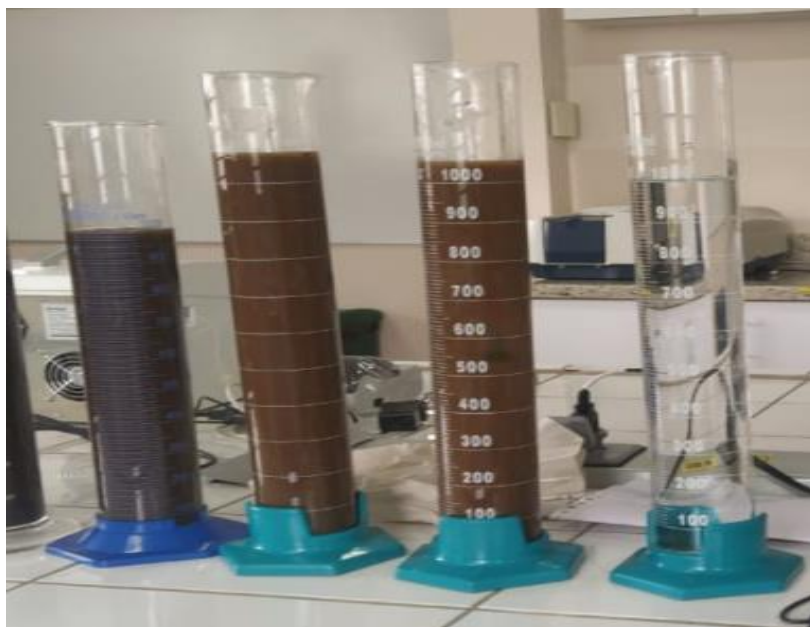
## 7. ANEXOS

### Anexo 1

#### *Procedimientos para determinar las características físicas en el laboratorio*

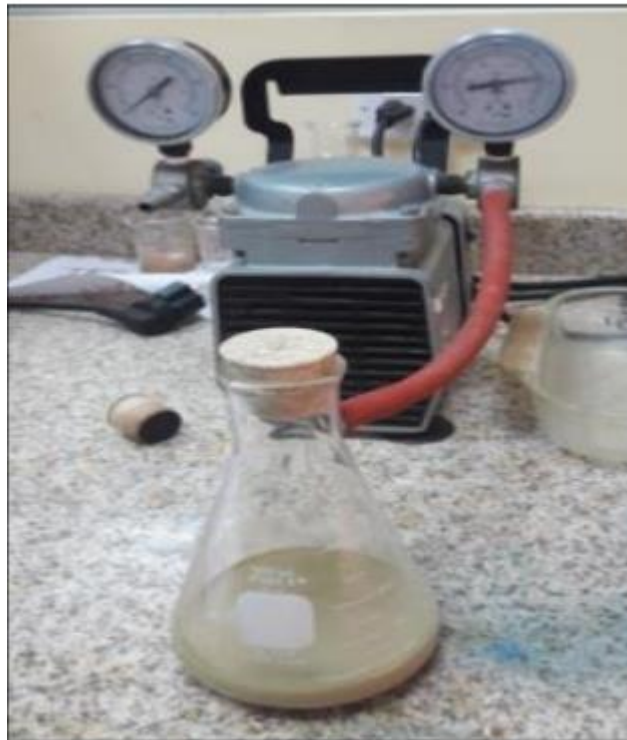
##### *Procedimiento Practica de Bouyoucos/*

- Tamizar la cantidad necesaria usando el tamiz N°10
- Pesar 50 gr de la muestra de suelo obtenida
- Colocar la muestra de suelo en un vaso de dispersión.
- Adicionar agua destilada hasta 2/3 del volumen.
- Agregar 10 ml del dispersante.
- Someter la muestra a dispersión por 10 a 15 minutos en el agitador eléctrico
- Verter el contenido de la muestra dispersada en una probeta.
- Agitar con el émbolo 10 veces verticalmente
- Sumergir el hidrómetro en la suspensión y tomar el tiempo con el cronometro, anotar las lecturas en 0,40 s, 3, 10, 30, 60, 120 minutos y pasada las 8 horas.
- La solución ~~calgon~~ se prepara en 1 litro de agua destilada con 50 gramos de agente dispersante, y posteriormente en una probeta de 1000 ml se toma la lectura del blanco



### Procedimiento Método Doble Hidrómetro - Dispersión del suelo

- Obtener 50g de suelo secado al horno
- Colocar 125 ml de agua destilada al matraz
- Colocar 25g del suelo de la muestra al matraz con agua destilada y dejar reposar por 2 horas
- Colocar un tapón de goma en la boca del filtro de matraz y conectar el matraz a la bomba del vacío para evacuar el air atrapado de la muestra
- A los 3 min, 5 min y 8 min después de aplicación a la bomba, se agita el frasco varias veces.
- Desconectar al matraz luego de 10 minutos
- Lavar la suspensión suelo-agua del matraz en una probeta de 1000ml
- Con la palma de mano sobre la abertura de la probeta tapar y sacudir durante un minuto y dejar sedimentar introduciendo el hidrómetro y tomar lecturas correspondientes en 0,40 segundos, 3 min, 10 min, 30 min, 60 min, 120 min y pasado las 8 horas



### Procedimiento Método Tamizado Húmedo-Estabilidad de Agregados

- Tamizar una muestra considerable de suelo seco al aire al tamiz N°10
- Pesar el tamiz de 0,025mm, registrar su peso. Pesar 10 Gramos de suelo tamizado de paso 1.
- Saturar la muestra de paso 2 por 5 minutos con agua destilada en un recipiente amplio por encima de la muestra en el tamiz.
- Realizar la agitación de arriba hacia abajo en el agua con una distancia vertical de 1.5cm a una velocidad de 30 oscilaciones por 3 minutos
- Colocar papel absorbente para retirar el exceso de la Humedad
- Secar la muestra en el horno a 105°C por 24 horas.
- Pesar la muestra.
- Sumergir el tamiz con los agregados secos en la solución Calgon por 5 minutos
- Retirar exceso de la Humedad dejar secar por 24horas en el horno



## Anexo 2.

### Informe de procesamiento de puntos de control y Reporte de calidad de PIX4D

#### Informe de procesamiento de líneas base

##### Procesando resumen

Observación	De	A	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Aci. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
base --- 1f__ (B7)	base	1f__	Fija	0,0443	0,0880	299°48'19,8"	710,0619	125,0558
base --- 2f__ (B6)	base	2f__	Fija	0,0456	0,0879	299°25'38,6"	706,4692	120,1557
base --- 3f__ (B5)	base	3f__	Fija	0,0556	0,0874	302°46'59,0"	618,5051	115,5436
base --- 4f__ (B4)	base	4f__	Fija	0,0510	0,0892	311°23'19,9"	507,1740	125,4370
base --- 5f__ (B3)	base	5f__	Fija	0,0570	0,0864	315°59'52,4"	464,5370	139,5615
base --- 6f__ (B2)	base	6f__	Fija	0,0529	0,0878	326°01'09,1"	429,5675	142,2703
base --- 7f__ (B1)	base	7f__	Fija	0,0616	0,0835	334°38'29,0"	399,9995	147,3527

##### Resumen de aceptación

Procesado	Pasado	Indicador	Fallida
7	7	0	0

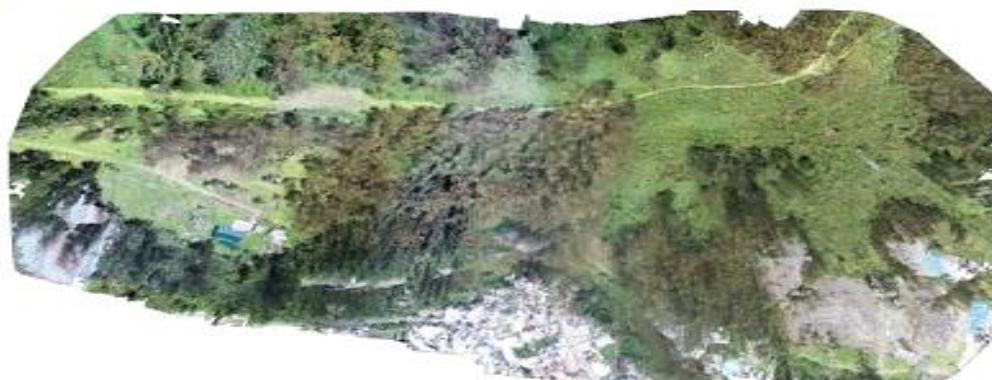
##### Summary

Project	OcubreRep
Processed	2021-12-21 10:19:06
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_4864x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.51 cm / 1.38 in
Area Covered	0.265 km <sup>2</sup> / 26.5345 ha / 0.10 sq. mi. / 65.6022 acres

##### Quality Check

Images	median of 67052 keypoints per image	✓
Dataset	387 out of 390 images calibrated (99%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.36% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 18298.7 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 7 GCPs (7 3D), mean RMS error = 2.571 m	⚠

##### Preview



**Anexo 3.**

*Presencia de árboles caídos, deforestación y deslizamientos en el área de estudio*



