



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución para el monitoreo
de estabilidad de taludes en el valle de Sigvas – Arequipa.

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Aviles Valenzuela, Daniel Eduardo
ORCID: 0000-0002-1439-3322

Casallo Echeagaray, Guillermo Alejandro
ORCID: 0000-0001-7181-9310

ASESOR

Estrada Mendoza, Miguel Luis
ORCID: 0000-0002-8646-3852

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Aviles Valenzuela, Daniel Eduardo

DNI: 71386147

Casallo Echegaray, Guillermo Alejandro

DNI: 76548641

Datos de asesor

Estrada Mendoza, Miguel Luis

DNI: 10493289

Datos del jurado

JURADO 1

Fano Miranda, Gonzalo Ramcés

DNI: 09178719

ORCID: 0000-0002-4401-8654

JURADO 2

Sueldo Mesones, Jaime Pío

DNI: 43703437

ORCID: 0000-0003-3760-8370

JURADO 3

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

A mis padres por su constante apoyo incondicional que me han brindado e impulsando a ser mejor cada día que gracias a sus esfuerzos he logrado culminar mis estudios. Este proyecto también va dirigido a mis abuelos, tíos, hermanos y amigos quienes me ayudaron a perseverar en el desarrollo de la tesis.

Daniel Aviles Valenzuela

Dedico la presente tesis a Dios por regalarme la oportunidad de soñar con este logro académico, a mis padres por su apoyo incondicional, por enseñarme a persistir y afrontar los obstáculos de otra perspectiva, viéndolo como aprendizaje constante y siempre pensar que esos malos momentos pasarán y nos dejarán una lección de vida. A mis hermanas, en especial a Romina, a mis tíos y amigos por su paciencia y consejos en mis años de estudio.

Guillermo Casallo EcheGARAY

AGRADECIMIENTO

A nuestros asesores Miguel Estrada y Gonzalo Ramsés Fano Miranda por constante apoyo, enseñanzas y supervisión en el desarrollo de la investigación

A nuestra alma mater por la educación y visión que han inculcado en mí en los años de formación.

Daniel Aviles y Guillermo Casallo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos.....	1
1.1.1. Problema general	2
1.1.2. Problema específico	2
1.2. Objetivo general y específico	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivo específico	3
1.3. Delimitación de la investigación: geográfica, temporal, temática y muestral.....	3
1.3.1. Geografía.....	3
1.3.2. Temporal	3
1.3.3. Temática.....	3
1.3.4. Muestral	4
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.4.1. Conveniencia.....	4
1.4.2. Relevancia social.....	4
1.4.3. Aplicaciones prácticas.....	4
1.4.4. Utilidad metodológica.....	4
1.4.5. Valor teórico	4
1.5. Importancia del estudio	5
1.5.1. Nuevos conocimientos	5
1.5.2. Aporte	5
1.6. Limitaciones del estudio.....	6
1.6.1. Falta de estudios previos de investigación	6
1.6.2. Metodológicos o prácticos	6
1.6.3. Medidas para la recolección de los datos.....	6
1.6.4. Obstáculos en la investigación.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Marco histórico.....	8
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema.....	10

2.1.1	Investigaciones internacionales.....	10
2.1.2	Investigaciones nacionales.....	11
2.1.3	Artículos relacionados con el tema.....	12
2.3	Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	13
2.1.4	Monitoreo de estabilidad de taludes.....	13
2.1.5	Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución.....	26
2.4	Definición de términos básicos.....	32
	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	33
3.1	Método de la investigación.....	33
3.1.1	Hipótesis general.....	33
3.1.2	Hipótesis específicas.....	33
3.2	Variables.....	33
3.2.1	Definición conceptual de las variables.....	33
3.2.2	Definición operacional de las variables.....	34
3.2.3	Operacionalización de las variables.....	34
4.1	Metodología de la investigación.....	37
4.2	Tipo de la investigación.....	37
4.3	Nivel de investigación.....	37
4.4	Diseño de la investigación.....	37
4.5	Población y muestra.....	38
4.5.1	Población.....	38
4.5.2	Muestra.....	38
4.6	Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	38
4.6.1	Instrumento de recolección de datos.....	38
4.6.2	Métodos y técnicas.....	38
4.7	Descripción del procesamiento de análisis.....	39
4.8	Softwares usados para el análisis.....	39
	CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
5.1	Diagnóstico y situación actual.....	40
5.1.1	Antecedentes.....	41
5.1.2	Análisis de imágenes satelitales.....	44
5.1.3	Generalidades.....	49
5.1.4	Plan de vuelo.....	51

5.2	Presentación de resultados.....	55
5.2.1	Generación de modelos digitales del terreno	55
5.2.2	Comparación de perfil en cada sección.....	61
5.2.3	Comparación de ortofotos para el análisis de velocidad.....	72
5.3	Alternativas de solución	82
5.4	Contrastación de hipótesis.....	85
	CONCLUSIONES	86
	RECOMENDACIONES	88
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	ANEXOS..	96
	Anexo 1: Matriz de consistencia	96
	Anexo 2: Reportes de vuelo Octubre y Noviembre.....	98
	Anexo 3: Registro del RPA Wingtra One	107
	Anexo 4: Datos de secciones	109
	Anexo 5: Permiso de la empresa	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de variable.....	34
Tabla 2: Matriz de operacionalización de variables	35
Tabla 3: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 1	43
Tabla 4: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 2.....	43
Tabla 5: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 3.....	43
Tabla 6: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 4.....	44
Tabla 7: Características del dron	50
Tabla 8: Especificaciones técnicas	50
Tabla 9: Especificaciones técnicas de la cámara	51
Tabla 10: Especificaciones técnicas de la cámara	55
Tabla 11: Spatial Reference del DEM - Octubre 2020.....	58
Tabla 12: Raster Information del DEM - Octubre 2020.....	59
Tabla 13: Spatial Reference del DEM - Noviembre 2021.....	59
Tabla 14: Raster Information del DEM, Noviembre 2021	60
Tabla 15: Análisis de perfiles, Octubre 2020 y Noviembre 2021	72
Tabla 16: Coordenadas de los puntos de control.....	80
Tabla 17: Distancia calculada entre puntos de control	81
Tabla 18: Velocidad de deslizamiento calculado entre puntos de control.	81
Tabla 19: Matriz de consistencia	97
Tabla 20: Sección 01	109
Tabla 21: Sección 02	118
Tabla 22: Sección 04	125
Tabla 23: Sección 04	131
Tabla 24: Sección 05	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N 1: Talud artificial y natural.....	14
Figura N 2: Falla por deslizamiento superficial	15
Figura N 3: Falla local.....	16
Figura N 4: Falla de pie.....	16
Figura N 5: Falla de base.....	16
Figura N 6: Falla por traslación.....	17
Figura N 7: Estación total.....	19
Figura N 8: Uso de blancos reflectantes para estaciones totales.....	20
Figura N 9: Uso de radares de estabilidad de taludes (SSR).....	20
Figura N 10: Drone de ala fija VTOL, P330 Pro.....	22
Figura N 11: Phantom 4 RTK.....	23
Figura N 12: Configuración del motor de un tricóptero.....	23
Figura N 13: Configuración de los dos modelos de motores de un cuadricóptero.....	24
Figura N 14: Configuración de los dos modelos de motores de un hexacóptero.....	25
Figura N 15: Configuración de los dos modelos de motores de un octocópteros.....	25
Figura N 16: Fórmulas para hallar la altura de vuelo del dron.....	27
Figura N 17: Fórmulas para hallar el alto y ancho de las imágenes.....	28
Figura N 18: Fórmulas para hallar los traslapes longitudinales y transversales.....	28
Figura N 19: Fórmula para hallar la velocidad de vuelo.....	28
Figura N 20: Estructuras más utilizadas para el almacenamiento de los DTM's.....	31
Figura N 21: Mapa de localización.....	41
Figura N 22: Distancias mínimas entre la infraestructura.....	42
Figura N 23: Fotografía Deslizamiento - Febrero 2004.....	44
Figura N 24: Fotografía Deslizamiento - Abril 2010.....	45
Figura N 25: Fotografía Deslizamiento - Abril 2012.....	46
Figura N 26: Fotografía Deslizamiento - Mayo 2017.....	47
Figura N 27: Fotografía Deslizamiento - Julio 2019.....	48
Figura N 28: Área del cauce obstruida por el deslizamiento.....	49
Figura N 29: Plan de vuelo.....	52
Figura N 30: Área de influencia del deslizamiento.....	54
Figura N 31: DEM Sigvas - Octubre 2020.....	56
Figura N 32: DEM Sigvas - Noviembre 2021.....	57

Figura N 33: Secciones.....	61
Figura N 34: Perfil de sección, 01 Octubre 2020 – Julio 2021	62
Figura N 35: Perfil de sección 02, Octubre 2020 – Julio 2021	63
Figura N 36: Perfil de sección 03, Octubre 2020 – Julio 2021	64
Figura N 37: Perfil de sección 04, Octubre 2020 – Julio 2021	65
Figura N 36: Perfil de sección 05, Octubre 2020 – Julio 2021	66
Figura N 39: Perfil de sección 01, Octubre 2020 – Noviembre 2021	67
Figura N 40: Perfil de sección 02, Octubre 2020 – Noviembre 2021	68
Figura N 41: Perfil de sección 03, Octubre 2020 – Noviembre 2021	69
Figura N 42: Perfil de sección 04, Octubre 2020 – Noviembre 2021	70
Figura N 43: Perfil de sección 05, Octubre 2020 – Noviembre 2021	71
Figura N 44: Ortofoto - Octubre 2020.....	73
Figura N 45: Ortofoto - Marzo 2021	74
Figura N 46: Ortofoto - Julio 2021	75
Figura N 47: Ortofoto - Noviembre 2021.....	76
Figura N 48: Puntos de control.....	77
Figura N 49: Punto de control 1	77
Figura N 50: Punto de control 1	78
Figura N 51: Punto de control 2	78
Figura N 52: Punto de control 2	79
Figura N 53: Punto de control 3	79
Figura N 54: Punto de control 3	80
Figura N 55: Alternativa 1 (muro de contención)	82
Figura N 56: Alternativa 2 (cambio de eje).....	83
Figura N 57: Alternativa 3 (cambio de eje).....	84
Figura N 58: Reporte vuelo octubre	98
Figura N 59: Reporte vuelo octubre	99
Figura N 60: Reporte vuelo octubre	100
Figura N 61: Reporte vuelo noviembre	101
Figura N 62: Reporte vuelo noviembre	102
Figura N 63: Reporte vuelo noviembre	103
Figura N 64: Reporte vuelo noviembre	104
Figura N 65: Reporte vuelo noviembre	105

Figura N 66: Reporte vuelo noviembre	106
Figura N 67: Ficha de registro.....	107
Figura N 68: Ficha de registro.....	108

RESUMEN

La presente investigación titulada “Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución para el monitoreo de estabilidad de taludes en el valle de Sigüas – Arequipa” se desarrolló la zona llamada Alto Sigüas, la cual se encuentra en el margen derecho del Valle de Sigüas, entre los distritos de San Juan de Sigüas y Majes en Arequipa, cuyo objetivo es monitorear la estabilidad de taludes mediante la comparación multitemporal de imágenes DTM, logrando detectar zonas en peligro. Para ello se utilizó imágenes aéreas de alta resolución con apoyo del dron marca Wingtra, modelo WingtraOne GEN II; estas imágenes son procesadas con algún software de procesamiento de vuelo de drones, logrando obtener modelos digitales de elevaciones (DEM), la obtención de las ortofotos y los perfiles longitudinales se puede contrastar numéricamente y gráficamente el material desplazado, con lo cual hallaremos la velocidad con la que se desliza el talud.

La metodología aplicada a la presente tesis es deductiva y descriptiva, con orientación aplicada, de nivel descriptivo, con un diseño observacional y un enfoque cualitativo y proyectivo.

Los estudios realizados concluyen que los deslizamientos tienen una velocidad promedio de 0.007 m/d, comprometiendo en un futuro la carretera Panamericana Sur y la planta de leche Gloria como se puede apreciar en el mapa de influencia del deslizamiento, añadiendo que todo el material deslizado va obstruyendo el cauce del río.

Con la ayuda de las herramientas geomáticas se procesó la información geoespacial que nos ayudó a calcular la diferencia de cotas en los perfiles de cada sector cuantificando el material deslizado desde octubre del año 2020 hasta noviembre del año 2021, teniendo como sector con más material deslizado el sector 5 con 17.8 m de diferencia a una distancia de 200 m en el eje x.

Palabras Claves: Deslizamiento, monitoreo, taludes, análisis multitemporal.

ABSTRACT

The present investigation entitled "Multi-temporal comparison of high-resolution images for slope stability monitoring in the Sigwas Valley - Arequipa" developed the area called Alto Sigwas, which is located on the right bank of the Sigwas Valley, between the districts of San Juan de Sigwas and Majes in Arequipa, whose objective is to monitor the stability of slopes through the multi-temporal comparison of DTM images, managing to detect areas in danger. For this, high-resolution aerial images were used with the support of the Wingtra brand drone, WingtraOne GEN II model; These images are processed with some drone flight processing software, managing to obtain digital elevation models (DEM), obtaining orthophotos and longitudinal profiles, the displaced material can be contrasted numerically and graphically, with which we will find the speed with which it slides the slope. The methodology applied to this thesis is deductive and descriptive, with an applied orientation, descriptive level, with an observational design and a qualitative and projective approach.

The studies carried out conclude that the landslides have an average speed of 0.007 m/d, compromising in the future the South Pan-American highway and the Gloria milk plant, as can be seen in the landslide influence map, adding that all the material that has slid obstructing the riverbed.

With the help of geomatic tools, the geospatial information was processed, which helped us calculate the difference in elevations in the profiles of each sector, quantifying the material that had slipped from October 2020 to November 2021, with the sector with the most slipped material being the sector 5 with a difference of 17.8 m at a distance of 200 m on the x-axis.

Keywords: Landslide, monitoring, slopes, multi-temporal analysis.

INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más desastrosos que nos afectan, ocasionando muchas muertes y daños materiales; sin embargo, muchas autoridades aún no toman conciencia del peligro y las pérdidas económicas que conlleva la no prevención o falta de control sobre los deslizamientos. Se sabe además que el 90% de las pérdidas producto de los deslizamientos son evitables (Suarez, 1998).

Nuestro país se encuentra sometido a diferentes tipos de fenómenos naturales, debido a nuestra geografía accidentada los deslizamientos en laderas o taludes son muy constantes y requieren ser monitoreados continuamente con la finalidad de generar información que contribuya a la población a estar prevenidos y evitar pérdidas humanas y materiales.

La presente investigación se enfoca en realizar monitoreos de la estabilidad de taludes en la zona llamada “Alto Siguas”, ubicado en el Valle de Siguas entre los distritos de Majes y San Juan de Siguas en Arequipa. La relevancia del estudio se debe a que se encuentran en peligro un tramo de la Carretera Panamericana Sur, el cual está a 38 metros de la escarpa principal, además alrededor encontramos zonas agrícolas, la planta de leche Gloria, tuberías del canal de irrigación y el centro poblado de Alto Siguas. Para el monitoreo aplicaremos el método de comparación multitemporal de imágenes de alta resolución usando al dron como herramienta principal, para un adecuado proceso se analiza diferentes secciones de la zona de estudio, para luego proceder a procesar con algún software de procesamiento de vuelo de drones, logrando obtener modelos digitales de elevaciones (DEM), la obtención de las ortofotos y los perfiles longitudinales se puede contrastar numéricamente y gráficamente el material desplazado, con lo cual hallaremos la velocidad con la que se desliza el talud.

La presente investigación se desarrolla en cinco capítulos que se resumirá a continuación.

En el capítulo I, se realiza el planteamiento del problema con la descripción de la problemática y delimitación del problema; asimismo, se formulan el problema general y específicos; se plantea el objetivo general y específicos que se deben alcanzar, justificación, viabilidad, importancia, limitaciones y el alcance de la investigación.

En el capítulo II, se presenta el marco teórico, antecedentes de la investigación, manuales, informes, tanto nacional como internacional, artículos y toda la parte teórica que servirá de base teórica para la investigación.

En el capítulo III, se define el sistema de hipótesis general y específicas. Además, se define las variables independientes y dependientes.

En el capítulo IV, se presenta la metodología de la investigación, donde se define el método, tipo, nivel, diseño de la investigación. Se detalla la población y muestra, al igual que las técnicas e instrumentos empleados en la recolección de datos y la descripción del procedimiento de análisis.

En el capítulo V, se presenta el desarrollo de la investigación para obtener los resultados. Comprende los cálculos hidrológicos, evaluación de la crecida del río Lurín, análisis de daños según los parámetros de peligro, vulnerabilidad y riesgo para la elaboración de mapas temáticos, la propuesta del plan de mitigación para el control del riesgo de inundación estudiados en la investigación, el análisis de resultados y discusión.

Finalmente se presentan los resultados finales correspondientes explicado a detalle en las conclusiones y recomendaciones correspondientes a la investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

En el Perú, los deslizamientos ocasionan grandes pérdidas humanas, materiales y económicas que se relacionan directamente con el acelerado crecimiento poblacional y sus necesidades, las características del relieve peruano y la ubicación de ciudades importantes. Muchas comunidades y residenciales han sido desarrolladas muy próximas a taludes existentes o conformados para su urbanización, así también la construcción de carreteras ha conllevado una considerable cantidad de cortes que requieren obras de protección en diversos materiales que, en el presente, no se han realizado en todos los casos.

Una herramienta eficaz en el seguimiento de este tipo de fenómenos geológicos es el uso de un análisis multitemporal de imágenes, la cual tiene como objetivo fundamental la captura de datos numéricos y geográficos, creando una base de datos a escala, sobre la cobertura del territorio, mediante la interpretación visual de imágenes satelitales, comparando pixel a pixel, los niveles digitales de las distintas imágenes capturadas (Fonseca y Gómez, 2013).

En nuestro trabajo de investigación abordaremos la problemática suscitada en el “Alto Siguas”, ubicada en el Valle de Siguas, entre las provincias de Arequipa y Caylloma. Uno de los deslizamientos más desarrollados y destructivos presentes en el valle, es el deslizamiento de Alto Siguas, la cual presenta actualmente una escarpa de 1.50 km de longitud y un área de 0.90 km² aproximadamente (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 2022, p. 5).

Todo inició en 1983, a causa de la irrigación de la pampa de Majes, donde se empleó un modelo de riego por encima del establecido, ocasionando la saturación y filtración de agua en el subsuelo, contaminando las aguas del río Siguas, limitando el tipo de cultivo y sobre todo degradando los suelos. El mayor impacto negativo se viene dando desde 1993, debido a deslizamientos rotacionales en las laderas del margen derecho del Valle de Siguas ocasionando pérdidas de terrenos de cultivo e infraestructura pública y privada (Martínez, 2016).

Los deslizamientos en la zona de el Alto Sigwas, afecta los distritos de Majes y San Juan de Sigwas, desarrollándose en dos frentes, uno hacia el valle de Sigwas y el otro hacia la carretera Panamericana Sur. En el distrito de Majes, se encuentran en peligro, un tramo de la Carretera Panamericana Sur, el cual está a 38 metros de la escarpa principal (medido sobre el ortomosaico de noviembre de 2021), las tuberías que se construyeron para reemplazar el canal madre de irrigación que ha colapsado y está en desuso, terrenos de cultivo, la planta de Leche Gloria, además de la vía alterna y el centro poblado Alto Sigwas. Por otro lado, en el distrito de San Juan de Sigwas, actualmente la amenaza es el probable estrechamiento del cauce del rio Sigwas, ocasionando el embalse del rio afectando infraestructuras aguas abajo. Otra de las graves consecuencias que podría traer en unos años es la inundación de uno de los sectores de las pampas de Majes, según el ANA, se está dando un incremento del nivel freático y se esperaría que en unos años llegue a la superficie (DGARG, 2022, p. 5).

1.1.1. Problema general

¿En qué medida la comparación multitemporal de imágenes de alta resolución de taludes en acantilados permite el monitoreo de la estabilidad en el Valle de Sigwas?

1.1.2. Problema específico

- a) ¿Cómo un plan de vuelo permite la toma de fotografías en un dron de ala fija?
- b) ¿Cómo el procesamiento de las fotografías aéreas permite la generación de modelos digitales del terreno DTM?
- c) ¿Cómo la comparación multitemporal de DTM's permite el análisis y el cálculo de la velocidad del deslizamiento para la identificación de nuevos sectores en peligro?

1.2. Objetivo general y específico

1.2.1. Objetivo general

Realizar la comparación multitemporal de imágenes de alta resolución para el monitoreo de estabilidad de taludes en el Valle de Sigüas.

1.2.2. Objetivo específico

- a) Realizar los planes de vuelos para la obtención de fotografías geoetiquetadas con un dron de ala fija.
- b) Procesar las fotografías aéreas para la generación de los diferentes modelos digitales de terrenos DTM.
- c) Comparar de forma multitemporal los DTM's para el análisis y cálculo de la velocidad del deslizamiento y la identificación de nuevos sectores en peligro.

1.3. Delimitación de la investigación: geográfica, temporal, temática y muestral

1.3.1. Geografía

Se encuentra en la zona llamada Alto Sigüas, en el Valle de Sigüas, abarca los distritos de Majes y San Juan de Sigüas, provincia de Arequipa y Cailloma respectivamente, departamento de Arequipa, 1.5 Km de longitud abarcando un área de 0.9 Km² aproximadamente, se localiza a 16°21'38" latitud sur; 72°09'11" latitud oeste, a una altura de 1430 msnm, se localiza a catorce horas y media de viaje aproximadamente desde la ciudad de Lima.

1.3.2. Temporal

Historial de información de deslizamientos acontecidos (desde el año 2014 hasta la actualidad). Proceso de datos geoespaciales del año 2021.

1.3.3. Temática

La temática de la presente investigación es el desarrollo de imágenes multitemporales de alta resolución para el monitoreo de deslizamientos.

- a) Campo: Monitoreo de taludes.
- b) Área académica: Ingeniería civil.
- c) Línea de investigación: Geomática.
- d) Sub línea de investigación: Análisis de riesgos.

1.3.4. Muestral

En la presente investigación, la población de estudio está determinada por 323.36 hectáreas del valle de Siguas.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Conveniencia

El presente trabajo es conveniente debido a que busca analizar imágenes de alta resolución para monitorear la estabilidad de taludes. Además, localizar zonas altamente riesgosas identificadas a través de la elaboración de modelos geofísicos e hidrogeológicos.

1.4.2. Relevancia social

La presente investigación busca hacer seguimiento y monitoreo de zonas de riesgo antes posibles deslizamientos, con el uso de un método moderno basados en la aerofotogrametría se tendrá identificado los sectores en peligro para mejorar el acceso al distrito de San Juan de Siguas fomentando y acelerando el intercambio de bienes y servicios en beneficio de la población.

1.4.3. Aplicaciones prácticas

Esta investigación permitirá a la comunidad tener una mejor noción de las zonas que se encuentran expuestas al peligro de deslizamiento, debido al constante avance de la masa deslizada que no se comporta de manera homogénea, dándose en diferentes sectores.

1.4.4. Utilidad metodológica

El estudio permite el procesamiento de fotografías para la obtención de diferentes modelos digitales del terreno DTM y una nube de puntos, ortofotos y perfiles de la zona de deslizamiento en el Valle de Siguas.

1.4.5. Valor teórico

- a) Fotogrametría: La fotogrametría puede ser aérea o terrestre, esta técnica es empleada para la elaboración de mapas topográficos y catastrales, siendo este último el que nos permitirá obtener datos necesarios para realizar el monitoreo de las zonas de deslizamientos en el área tratada.

- b) Condiciones geológicas: Es un factor importante, ya que incide en los deslizamientos. Según el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) fue a causa del uso inadecuado de un modelo de riego por encima del establecido, degradando el suelo y afectando infraestructuras públicas y privada.
- c) Modelos digitales del terreno DTM: La obtención de fotografías de alta resolución permite representar distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a las que se le denomina modelo digital del terreno.

1.5. Importancia del estudio

1.5.1. Nuevos conocimientos

- a) Sistema de información geográfica (SIG): Es una forma provisional de sistemas que posibilitan acumular datos espaciales para su consulta, manipulación y representación.
- b) Talud: Se define como un plano inclinado respecto a la horizontal tomando esa posición de forma permanente o temporal.
- c) Vehículo Aéreo No Tripulado: Sistema de aviación pilotados remotamente, el cual se conoce como drones. Estos vehículos pilotan sin ninguna persona adentro; es decir, sin piloto a bordo. Sin embargo, se puede manipular a distancia con un control.
- d) GSD: la distancia de muestreo en el terreno o del inglés Ground Sample Distance (GSD) es la medida entre el centro de dos píxeles inmediatos medidos en el suelo. A modo de ejemplo, un GSD de 5 centímetros equivale a que un píxel en la imagen manifiesta 5 centímetros lineales en el suelo.

1.5.2. Aporte

La importancia de esta investigación radica en aplicar un óptimo análisis mediante un método moderno basados en la aerofotogrametría para identificar nuevos sectores en peligro, en un tramo de la carretera del valle de Sigwas en Arequipa, ya que resulta fundamental para la seguridad de los que transitan por la vía debido a posibles desprendimientos o deslizamientos que

traen consigo la inestabilidad de un talud y evitar posibles accidentes en la vía.

1.6. Limitaciones del estudio

1.6.1. Falta de estudios previos de investigación

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico a partir del 2015 emitió 5 informes técnicos sobre el avance de los deslizamientos en el valle de Sigüas. Según Martínez (2016), menciona que las investigaciones realizadas han sido equivocadamente enfocadas porque se ha confundido el efecto con la causa, siendo la causa principal, el uso no planificado del agua para el riego y su deficiente distribución dentro del sistema.

1.6.2. Metodológicos o prácticos

- a) Análisis de la data disponible
- b) Planes de vuelo
- c) Datos geodésicos de los puntos de red de primer orden
- d) Vuelos aerofotogramétricos
- e) Geoetiquetado de las imágenes
- f) Alineamiento de las imágenes mediante el uso de algún software de procesamiento de vuelo de drones
- g) Procesamiento de la nube de puntos
- h) Generación del DEM
- i) Análisis de los derrumbes, perfiles e indicadores de riesgo

1.6.3. Medidas para la recolección de los datos

La técnica empleada en esta investigación es de tipo mixta porque por un lado es documental ya que la información se obtuvo de fuentes secundarias como libros, artículos científicos y manuales y además hay una información tomada de primera fuente (los vuelos con dron).

Nuestra recolección de datos se inició con la información disponible desarrollada hace más o menos una década (proyecto Zafranal, estudios del ANAS, estudios del AUTODEMA y por último estudios del INGEMMET), además hemos tomado contacto con la empresa consultora que viene

desarrollando el proyecto de construcción de segunda calzada en la concesión Arequipa – Tacna; a partir de esto se ha venido desarrollando de manera mensual los vuelos aerofotogramétricos con equipo propio.

1.6.4. Obstáculos en la investigación

- a) La presente investigación es aplicada con un GSD de 2.5 cm por píxel para poder obtener a gran resolución el cambio que genera el talud en distintos meses, por lo cual es necesario ir al lugar y colocar dianas en lugares estratégicos del sector para poder anclar bien las imágenes de alta resolución.
- b) La precisión de las imágenes depende del temporal, debido a que constantemente se genera una nube de polvo por los deslizamientos lo cual disminuiría la resolución y evitaría un buen análisis multitemporal.
- c) Contactar con la empresa consultora que viene desarrollando el proyecto de construcción de segunda calzada en la concesión Arequipa – Tacna; que ha venido desarrollando de manera mensual los vuelos aerofotogramétricos.
- d) La colocación de puntos de control para alinear las imágenes capturadas con el dron y tener un buen resultado (ortofoto), debido a que el área de estudio tiene un difícil acceso.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico

Es común pensar que los vehículos aéreos no tripulados (UVA) son tecnología desarrollada en las últimas décadas, lo cierto es que estos vehículos son contemporáneos con la creación de naves tripuladas.

Según Cantero y Pucci (2016), en el año 1782 los hermanos Montgolfier fueron pioneros en realizar vuelos aéreos no tripulados, un año después, lograron crear globos llenos de aire caliente e hidrógeno, luego de muchas pruebas consideraron que el hidrógeno sería más útil para llenar los globos, ya que alcanzaban mayores distancias de recorrido.

Posteriormente, de acuerdo al Observatorio Aeroespacial (2020), los drones vieron su iniciación y aplicación en el ámbito militar, en el año 1849, durante el bombardeo de Venecia, por parte del ejército austrohúngaro, se pusieron a prueba cerca de doscientos globos aerostáticos no tripulados con más de 150kg. de explosivos. En el conflicto civil de los años 1861 al 1865 en Estados Unidos, por primera vez se hizo uso de globos de observación no tripulados, colocándole dispositivos incendiarios. Posteriormente en 1917, Charles Kettering, de General Motors, logra desarrollar un biplano no tripulado pre programado llamado “torpedo aéreo Kettering”, este vehículo gracias a un mecanismo de relojería, logra ser programado para que detone en el lugar de ataque.

No obstante, a pesar de haber marcado el inicio de una nueva era tecnológica, ninguno de los dispositivos antes mencionados fue desarrollado con éxito para fines bélicos, antes del fin de la Primera Guerra Mundial. Conforme a Cuerno et al. (2016), en la década de 1920 el ejército británico se interesó por los sistemas no tripulados, desarrollando en 1927, un avión monoplano para transportar cargamento militar de más de cien kilos, la cual fue capaz de volar distancias mayores a 480 kilómetros, este avión en su despegue era controlado por radio, para luego ser capaz de seguir un plan de vuelo específico.

En el transcurso de la segunda guerra mundial entre 1939 y 1945, la aviación además de darle uso bélico a las naves no tripuladas, estas también fueron de gran ayuda como medio de transporte para abastecer zonas de refugio con alimentos y municiones. Para

Cantero y Pucci (2016), debido a la necesidad de comunicación en pleno vuelo además de localizar otras naves, surgieron los radares y las radios, lo que marcaría un antes y un después en la aviación.

De acuerdo con el Observatorio Aeroespacial (2020), los espionajes en la Guerra Fría aceleraron la investigación en drones. Por el año 1960, Estados Unidos inició el programa secreto Red Wagon, la cual consiste en tomar fotografías en territorio soviético con aeronaves autónomas no tripuladas. Unos años después, Rusia desarrolló el primer dron supersónico, llamado Tú-123 Yastreb4, que fue empleado para el reconocimiento fotográfico y radiográfico por las Fuerza Aérea Soviética.

En las décadas de los 70 y 80 del siglo XX, bajo la influencia de la Guerra Fría, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) de corto y largo alcance se volvieron más sofisticados. Además, según Cuerno et al. (2016), por esos años haciendo uso de UVA en espionajes, las naves al acercarse a zonas donde había radiación nuclear dejaban de operar, lo cual llevo a hacer uso de los drones como aviones de reconocimiento de estas zonas.

Tal como señalan Cantero y Pucci (2016), en los años 90s, la CIA necesitaba espionar a Bosnia, en ese entonces se hacía uso de satélites de baja calidad, fue así que a pesar de las inclemencias del tiempo voló por primera vez un dron, para realizar tareas de vigilancia en tiempo real durante un periodo prolongado. En este primer vuelo, surgió la primera limitación del dron, ya que solo se podía controlar estando cerca, por lo cual se hizo uso de un avión que era el intermediario entre la estación de control y el dron. Otra de las limitaciones era el tiempo de viaje de las imágenes, porque pasaba por el avión intermediario, Continuaba por la estación de control, esta enviaba la información por satélite y en última instancia llegaba a los cuarteles de la CIA.

Gracias al uso de los vehículos no tripulados (UAV), el desarrollo de la resolución de las fotografías mejoró notablemente. En este punto la fotogrametría llega a ser conocida y usada en ámbitos de la ingeniería.

La fotogrametría, conforme a Santos (2014), se define como la disciplina encargada de calcular las dimensiones y posiciones de los objetos en el espacio, usando medidas tomadas por fotografías.

La fotogrametría se clasifica en 2, acorde a Claros, Guevara y Pacas (2016), según su tipo de fotografía y según el tipo de tratamiento. Según su tipo de fotografía tenemos a la fotogrametría terrestre, que es aplicada principalmente en arquitectura y

arqueología, está basada en la toma de fotografías desde la tierra, donde la posición de la cámara y el objeto son conocidas; y la fotogrametría aérea que utiliza fotografías tomadas desde una cámara en una plataforma especial. Según el tipo de tratamiento tenemos a la fotogrametría analógica que utiliza aparatos de restitución mecánico u óptico donde se realiza la alineación de imágenes que logra crear un modelo estereoscópico escalado y nivelado; además gracias a las computadoras nació la fotogrametría analítica que utiliza restituidores analógicos para optimizar tiempos y lograr fases de detalle en diferentes escalas; por último tenemos a la fotogrametría digital que gracias a los avances tecnológicos, el uso de software aplicados, dio origen a los modelos digitales 3D.

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.1.1 Investigaciones internacionales

Como describe Ortega (2018), en su investigación titulada “Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada” se planteó como finalidad la utilidad de los aparatos RPAS, como herramienta de bajo costo para evaluar la estabilidad en taludes, usando la información obtenida a partir de imágenes, viendo que es un procedimiento eficiente y con mayor precisión que lo habitual. También, se describe el proceso y postproceso paso a paso para obtener los resultados y la evaluación del talud.

Como lo describe Tomás et al. (2020), en su estudio denominado “Evaluación de la estabilidad de taludes rocosos a partir de nubes de puntos 3D obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado” se emplea una técnica para la identificación de las fallas en la roca de una línea de ferrocarril para el análisis de su estabilidad.

Los datos se obtuvieron con un dron de seis rotores, los procesamientos de las fotos de alta resolución dieron una nube de puntos 3D y con la nube de puntos se pudo identificar los tipos de daños.

Como detalla Nuñez (2020), en su tesis plantea el uso de vehículos aéreos no tripulados como alternativa viablemente económica para monitorear las zonas de deslizamientos. La investigación está localizada en Colombia, el corredor

vial Tona – El mortíño en donde pasa una red vial en donde hay un problema de deslizamientos de taludes y laderas que generan amenazas para los vehículos de la vía y afectan la economía también. El método de monitoreo se obtuvo mediante el modelo digital de superficie y orto mosaicos multitemporales, detectando cambios geométricos.

Según Farías, Sepúlveda y Vargas (2016), menciona que el uso de la fotogrametría para el análisis de taludes mediante la generación de un modelo tridimensional de gran resolución es de gran aporte, haciendo que se ahorre tiempo, simplificar y mejorar el trabajo geotécnico. Así como también poder tener un análisis detallado de un afloramiento complejo lo cual no sería posible con un método de fotografías convencionales.

Alameda (2014), menciona que el uso de la aerofotogrametría para el estudio de taludes de roca foliada es un método rápido, sencillo y con la posibilidad de ser ejecutada por una persona capacitada para obtener las imágenes de alta resolución. Al mismo tiempo concluye que existe una dicotomía entre la evaluación de taludes y el empleo de sofisticadas técnicas de digitalización y parametrización.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Ramirez y Quispe (2021), tuvieron como objetivo concientizar a la población que vive en las laderas, las cuales se encuentran en inminente peligro debido a la alta sismicidad que tiene el Perú, para lo cual elaboraron mapas temáticos, obtenidos con información geoespacial y modelaciones a través de un levantamiento fotogramétrico en zonas de laderas propensas al desplome de rocas en el AAHH Moyopampa en Chosica, además desarrollaron un modelo SIG que sintetiza la información topográfica, geomorfológica y catastral obteniendo la vulnerabilidad real de la zona, concluyendo que la zona estudiada cuenta con niveles muy altos de riesgo en las viviendas más cercanas a la ladera.

Cabrera y Escalante (2020), en su estudio se plantearon como finalidad evaluar el riesgo del desprendimiento de material de taludes en algunos AA.HH. del distrito de Comas, donde se hizo levantamientos de los taludes y elementos en riesgo con el Drone Phantom 4 pro profesional V2, para luego con la ayuda del software Rocfall se estimó la trayectoria estimada de la caída

de las rocas, explorando su energía, velocidad y altura de rebote de las rocas. Con las trayectorias estimadas se calculó los niveles de vulnerabilidad y riesgo.

Bejarano y Palomino (2022), en su tesis se trazó como fin esencial determinar el análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico con dron Phantom 4 RTK marca DJI y levantamiento con estación total Nikon 632 en el diseño geométrico de la carretera de evitamiento. En la comparativa se tuvo en cuenta el tiempo de levantamiento del terreno y costo total, donde se obtuvo un error relativamente mayor en el trabajo con dron, siendo este más acentuado en la precisión horizontal. Y recomiendan el uso del dron Phantom 4 RTK marca DJI, a pesar que el costo es mayor, se obtiene una reducción del tiempo en un 57.35% con respecto a la estación total.

Mejía y Naveros (2019), en su tesis se planteó como fin evaluar el riesgo riesgo geotécnico de taludes ante sismos en el distrito de San Antonio de Huarocharí; se estudió áreas con taludes naturales y artificiales con riesgo a deslizamiento y caída de rocas empleando el software Slide 6.0, Rocfall 4.0 y estudios geológicos que les permitieron obtener parámetros condicionantes para el cálculo de los niveles de riesgo. Además, haciendo uso del análisis multicriterio SAATY, realizaron encuestas a la población calculando los niveles de vulnerabilidad y riesgo.

2.1.3 Artículos relacionados con el tema

Ruiz-Carulla, Corominas y Hürlimann (2017), menciona que los UAV o drones se han desarrollado de forma exponencial los últimos años. Los usos múltiples para toma de fotografías lo han hecho más conocido y comercial, también lo ha llevado a ser utilizado en diferentes ámbitos como la fotogrametría digital

Su uso para la toma de fotografías y el posterior tratamiento con técnicas de fotogrametría digital, permiten la generación de modelos 3D de alta resolución del terreno. Estas nuevas herramientas permiten realizar trabajos de caracterización geométrica de una forma más eficaz, más segura y con mayor resolución. En esta comunicación se presentan experiencias con esta tecnología en el campo del control de erosión y deposición o cambios en el

tiempo, la caracterización geométrica para inventariar un desprendimiento rocoso, así como la identificación y caracterización del patrón de discontinuidades de un frente rocoso para el análisis de estabilidad y la cuantificación de volúmenes inestables.

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.1.4 Monitoreo de estabilidad de taludes

El monitoreo de la estabilidad de taludes es el análisis de la estimación de la posibilidad de un deslizamiento de la masa del suelo, buscando que el diseño y rellenos o estabilidad de ladera se realicen de forma segura y económica (Montoya, 2009).

a) Deslizamiento de taludes

Cordero (2017), denomina talud a cualquier inclinación permanente del terreno con respecto a la horizontal, que puede ser natural (ladera) o artificial.

Estos pueden ser artificiales, cuando están contruidos en obras de ingeniería como terraplén, o naturales como laderas. Asimismo, pueden ser de suelos, rocas o una mezcla de ambos, variando la metodología de estudio (Valiente, Sobrecases, Diaz, 2015).

Los taludes artificiales son estructuras utilizadas en carreteras y presas y su diseño está relacionado con la seguridad y buen funcionamiento de los proyectos. El surgimiento de la mecánica de suelos ha permitido el estudio y creación de normas para los taludes a partir de las características hidromecánicas de los suelos (Cordero, 2017).

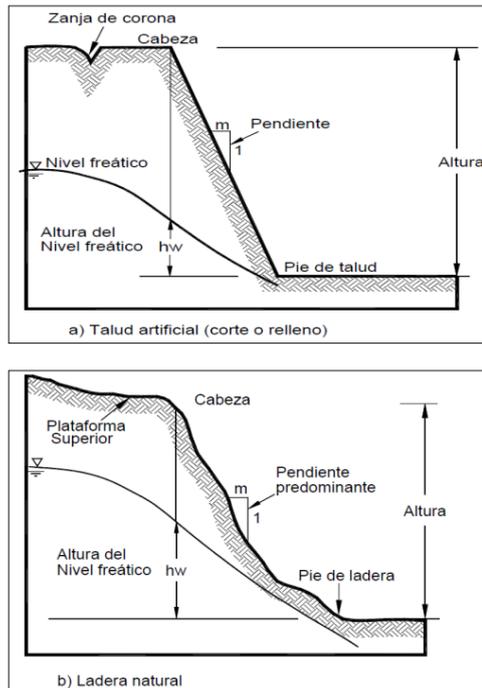


Figura N 1: Talud artificial y natural.

Fuente: LUGO (2018)

Según Lugo (2018), un deslizamiento es aquel fenómeno que implica el movimiento de gran volumen de masa de tierra, causado por inestabilidad del suelo en determinada zona o por la acción de sismos que remueven grandes masas de tierra.

Los deslizamientos pueden ser superficiales o por movimientos del cuerpo del talud. Los deslizamientos superficiales se encuentran en la zona exterior del talud y estas no ocurren de manera fortuita sino a través de un largo periodo de tiempo. En cambio, los deslizamientos por movimientos del cuerpo del talud se producen cuando el deslizamiento provoca una transición brusca entre la superficie exterior y el cuerpo del talud a través de una superficie circular o superficie de falla (Cordero, 2017).

Según Cordero (2017), la falla de los taludes está relacionada con dos causas fundamentales, la primera es el aumento de los esfuerzos actuantes y la segunda es la disminución de los esfuerzos resistentes a cortantes a lo largo de la superficie.

i. Causas de los deslizamientos:

Existen varios factores que propician los deslizamientos de pequeños y grandes volúmenes de masa que componen la estructura de los taludes. La inestabilidad que muestran ciertos sectores ocurre cuando la resistencia a la cortante es menor y no es capaz de contrarrestar los empujes de determinado talud que son ocasionados por el peso propio, actividad sísmica, etc. (Lugo, 2018).

Lugo (2018), menciona alguna de las probables causas de los deslizamientos:

- Movimientos de las placas tectónicas.
- Incremento del esfuerzo cortante.
- Infiltración de agua a causa de las lluvias.
- Expansión de material de baja permeabilidad, como la arcilla.
- Generación de planos de deslizamientos.
- Descomposición de minerales y rocas que sucede sobre la superficie terrestre.
- Excavaciones en la parte baja del talud.

ii. Tipos de fallas de deslizamiento en taludes

Según Lugo (2018), los deslizamientos de taludes pueden fallar por los siguientes motivos:

- Falla por deslizamiento superficial:

Este tipo de falla está presente en taludes naturales, es lento en su desplazamiento y deslizamiento.

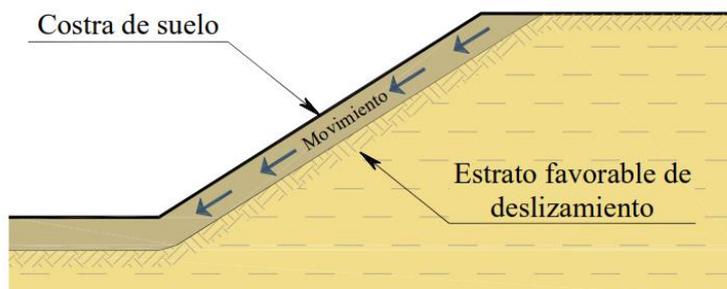


Figura N 2: Falla por deslizamiento superficial
Fuente: MONTOYA (2009)

- Fallas por rotación:

Montoya (2009), indica que este tipo de falla produce el desplazamiento profundo de masa de suelo del talud y luego de la falla se puede observar una superficie ligeramente circular.

Las fallas de rotación se subdividen en:

Falla local: Ocurre cuando la superficie de falla corta al talud entre la cabeza y el cuerpo de éste y no toca su base. En la mayoría de casos no conlleva una falla catastrófica.

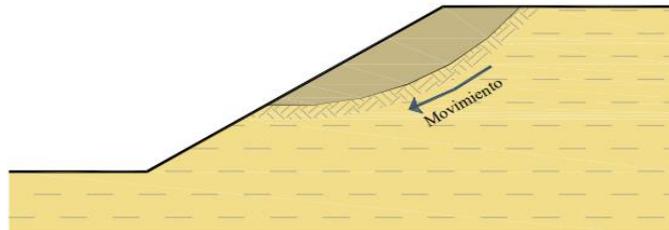


Figura N 3: Falla local.
Fuente: MONTOYA (2009)

Falla de pie: El deslizamiento de masa de suelo del talud o falla se produce en las cercanías del pie del talud.

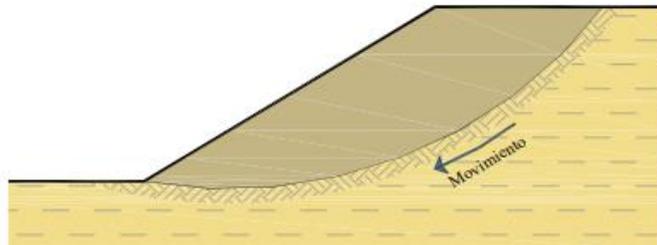


Figura N 4: Falla de pie.
Fuente: MONTOYA (2009)

Falla de base: Corresponde a una falla general de toda la geometría del talud, corta al plano horizontal que forma la base del talud.

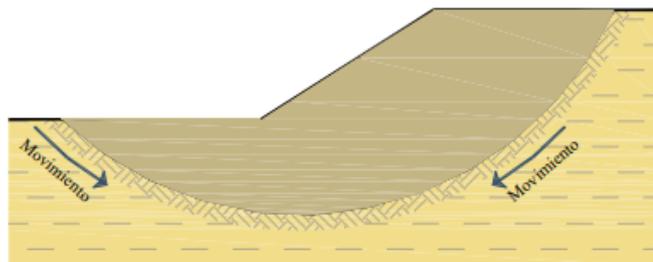


Figura N 5: Falla de base.
Fuente: MONTOYA (2009)

- Falla por traslación:

Montoya (2009), señala que este tipo de falla se presenta como un movimiento importante del talud y se traslada en las cercanías del pie de éste. Los estratos débiles que propician su aparición están compuestos por arcillas blandas, arenas finas o limos no plásticos.

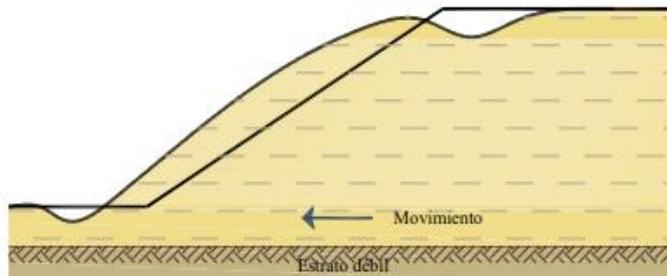


Figura N 6: Falla por traslación.

Fuente: MONTOYA (2009)

- Falla por flujo:

Montoya (2009), señala que este tipo de falla se produce por acción de líquido viscoso en su estructura, la cual ocasiona que el deslizamiento sea rápida y violenta. Generalmente se presenta en taludes naturales con suelos no consolidados.

- Falla por licuación:

Montoya (2009), indica que este fenómeno de licuación se presenta cuando se genera una reducción veloz de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, la cual conduce al colapso del suelo y estructura que se forme o se encuentre sobre éste.

Este tipo de falla se hace presente en taludes compuestos de material fino, suelos saturados y de drenaje pobre. Está considerado como uno de los fenómenos más destructivos, también pueden ser generados por acciones sísmicas.

b) Estabilidad de taludes

La finalidad de analizar la estabilidad de taludes es estimar la posibilidad de un deslizamiento de la masa del suelo, buscando que el

diseño y rellenos o estabilidad de ladera se realicen de forma segura y económica (Montoya, 2009).

El análisis convencional de estabilidad de taludes en dos dimensiones busca determinar la magnitud de los momentos actuantes y momentos resistentes que actúan en los suelos que conforman un talud. Seguidamente se calcula la relación entre ambos momentos obteniendo un factor de seguridad que propiamente va ligado a un grado de incertidumbre (Montoya, 2009).

Algunos de los métodos que tenemos para su análisis son, método empírico (observaciones de campo tomando en cuenta las condiciones geológicas y geotécnicas), métodos de límite de equilibrio, métodos numéricos y los métodos dinámicos (Reyes, 2019).

Los métodos numéricos es la que muestra mejor aproximación al detalle, sin embargo, los métodos de equilibrio límite son más sencillos de usar, además de permitir analizar los fallos traslacionales, fallos rotacionales, fallos de cuña y fallos de inclinación (Reyes, 2019).

c) Métodos de monitoreo de deslizamientos en taludes

Existen diferentes técnicas para prevenir y mitigar deslizamientos que puedan presentarse en la construcción de proyectos de Ingeniería Civil. Según Alonso (2021), los métodos disponibles actualmente para el monitoreo de deslizamientos de tierra en taludes son:

- Mediciones geotecnicas clásicas con el inclinómetro.
- Mediciones con levantamientos topográficos con estaciones totales o receptores GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite).
- Sistemas detección y alcance de luz aerotransportada (LiDAR).
- Escáneres Laser Terrestres (TLS).
- Técnicas fotogramétricas con imágenes de satélite de alta resolución.
- Interferometría Diferencial usando imágenes de radar (DInSAR).
- Radares de estabilidad de taludes (SSR).
- Plataformas aéreas UAV.

Zambrano (2017), desarrolla algunos de los métodos de monitoreo, señalados anteriormente:

- Monitoreo mediante estaciones totales

Es el método tradicional para monitorear taludes y paredes rocosas, haciendo uso de estaciones totales para anotar los cambios de posiciones de marcadores instalados en el lugar.



Figura N 7: Estación total.
Fuente: HERNÁNDEZ (2011)

- Blancos reflectantes para estaciones totales

De acuerdo al presente autor, como se sabe, las estaciones totales son capaces de operar sin blancos reflectantes, pero para trabajos que requieren mediciones mayor grado de precisión y mediciones sucesivas se recomienda utilizar los blancos reflectantes. Existe una amplia gama de blancos reflectantes, entre los blancos reflectantes más usados son las dianas de cinta reflectante, esferas reflectantes y los tubos reflectantes.

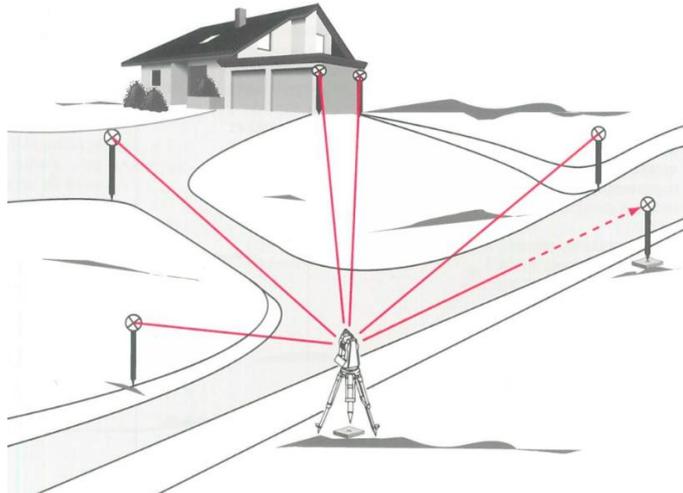


Figura N 8: Uso de blancos reflectantes para estaciones totales.
 Fuente: ¿QUÉ ES UNA ESTACIÓN TOTAL Y PARA QUÉ SIRVE? (2020)

- Radares de estabilidad de taludes (SSR)

Con respecto al autor señalado anteriormente, el SSR son equipos con precisión sub-milimétrica, se basa en la técnica de interferometría de radar diferencial, la cual escanea un sector formando una imagen de intervalos de hasta 10 minutos, luego compara las fases medidas en cada píxel con respecto al escaneo inicial determinando el trayecto de cada píxel respecto de la medición inicial y así dando un resultado muy exacto. Toda la información recopilada es procesada mediante un software especial que lo procesa y muestra un mapa del área escaneada y gráficos de desplazamientos con mediciones.



Figura N 9: Uso de radares de estabilidad de taludes (SSR).
 Fuente: JUDD (2020)

- Plataformas aéreas UAV

Zambrano (2017), señala que los vehículos aéreos no tripulados (UAV), son vehículos controlados de manera remota o mediante vuelos semiautónomos, también son conocidos como drones y su forma puede variar desde configuraciones de tipo avión hasta estar sin alas como el tipo multi-rotor.

Los vehículos aéreos no tripulado (UVA) o drones tienen diferentes usos, según González (2017), en múltiples ámbitos, a continuación, se describirán los más importantes:

- Uso Militar: Pueden servir de señuelo para entrenamientos terrestres o aéreos, también usados en misiones de reconocimiento, capaces de transportar cargas y hasta desarrollar aplicaciones bélicas en misiones de alto riesgo; es aquí donde se invierte grandes cantidades de dinero para desarrollar diferentes aplicaciones, tristemente para la guerra.
- Uso de supervisión, usados en el ámbito de la ingeniería para supervisar grandes obras como puentes, edificios, carreteras, etc. Son dotados con cámaras de vídeo, haciendo recorridos largos, reduciendo el tiempo y optimizando el desarrollo de estas.
- Uso civil, conocidos comúnmente como dron comercial, se usa de múltiples maneras, desde vigilancia, fotografía, transmisiones televisivas, control de accidentes, ocio y más.
- Uso de acciones humanitarias, tienen capacidad de trasladar medicamentos a lugares de complicado acceso, así como también recopilación de información de las zonas afectadas.
- Uso para investigaciones científicas, son de gran utilidad para entrar en lugares hostiles, como por ejemplo en huracanes y poder capturar lo que sucede en su interior, transmitiendo en vivo los sucesos, se han desarrollado drones capaces de resistir temperaturas extremas que pueden acercarse a volcanes o entrar en la Antártida.

i. Clasificación de los UAVs:

Los UAVs se pueden clasificar según el sistema de propulsión de la siguiente manera:

- UAV de ala fija.

Su estructura está compuesta por dos alas fijas que están acopladas al cuerpo del instrumento, se asemeja a las de un avión convencional, van dotados de una hélice trasera; este tipo de drones son mayormente usados en el ámbito militar ya que recorren grandes distancias, además de lograr grandes velocidades. Para el despegue y aterrizaje de estos drones es necesario una pista de vuelo (González, 2017).



Figura N 10: Drone de ala fija VTOL, P330 Pro.

Fuente: P330 PRO DRONE DE ALA FIJA VTOL PARA LA TOPOGRAFÍA Y LA CARTOGRAFÍA (2021)

- UAV de ala rotatoria.

Este tipo de dron tiene la característica que son impulsados por hélices, generando la fuerza de empuje necesaria para elevarse. Se le llama rotor a todo el sistema que se encarga de impulsar para el despegue y la maniobrabilidad del vehículo. Son de velocidad y rango de vuelo menor en comparación con los drones de ala fija, poseen una autonomía por lo general de 30 minutos y una velocidad promedio de 60km/h. Una de las ventajas es que pueden despegar y aterrizar verticalmente, por lo cual no hace falta hacer uso de pistas de aterrizaje (González, 2017).



Figura N 11: Phantom 4 RTK.
Fuente: Topografía Aérea y AEC (s.f.)

Según González (2017), los drones multirotor, están compuestos por cuatro tipos:

Tricóptero: es la forma más simple de dron, está conformada por tres brazos que sobresalen de la parte central del dron, además cuenta con tres reguladores, tres motores, tres hélices y un servomotor. Se manejan a través de un control del número de revoluciones, sus dos motores laterales hacen que oscile de un lado a otro gracias a la disminución de las revoluciones del motor contrario al giro y el servomotor permite la rotación sobre el propio eje del dron.

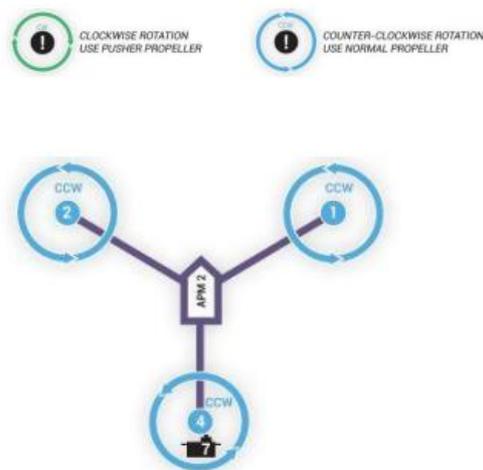


Figura N 12: Configuración del motor de un tricóptero.
Fuente: RUIPÉREZ (2016)

Cuadricópteros: la configuración más común en el mercado comprende cuatro hélices equidistantes entre sí, impulsadas mediante cuatro motores, el ascenso de este tipo de dron se da a través de dos motores que giran en sentido contrario a los otros dos motores para poder neutralizar la fuerza y alcanzar equilibrio. Para los cuadricópteros, existen dos modelos para la instalación de los rotores; el primer caso (QUAD+), permite mejor maniobra en su desplazamiento en cualquier dirección, solo es necesario el control, en el segundo caso (QUAD X) los motores se encuentran separados a 45°, para su desplazamiento es necesario el uso de los cuatro motores, este modelo es más conveniente para el uso de cámaras ya que brinda mayor grado de visualización.

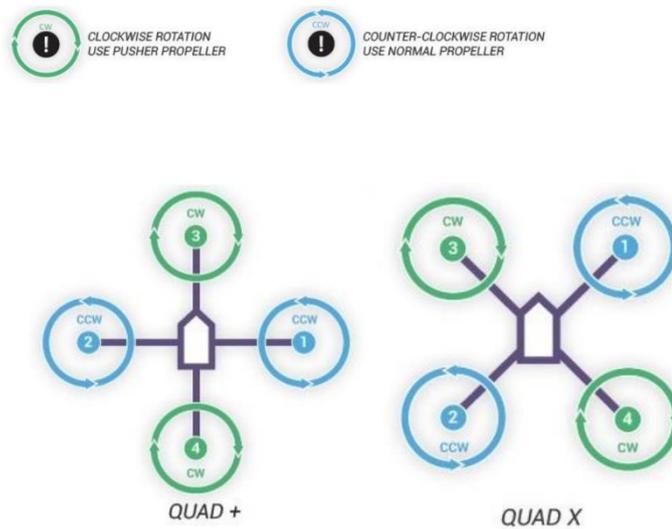


Figura N 13: Configuración de los dos modelos de motores de un cuadricóptero.
Fuente: RUIPÉREZ (2016).

Hexacópteros: este tipo de dron lleva seis motores equidistantes al mismo nivel, cada uno con sus variadores, brazos y hélices, el método de vuelo de este dron es similar al cuadricóptero, pues tres de estos motores giran en sentido contrario de los otros tres motores. Además, cuenta con diferentes modelos para la colocación de los motores, entre ellos tenemos, HEXA+, HEXA X, adicionalmente están los modelos Y6, IY6 y HEXA H.

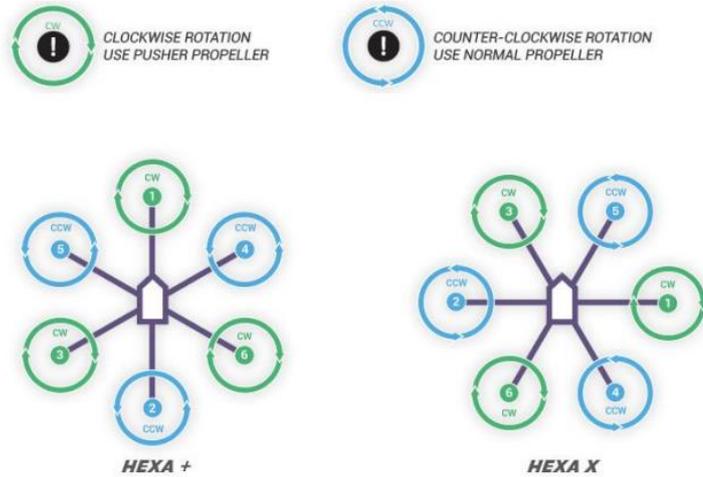


Figura N 14: Configuración de los dos modelos de motores de un hexacóptero.
Fuente: RUIPÉREZ (2016)

Octocópteros: este dron también se le llama multicóptero ya que cuenta con ocho motores, con sus respectivos componentes, se caracteriza por su gran potencia, gran capacidad de carga y usualmente es de uso profesional. Su método de vuelo es similar a los anteriores mencionados, ya que cuatro de sus motores giran en sentido contrario a los otros cuatro motores. Cuenta con dos configuraciones, OCTO+ y OCTOX.

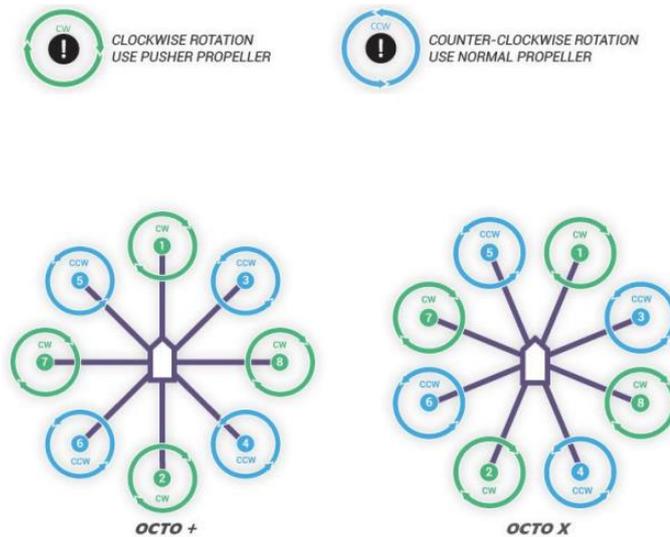


Figura N 15: Configuración de los dos modelos de motores de un octocóptero.
Fuente: RUIPÉREZ (2016)

2.1.5 Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución

La comparación multitemporal son análisis realizados mediante la comparativa de coberturas deducidas en imágenes de satélite, fotografías aéreas o mapas de un mismo lugar, analizados en distintos periodos de tiempo. Permite la evaluación de los cambios de las coberturas, deduciendo la variación natural o accidental de la zona de estudio (Veloza, 2017).

Según Veloza (2017), la comparación multitemporal, como su nombre lo dice, compara tiempo y espacio. Cuando es aplicado a la fotogrametría, apoyados en las imágenes tomadas por drones en diferentes tiempos nos permitirán hallar las velocidades de deslizamientos en las laderas o taludes por la ley de inercia, ya que también tendremos los desplazamientos mediante las coordenadas de las ortofotos generadas.

Veloza (2017) menciona que, el proceso previo a la comparación multitemporal de imágenes de alta resolución es el siguiente: se elabora el plan de vuelo, se asigna puntos de control en el área de estudio, se realiza el vuelo, luego con las imágenes de alta resolución captadas por el dron, se procede a hacer el alineamiento de las imágenes mediante el uso de algún software de procesamiento de vuelo de drones, para luego hacer el procesamiento de la nube de puntos, dando como resultado el modelo digital de elevaciones (DEM) o modelo digital de terreno (DTM), el cual ayudara a obtener el perfil de terreno y se podrá hacer la comparación multitemporal. A Continuación, desglosamos cada uno de los componentes:

a) Plan de vuelo

Para garantizar un adecuado resultado fotográfico del levantamiento de la zona de estudio, es indispensable planificar el proyecto de vuelo fotogramétrico, para ello se debe considerar características topográficas del lugar de estudio, sus condiciones atmosféricas, los límites del área de estudio, la escala de los mapas que se hallarán, etc. Con ello se obtendrán los parámetros necesarios del vuelo, como la altura a la que volará el dron, la velocidad con la que se trasladará, la separación entre líneas, etc. (Instituto Geofísico del Perú, 2020).

Para crear un plan de vuelo se debe primero ver el tipo de dron que se va usar, como el dron que se usó para la investigación tiene un software (WingtraHub) con el cual se puede realizar el plan de vuelo.

Se tiene que delimitar el área de trabajo en un formato de datos geográficos en tres dimensiones (kml), el cual se importa al software WingtraHub en un nuevo plan de vuelo.

Por último, se configuró la dirección de vuelo para optimizar el tiempo de vuelo, el traslape de imágenes para obtener más fotografías y el GSD para tener más resolución por imagen

Diaz (2019), define todas las actividades y cálculos previos a la ejecución del vuelo, de la siguiente manera:

- Elegir el sistema de referencia en las que se va trabajar, con el fin de definir la posición de un objeto en el espacio.
- Elegir la resolución espacial (GSD) de las imágenes, GSD es el intervalo entre dos centros de píxeles consecutivos, esto define la altura de vuelo de acuerdo a las características de la cámara que se emplea, ya que un mayor GSD conlleva una menor resolución de las imágenes. La resolución espacial normalmente está en el rango de 1 a 10 cm/píxel con altura de vuelo entre 80m a 200m.

Plan de vuelo, en esta fase para obtener un nivel alto de precisión de los MDT, es necesario considerar diferentes factores como la accesibilidad, topografía, meteorología, los cálculos de velocidad, traslapes, tiempo de captura de imágenes, todo esto dependiendo del dron que se va usar y el modelo de la cámara. Para su planificación se considera los siguientes factores:

- Altura de vuelo: Una vez conocido el GSD, la anchura del sensor óptico y la distancia focal, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$H = \frac{GSD * d_f * A_{Imagen}}{A_s * 100} \quad A_{Imagen} = \frac{d}{GSD}$$

Figura N 16: Fórmulas para hallar la altura de vuelo del dron.
Fuente: DIAZ (2019)

Donde “H” es la altura de vuelo (m.), “GSD” es la distancia de muestreo (cm/pixel), “A_s” es la anchura del sensor óptico (mm.), “d_f” es la distancia focal (mm.), “A_{imagen}” es el ancho de la imagen (pixel) y “d” es la distancia que cubre la imagen (cm).

- Ancho y alto de las imágenes: Indica la medida de la fotografía en el suelo, también conocidas como huellas de la cámara y se halla mediante las siguientes ecuaciones:

$$A_h = \frac{GSD * AN_i}{100} \quad A_a = \frac{GSD * AL_h}{100}$$

Figura N 17: Fórmulas para hallar el alto y ancho de las imágenes.
Fuente: DIAZ (2019)

Donde “Ah” y “Aa” es el alto y ancho de huella respectivamente (m.), “AN_i” y “AL_h” es el ancho y alto de la imagen respectivamente (píxeles) y “AN_i” y “AL_h” son datos obtenidos por las cámaras RGB.

- Traslape longitud y transversal:

Para la aplicación del principio de visión estereoscópica es esencial hacer uso de traslapes longitudinales y transversales, para enlazar imágenes. Dichos traslapes dependen del relieve del terreno, el ángulo de inclinación de la cámara y de las modificaciones en las alturas de vuelo.

$$B = S_1 * (1 - p) = S_1 * m_b * (1 - p) = S_1 * m_b * \left(1 - \frac{p\%}{100}\right)$$

$$T = S_2 * (1 - q) = S_2 * m_b * (1 - q) = S_2 * m_b * \left(1 - \frac{q\%}{100}\right)$$

Figura N 18: Fórmulas para hallar los traslapes longitudinales y transversales.
Fuente: DIAZ (2019)

- Velocidad de vuelo: Esta velocidad depende del dron empleado, ya que cada dron tiene distintos niveles de velocidad. Esta en función a las condiciones de viento, la distancia entre fotografías y el tiempo de captura entre fotografías, se utiliza la siguiente ecuación:

$$IO = \frac{B}{V}$$

Figura N 19: Fórmula para hallar la velocidad de vuelo.
Fuente: DIAZ (2019)

Donde “IO” es el intervalo de obturación (seg.), “B” es la distancia entre las fotografías (m.) y “V” es la velocidad de vuelo (m/seg.).

- Superficie de vuelo: Define el recorrido del vuelo, que cubra toda el área de estudio y el número de misiones que va realizar dependiendo del dron a usar.

La importancia del apoyo topográfico, parte de la planificación de las ubicaciones donde se tomarán los datos topográficos, haciendo uso de GPS para lograr MDT más exactos, se clasifican en:

- Puntos de control: Los puntos de control pueden corresponder a cercos, caminos o estructuras bajas que no son captadas fácilmente con fotografías aéreas y estos datos son procesados como parte del estudio.

- Puntos de apoyo: Sirven para posicionar con mayor precisión global el modelo y ayudar al software en su procesamiento, brindando coordenadas de latitud y longitud. El número de puntos de apoyo como mínimo es 3 pero se recomiendan 5, generalmente están divididos de manera homogénea en la superficie de estudio. Su aplicación reduce el error del GPS de metros a centímetros, estos puntos deben ser de colores llamativos para su mejor apreciación y 5 a 10 veces el tamaño del GSD.

- Ejecución del vuelo: Se verifican las condiciones meteorológicas, el correcto ensamblado de los componentes del dron, buena calibración, el correcto ingreso del plan de vuelo y como mínimo 9 satélites GPS conectados.

b) Fotografías aéreas

Es toda aquella fotografía capturada con cámara desde una altura, pueden ser tomadas en diferentes plataformas, desde aviones, helicópteros o hasta drones. (Fotografía aérea con dron, s.f.).

Fotografía con drones es aquella capturada desde las alturas con un dron o multicóptero no tripulado y es controlado desde la tierra por

radiofrecuencia, para que las fotografías sean de calidad, los drones deben poseer buena cámara HD y duración de vuelo no menor a 30 minutos. (Fotografía aérea con dron, s.f.).

La fotografía aérea es también usada en la fotogrametría, que es una técnica de medición para la obtención de las propiedades geométricas de los objetos y planos espaciales a través de fotografías, su procesamiento dependerá de la cámara empleada y esta técnica se basa en visión estereoscópica y principios geométricos (Villada y Berrio, 2020).

Para la ejecución de un proyecto fotogramétrico asumimos que la proyección central es magnífica, con lo cual suponemos que no puede existir la desviación de rayos de luz que atraviesan el lente de la cámara, la imagen es proyectada sobre una superficie idealmente plana y asumimos el principio matemático de colinealidad que es la relación entre el objeto y la imagen (Villada y Berrio, 2020).

c) Modelos digitales de terreno (DTM's)

El relieve del terreno se obtiene a través de los modelos digitales de terrenos (DTM's), los cuales son la representación del terreno por un grupo de puntos con coordenadas X, Y y Z, que ayudan a interpretar la morfología del terreno. Los programas de modelos digitales están actualmente desarrollándose, buscando mejorar la estructuración de los datos, la compatibilización de distintas estructuras entre sí y el intercambio de estos modelos entre sistemas distintos. (Diaz, 2019).

Según Diego (2020), la estructura usada en los DTM's, se clasifican en función de la forma de representación de datos, habiendo dos modelos, el vectorial y el ráster.

VECTORIALES	CONTORNOS	<i>SECUENCIAL</i> : las líneas se almacenan como cadenas de cotas. <i>ANALÍTICA</i> : las líneas se almacenan como segmentos de Bézier, polinómicos, etc.
	PERFILES	Cadenas paralelas de cotas en línea con altitud variable.
	TRIÁNGULOS	Red de triángulos irregulares (<i>TIN</i>).
RASTER	MATRICES	<i>REGULARES</i> : cotas sobre una malla cuadrada de filas y columnas equidistantes. <i>ESCALABLES</i> : cotas sobre submatrices jerárquicas y de resolución variable.
	POLÍGONOS	Cotas asignadas a teselas poligonales regulares (triángulos o hexágonos).

Figura N 20: Estructuras más utilizadas para el almacenamiento de los DTM's.
Fuente: DIEGO (2020)

- Modelos vectoriales: Son modelos en donde el territorio es representado mediante puntos de coordenadas espaciales, a partir de estas coordenadas se gestionan las líneas y a partir de estas se forman polígonos (Diego, 2020).
- Modelos ráster o teselar: Este modelo divide el área en un conjunto regular de celdas, cada una de estas celdas contiene un valor numérico que puede ser la forma de identificar un objeto o el valor de una variable (Diego, 2020).

Dentro de los DTM's tenemos los DEM, que son los modelos digitales de elevación, según Elmer (2020), es una matriz de celdas de tierra desnuda referida a datos verticales, es decir solo muestra el relieve del suelo, no muestra los puentes, carreteras, edificios, torres, árboles y otros tipos de vegetación. Estos modelos son útiles en hidrología, suelos y planificación territorial.

2.4 Definición de términos básicos

a) Ortofoto

Acorde al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2003), una ortofoto es una fotografía aérea, la cual ha sido modificada por procesos fotogramétricos, los desplazamientos que se presentan en la imagen debido a el relieve del terreno, la inclinación de la cámara, etc.

b) Sistema de información geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System), de acuerdo a Sarría, F. (s/f), es una forma provisional de sistemas que posibilitan acumular datos espaciales para su consulta, manipulación y representación.

c) Talud

Conforme a Diaz y Vidal (2015), esta terminología se define como un plano inclinado respecto a la horizontal tomando esa posición de forma permanente o temporal.

d) Vehículo Aéreo No Tripulado

Este término se define, según Sánchez (2017), como un sistema de aviación pilotados remotamente, el cual se conoce como drones. Estos vehículos pilotan sin ninguna persona adentro; es decir, sin piloto a bordo. Sin embargo, se puede manipular a distancia con un control.

e) GSD

Conforme a la Dirección de Hidrografía y Navegación (2020), la distancia de muestreo en el terreno o del inglés Ground Sample Distance (GSD) es la medida entre el centro de dos píxeles inmediatos medidos en el suelo. A modo de ejemplo, un GSD de 5 centímetros equivale a que un píxel en la imagen manifiesta 5 centímetros lineales en el suelo.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Método de la investigación

3.1.1 Hipótesis general

La comparación multitemporal de imágenes de alta resolución permite el monitoreo de estabilidad de taludes en el valle de Sigwas.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a. El plan de vuelo permite la toma de fotografías con el dron de ala fija.
- b. El procesamiento de fotografías aéreas permite la generación de modelos digitales del terreno DTM.
- c. La comparación de DTM's multitemporales permite el análisis y el cálculo de la velocidad del deslizamiento para la identificación de nuevos sectores en peligro.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de las variables

Monitoreo de estabilidad de taludes: Es el análisis de la estimación de la posibilidad de un deslizamiento de la masa del suelo, buscando prevenir accidentes.

Indicadores: Deslizamiento de taludes, estabilidad de taludes, métodos de monitoreo.

Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución: Es comparación de fotografías aéreas de alta resolución que se obtuvo previamente haciendo un plan de vuelo, para obtener los desplazamientos y los tiempos de la zona de estudio mediante los DTM's.

Indicadores: Plan de vuelo, fotografías aéreas, DTM's.

3.2.2 Definición operacional de las variables

Monitoreo de estabilidad de taludes: Se entiende como el seguimiento constante a zonas con taludes o laderas con deslizamientos constantes para obtener su comportamiento a lo largo de un periodo de tiempo.

Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución: La comparación multitemporal, como su nombre lo dice, compara tiempo y espacio. Cuando es aplicado a la fotogrametría, apoyados en las imágenes tomadas por drones en diferentes tiempos nos permitirán hallar las velocidades de deslizamientos en las laderas o taludes por la ley de inercia, ya que también tendremos los desplazamientos mediante las coordenadas de las ortofotos generadas.

Tabla 1: Matriz de variable

Variable independiente: Monitoreo de estabilidad de taludes		Variable dependiente: Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución	
Indicadores	Índices	Indicadores	Índices
Deslizamiento de taludes	-Causas del deslizamiento -Tipos de fallas de deslizamiento en taludes	Plan de vuelo	- Puntos de apoyo - Puntos de control - Velocidad de vuelo - Altura de vuelo
Estabilidad de taludes	- Momentos actuantes - Momentos resistentes -Estación total - Blancos reflectantes para estaciones totales	Fotografías aéreas	- Tipo de cámara - Duración de vuelo
Métodos de monitoreo	- Radares de estabilidad de taludes (SSR) -Plataformas aéreas UAV	DTM's	- Vectorial - Ráster

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla 2: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones operacionales	Dimensiones	Indicadores	Índices	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramienta
Monitoreo de estabilidad de taludes	Análisis de la estimación de la posibilidad de un deslizamiento de la masa del suelo, buscando prevenir accidentes.	Inclinación permanente del terreno con respecto a la horizontal, que puede ser natural (ladera) o artificial	Deslizamiento de taludes	Causas del deslizamiento	Amenaza	Unidad	Adimensional	Software	Procesamiento de vuelo de drones
				Tipos de fallas de deslizamiento en taludes	Deslizamiento	Unidad	Adimensional		
					Rotación	Unidad	Adimensional		
					Traslación	Unidad	Adimensional		
		Determinar la magnitud de los momentos actuantes y momentos resistentes que actúan en los suelos que conforman un talud.	Estabilidad de taludes	Momentos actuantes	Esfuerzo	Unidad	Adimensional		
				Momentos resistentes	Resistencia	Unidad	Adimensional		
		Técnicas para prevenir y mitigar deslizamientos que puedan presentarse en la construcción de proyectos de Ingeniería Civil.	Métodos de monitoreo de deslizamientos en taludes	Estación total	Taludes	Unidad	Adimensional		
				Blancos reflectantes para estaciones totales	Precisión	Muy alto	Cuantitativa Continúa		
						Alto			
						Medio			
Bajo									
Muy alto									
Radares de estabilidad de taludes (SSR)	Precisión	Alto	Cuantitativa Continúa						
		Medio							
		Bajo							
		Muy alto							
		Alto							
		Medio							
		Bajo							
		Plataformas aéreas UAV	Fotografía	Unidad	Adimensional				
Comparación multitemporal de	Comparación de fotografías aéreas de alta resolución que se obtuvo	Programa del proyecto de vuelo fotogramétrico para determinar características	Plan de vuelo	Puntos de apoyo	Latitud	Unidad	Adimensional	Software	ArcGis Pro

imágenes de alta resolución

previamente haciendo un plan de vuelo, para obtener los desplazamientos y los tiempos de la zona de estudio mediante los DTM's.

topográficas del lugar de estudio, sus condiciones atmosféricas, los límites del área de estudio, entre otros.

		Longitud	° , ' , "	Cuantitativa Continúa		
Puntos de control		Cercos	Unidad	Adimensional		
		Estructuras bajas	Unidad	Adimensional		
Velocidad de vuelo		Distancia entre las fotografías	m	Cuantitativa Continúa		
		Intervalo de obturación	horas	Cuantitativa Continúa		
Altura de vuelo		Distancia que cubre la imagen	m	Cuantitativa Continúa		
		Anchura del sensor óptico	m	Cuantitativa Continúa		
		Distancia focal	m	Cuantitativa Continúa		
	Aquella fotografía capturada con cámara desde una altura, pueden ser tomadas en diferentes plataformas, desde aviones, helicópteros o hasta drones	Fotografías aéreas	Tipo de cámara	Tipo	Unidad	Adimensional
			Duración de vuelo	Tiempo	horas	Cuantitativa Continúa
Representación del terreno por un grupo de puntos con coordenadas X, Y y Z, que ayudan a interpretar la morfología del terreno	DTM's	Vectorial		Forma	Unidad	Adimensional
				Modelos	Unidad	Adimensional
		Ráster		Forma	Unidad	Adimensional
				Modelos		

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

4.1 Metodología de la investigación

La metodología aplicada a la presente investigación es deductiva y descriptiva. Se dice que es deductiva ya que se trata de demostrar la hipótesis mediante la obtención de datos como las velocidades de deslizamiento y, a su vez, contrasta toda la información obtenida en conclusiones. Además, la investigación es descriptiva porque se describen diversos factores que influyen en los deslizamientos en taludes producidas por fenómenos naturales o artificiales. Presenta una orientación aplicada ya que propone el monitoreo constante ante los deslizamientos en el valle de Sigwas, tiene un enfoque cualitativo, pues en las conclusiones se detallan los procedimientos que se emplean para el correcto monitoreo de los taludes, es decir, no se presentan cálculos. Finalmente, el instrumento de recolección de datos es prolectivo porque se realiza en tiempo real y con fines de investigación al momento que ocurren los deslizamientos, además son elaborados por fuente propia.

4.2 Tipo de la investigación

El tipo de investigación es descriptiva porque se cuantifican y muestran las dimensiones del fenómeno relacionado a los deslizamientos constantes en la zona llamada “Alto Sigwas”, ubicada en el Valle de Sigwas, entre los distritos de Majes y San Juan de Sigwas.

4.3 Nivel de investigación

El nivel correspondiente a esta investigación es descriptivo ya que se describe el fenómeno del deslizamiento y se hace uso de mapas temáticos que permite representar de forma gráfica los resultados obtenidos y, posteriormente, son contrastadas con las hipótesis formuladas.

4.4 Diseño de la investigación

El diseño correspondiente será observacional, pues se obtendrá información de campo del valle de Sigwas, se tomarán fotografías aéreas para lograr el monitoreo de los

deslizamientos. Asimismo, es transversal porque se obtendrá información sobre el área de estudio empleando dron como herramienta.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

La población de estudio está delimitada en la zona llamada Alto Sigwas, en el Valle de Sigwas entre los distritos de Majes y San Juan de Sigwas, provincia de Arequipa y Cailloma respectivamente, departamento de Arequipa. Se localiza a 16°21'38" latitud sur; 72°09'11" latitud oeste, a una altura de 1430 msnm.

4.5.2 Muestra

La muestra de estudio en la presente investigación está determinada por 323.36 hectáreas del valle de Sigwas, Arequipa.

4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos

- a. Visitas de campo
- b. Monitoreo de deslizamientos

4.6.1 Instrumento de recolección de datos

La forma de obtención de datos será de tipología Prolectivo, pues se realizará mediante datos tomados en campo, obteniendo perfiles para analizarlos en tiempo real y permitirá dar respuesta a los objetivos planteados y por ende a la investigación.

4.6.2 Métodos y técnicas

- a. Se crea una base de datos de la zona llamada "Alto Sigwas", ubicada en el valle de Sigwas con la utilización de drones.
- b. Se procesa la información obtenida con algún software de procesamiento de vuelo de drones que permite obtener una representación gráfica de la zona de estudio.

- c. Se realiza la comparación multitemporal de imágenes con las ortofotos y perfiles obtenidos identificando los taludes con mayor peligro de deslizamiento.

4.7 Descripción del procesamiento de análisis

- a. Se realiza una visita a campo para reconocimiento del lugar y poder tener una perspectiva real del área de estudio.
- b. Se realizó los vuelos con dron marca Wingtra, modelo WingtraOne GEN II, el cual nos dará fotografías aéreas de alta resolución de la zona de estudio.
- c. Se digita la información obtenida con algún software de procesamiento de vuelo de drones, se añaden los folders con las fotos, se referencian a WGS 1984 UTM Zone 18S, se alinean las fotos con los puntos de control, se procede a generar la nube de puntos a calidad Alta y finalmente se obtendrá los DTM's o DEM.
- d. Con los modelos digitales de elevaciones (DEM), se obtendrán las ortofotos y los perfiles longitudinales para hallar gráficamente el material desplazado y numéricamente obtendremos la velocidad de la masa deslizada.

4.8 Softwares usados para el análisis

- a. Software de procesamiento de vuelo de drones para obtener la ortofoto, con la cual se podrá hacer la comparación de coordenadas de cada ortofoto para obtener la velocidad con la que se desliza el talud.
- b. ArcGis Pro, programa en el cual se hicieron todos los mapas temáticos, como el de ubicación, área de influencia del desplazamiento, presentación del DEM.
- c. También se obtuvo los perfiles a través de la creación de shapefiles y por último el análisis de velocidad a través de la creación de puntos de control de coordenadas conocidas.
- d. Microsoft Excel, se utilizó para la creación de gráficos de dispersión de los respectivos perfiles exportados en formato csv del ArcGis Pro.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Diagnóstico y situación actual

El movimiento en masa de Sigvas “El Alto”, ubicado en la margen derecha del valle de Sigvas, distritos de Majes y San Juan de Sigvas, región Arequipa, tiene unas dimensiones de 1km ancho de la superficie fallada y longitud total de 1.2 km. Es originado en el 2005, por factores geológicos, morfológicos, sísmicos, hidrogeológicos y antrópicos, comprometiendo el tramo de la Carretera Panamericana Sur del Km 920+000 al 921+400, además de otras infraestructuras.

La zona de estudio es accesible por la Carretera asfaltada de la Panamericana Sur teniendo como punto de partida la ciudad de Arequipa, con un recorrido de 70 Km en un tiempo promedio de 1 hora con 30 minutos; por el sector de Camaná y Huambo al sur oeste y norte respectivamente de la ubicación del deslizamiento se tiene un tiempo de llegada promedio de 1 hora y 30 minutos por carretera asfaltada, El área de estudio compromete carreteras de importancia nacional para el tránsito vehicular, su destrucción sería alarmante en el traslado terrestre de los viajeros y al mismo tiempo afectarían los ingresos económicos de la población, al limitarlos en el traslado y venta de sus recursos.

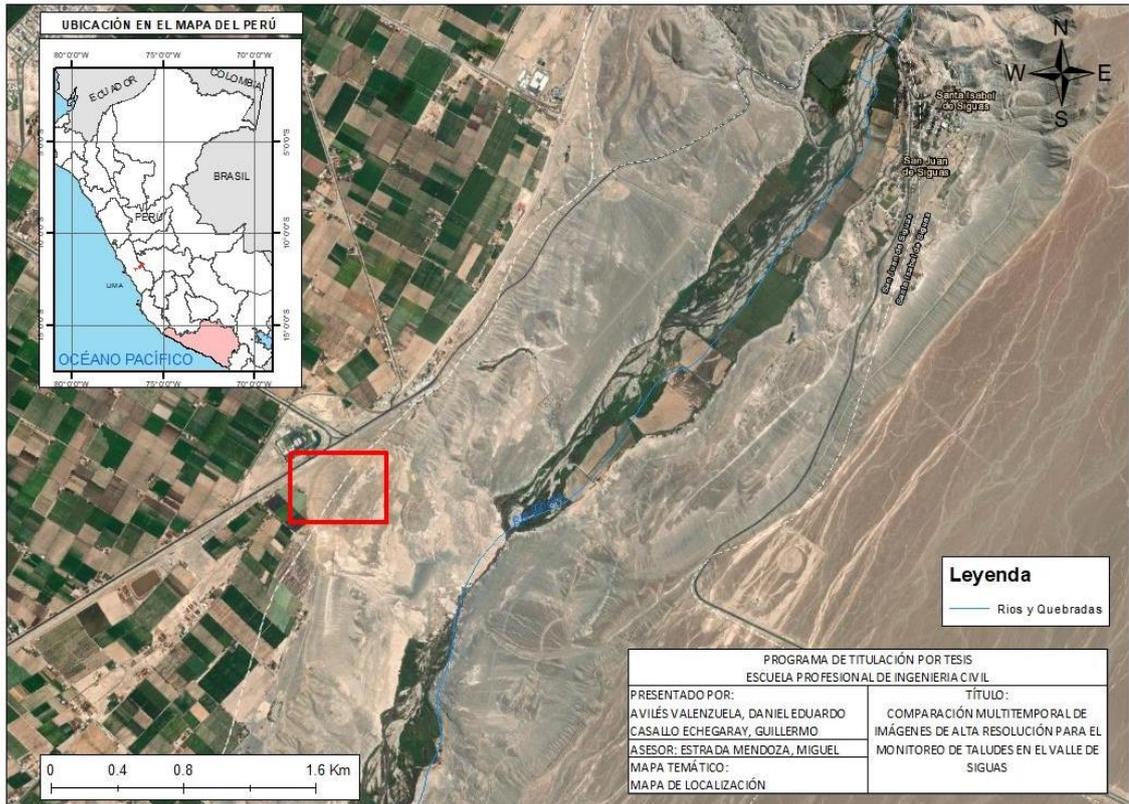


Figura N 21: Mapa de localización

Fuente: Elaboración Propia

5.1.1 Antecedentes

Durante el 2016 y por encargo del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), diversas entidades como ANA, INGEMMET y AUTODEMA realizaron estudios técnicos para estudiar el deslizamiento de Siguas “El Alto” y plantear soluciones, siendo estos los antecedentes principales del presente estudio.

En la siguiente Figura x se muestra la evolución de la escarpa, la cual ha sido monitoreada desde el año 2017 con el estudio “Monitoreo del deslizamiento de Siguas, Arequipa: Fotogrametría y geodesia para la mitigación y reducción de desastres por movimientos en masa” El monitoreo fue realizado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET y en él se presentó la sectorización de la zona del deslizamiento de acuerdo a lo siguiente.

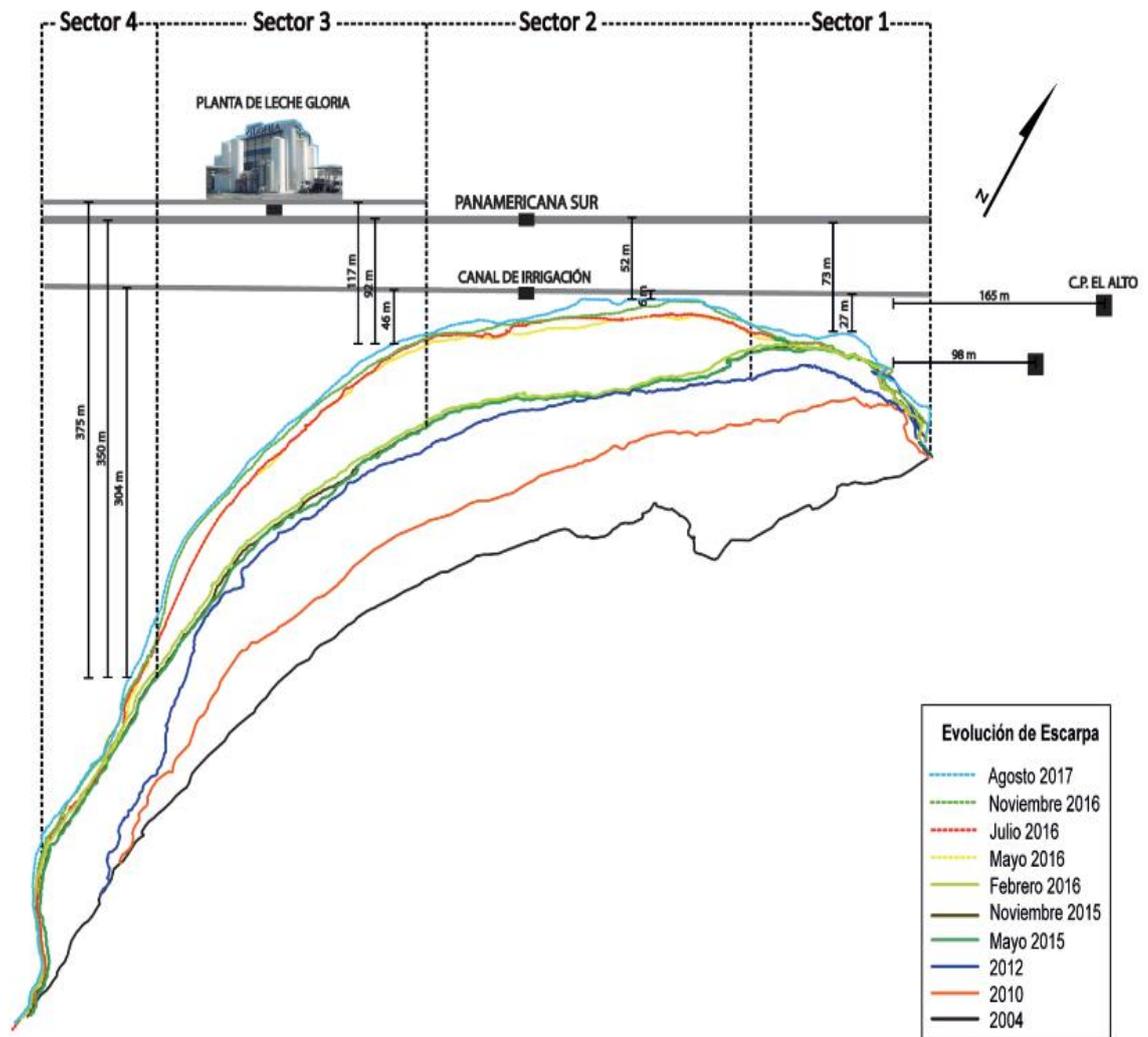


Figura N 22: Distancias mínimas entre la infraestructura

Fuente: INGEMMET

De acuerdo a este informe del INGEMMET se pudo determinar la velocidad de deformación histórica en condiciones extremas, normales y lentas, obtenidas del monitoreo del deslizamiento, desde el 2004 al 2017 y se determinó cuando se podría afectar el canal y la panamericana. A Continuación, se muestran los cuadros con los periodos de afectación de cada sector en donde se evidencia que el canal iba a ser la primera estructura afectada.

Tabla 3: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 1

Sector 1	Distancia a la escarpa (m)	Periodo de la afectación		
		Condiciones extremas	Condiciones normales	Condiciones lentas
Velocidad		12.8 m/año	5.6 m/año	4.7 m/año
Canal	30.2	Agosto 2019 Diciembre 2022	Febrero 2022 Noviembre 2029	Mayo 2023 Noviembre 2032
Panamericana	76.2			
Caseta de SEAL	101.2	Octubre 2024 Septiembre 2029	Enero 1934 Marzo 1945	Febrero 2038 Enero 2052

Fuente: Ingemmet.

Tabla 4: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 2

Sector 2	Distancia a la escarpa (m)	Periodo de la afectación		
		Condiciones extremas	Condiciones normales	Condiciones lentas
Velocidad		61.57 m/año	12.5 m/año	8 m/año
Canal	6.22	Octubre 2018	Febrero 2018	Mayo 2018
Panamericana	52.22	Junio 2018	Julio 2021	Octubre 2023

Fuente: Ingemmet.

Tabla 5: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 3

Sector 3	Distancia a la escarpa (m)	Periodo de la afectación		
		Condiciones extremas	Condiciones normales	Condiciones lentas
Velocidad		70.87 m/año	16.45 m/año	7.6 m/año
Canal	50.76	Abril 2018 Noviembre 2018	Abril 2020 Noviembre 2022	Abril 2023 Diciembre 2028
Panamericana	96.76			
Planta de leche	121.76	Marzo 2019	Abril 2024	Enero 2032

Fuente: Ingemmet

Tabla 6: Periodo de afectación de la infraestructura, sector 4

Sector 4	Distancia a la escarpa (m)	Periodo de la afectación		
		Condiciones extremas	Condiciones normales	Condiciones lentas
Velocidad		13.72 m/año	12.9 m/año	4.4 m/año
Canal	310.03	+20 años	+20 años	+50 años
Panamericana	356.03	+20 años	+20 años	+50 años
Planta de leche	381.03	+20 años	+20 años	+50 años

Fuente: Ingemmet.

5.1.2 Análisis de imágenes satelitales

Hay 5 imágenes satelitales en el Google Earth, las cuales al analizarlas se puede ver claramente como el deslizamiento ha ido avanzando desde el año 2004.



Figura N 23: Fotografía Deslizamiento - Febrero 2004

Fuente: Google Earth

En la imagen satelital de abril del 2010 se ve el inicio del deslizamiento del talud, afectando a las zonas agrícolas aledañas.



Figura N 24: Fotografía Deslizamiento - Abril 2010

Fuente: Google Earth

En la siguiente imagen satelital, pasado dos años de la anterior imagen satelital se puede apreciar que no hubo mucho deslizamiento a simple vista, el sector tres es el que más se deslizó.



Figura N 25: Fotografía Deslizamiento - Abril 2012

Fuente: Google Earth

En la imagen satelital del 2017 ya se puede ver que la zona agrícola del sector tres fue deslizada completamente y el sector dos ya está acercándose a la Panamericana Sur, en esta fecha el Ministerio encargó un estudio para plantear soluciones.



Figura N 26: Fotografía Deslizamiento - Mayo 2017

Fuente: Google Earth

La imagen satelital de julio de 2019 es la última que presenta Google Earth, la más actualizada a esta fecha (octubre 2022), en la cual se puede observar que está afectando el canal de irrigado y el sector tres y dos ya están cerca a la Panamericana Sur, pudiendo afectar a los usuarios de la carretera.



Figura N 27: Fotografía Deslizamiento - Julio 2019

Fuente: Google Earth

Con las imágenes satelitales multitemporales (Google Earth) también se puede verificar que hubo un cambio drástico en el terreno, el estudio que se plantea en la tesis es cuantificar la velocidad con la que el deslizamiento va avanzando y obtener los perfiles de cada sector para ver el material deslizado entre octubre 2020 hasta noviembre 2021.

Con el análisis de imágenes satelitales también pudimos ver que el cauce del río pre deslizamiento recorría por el trazo blanco y con el paso del tiempo debido al material deslizado el cauce del río ha sido afectado cubriendo toda el área pintada en la Figura x pudiendo causar desbordes en periodos de avenida máxima.



Figura N 28: Área del cauce obstruida por el deslizamiento

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Generalidades

El dron utilizado para la toma de datos de la presente investigación es de la marca Wingtra, modelo WingtraOne GEN II.

Las siguientes tablas muestran las características del dron y sus especificaciones técnicas de la cámara.

Tabla 7: Características del dron

Características	
Tipo de dron	Despegue y aterrizaje vertical sobre la cola VTOL
Máximo peso al despegar	4,5 kg
Peso (vacío)	3,7 kg
Envergadura del ala	125 cm
Dimensiones del WingtraOne	125x68x12 cm
Capacidad de la batería	Dos baterías de 99 Wh
Tipo de batería	Ion-litio

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8: Especificaciones técnicas

Carga útil	Despegue altitud sobre el nivel del mar	Tiempo máximo de vuelo	Velocidad crucero	Máximo cobertura con GSD de 3 cm/px	Máximo viento sostenido
RX1R II	0 - 500 m	54 min	16 m/s	400 ha	12 m/s
	0 - 1640 ft		36 mph	990 ac	
RX1R II	2000 m	42 min	18 m/s	350 ha	43 km/h
	6560 ft		40 mph	860 ac	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9: Especificaciones técnicas de la cámara

Especificaciones técnicas	
Sony Rx1R II	42 MP, sensor completo, lente de 35 mm, configuración nadir
Peso de carga útil	590 g
GSD más bajo posible	0,7 cm/px
Precisión absoluta horizontal con PPK	hasta 1 cm
Precisión absoluta vertical con PPK	hasta 3 cm
Tipo de obturador	Obturador de hoja
Píxeles en x	8000
Píxeles en y	5320
Tiempo mínimo de disparo	0.6 s

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.4 Plan de vuelo

Un paso importante, ya que con el software del Wingtra se puede seleccionar la dirección de vuelo para poder optimizar el tiempo de vuelo.

- a) Primero se identifica el área de vuelo en el software Google Earth.
- b) Segundo se traza un polígono.
- c) Tercero se importa el polígono como formato KML.
- d) Cuarto se inicia nuevo vuelo en el software del dron Wingtra.
- e) Quinto se selecciona el punto de inicio de vuelo.
- f) Sexto se configura el porcentaje de superposición de fotos.
- g) Séptimo se configura el GSD.
- h) Octavo se modifica la dirección de vuelo para optimizar el tiempo de vuelo.

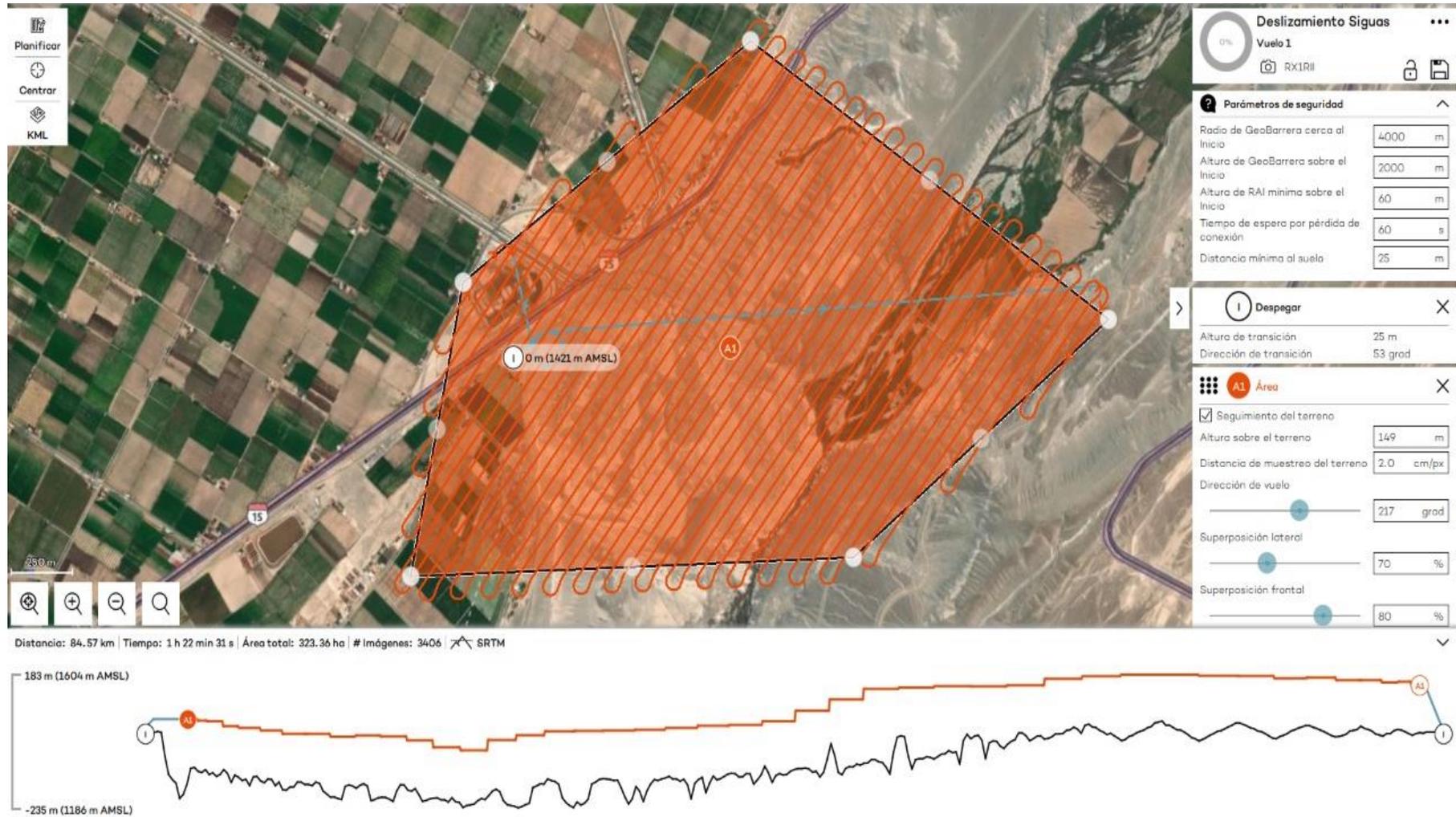


Figura N 29: Plan de vuelo

Fuente: Elaboración propia

a) Área de estudio

El clima en el área de estudio caracteriza a un desierto árido subtropical con precipitaciones máximas de 6 ml/año y relieves abruptos y planos, como llanuras, laderas empinadas (valle), pampas y piso de valle.

Geológicamente, el área de estudio está formada por un substrato compuesto por estratos volcánicos de la Formación Moquegua, Millo; areniscas, arcillas pobremente consolidadas, conglomerados de edades pleistocenas y depósitos cuaternarios. Hidrogeológicamente, estas unidades se consideran acuíferos sedimentarios y acuíferos porosos no consolidados.

Es un área de zona agrícola la cual no tuvo un control con su sistema de regadío por lo que la superficie freática se eleva haciendo que la presión de poros aumente produciendo el deslizamiento.

b) Área cubierta

En la siguiente figura se muestra el área de influencia del deslizamiento por colores, siendo el color rojo el más afectado.

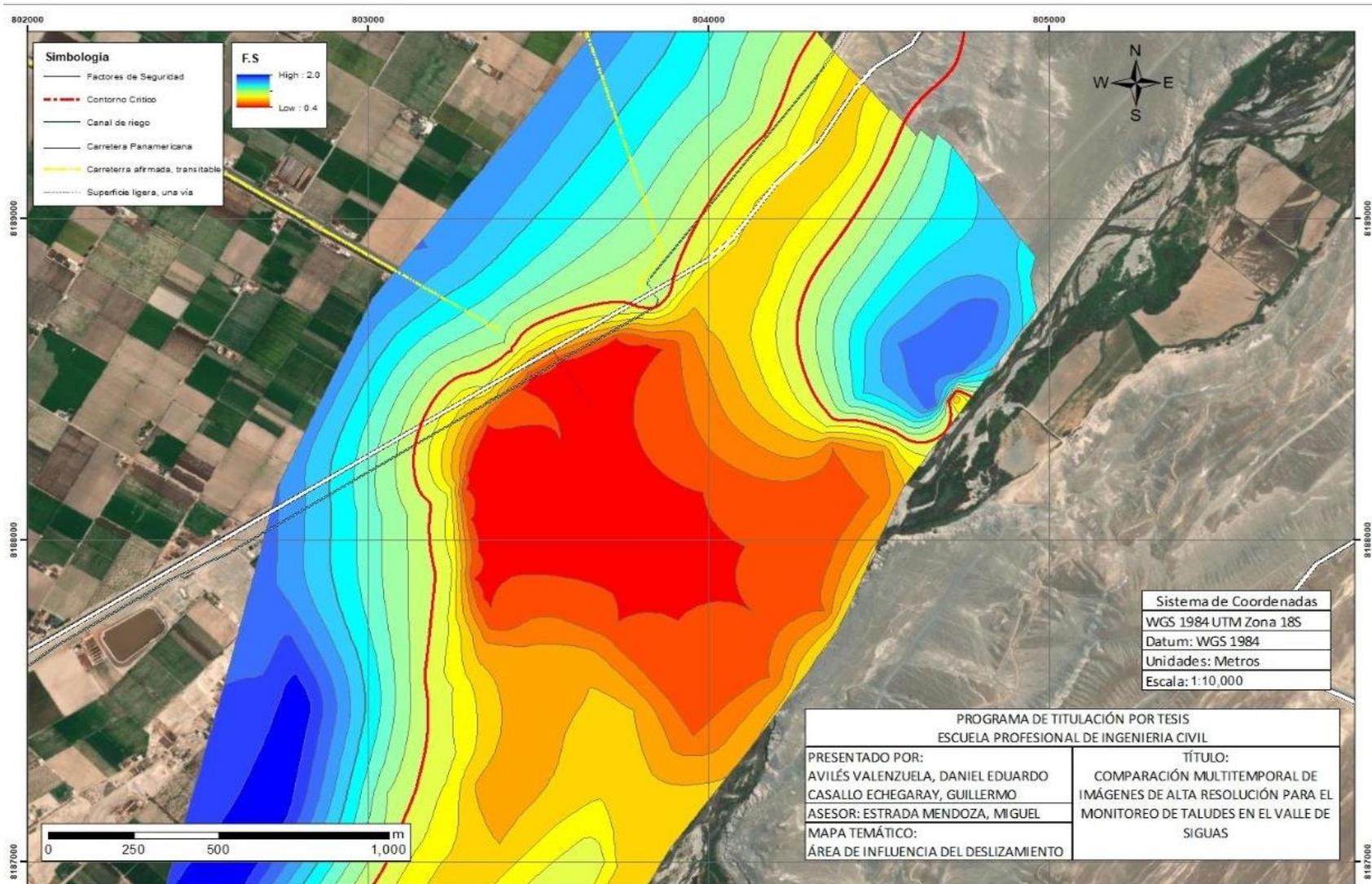


Figura N 30: Área de influencia del deslizamiento

Fuente: Elaboración propia

c) Fecha de los vuelos

En la siguiente tabla se especifica las fechas en las que han sido tomadas las imágenes en sus respectivos vuelos de dron.

Tabla 10: Especificaciones técnicas de la cámara

	Fechas
Vuelo 1	Octubre 2020
Vuelo 2	Marzo 2021
Vuelo 3	Julio 2021
Vuelo 4	Noviembre 2021

Fuente: Elaboración Propia.

5.2 Presentación de resultados

5.2.1 Generación de modelos digitales del terreno

El procesamiento de las imágenes obtenidas a través del vuelo de dron se realiza mediante algún software de procesamiento de vuelo de drones dando como resultado del Modelo Digital de Elevaciones (DEM), el cual nos ayuda a obtener el perfil del terreno y así hacer la comparación.

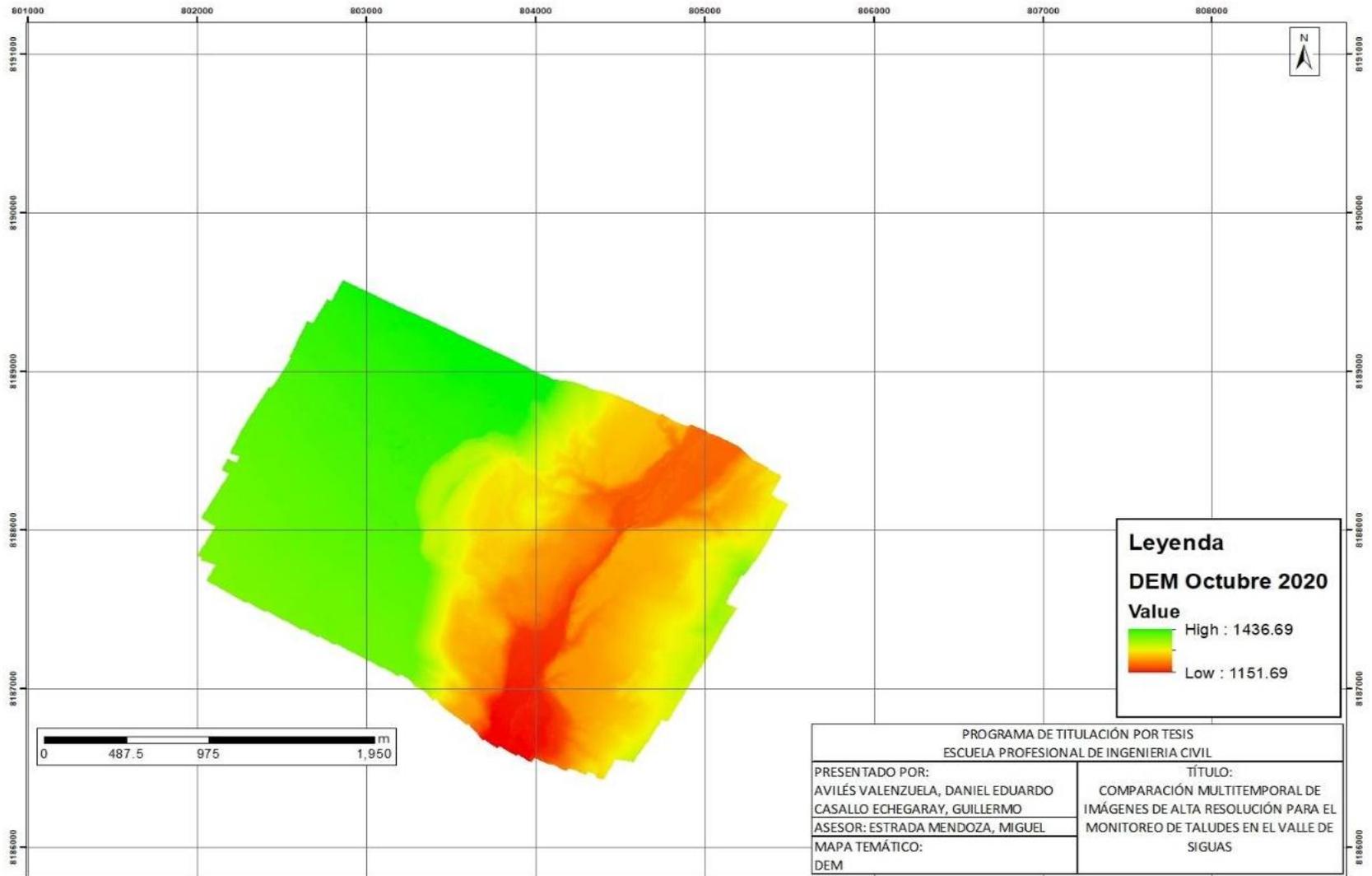


Figura N 31: DEM Sigüas - Octubre 2020

Fuente: Elaboración propia

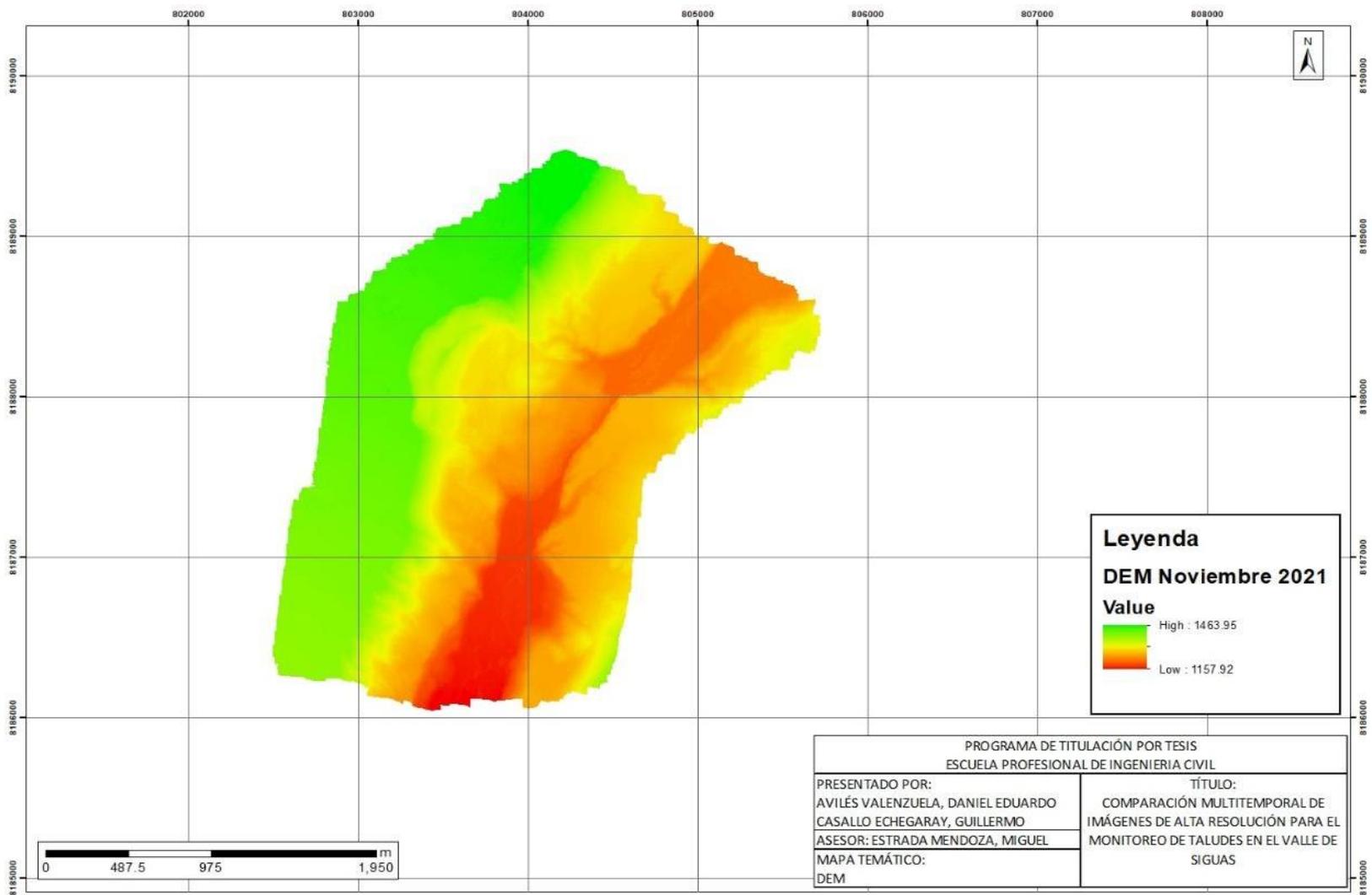


Figura N 32: DEM Siguas - Noviembre 2021

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Spatial Reference del DEM - Octubre 2020

SPATIAL REFERENCE	
Projected coordinate	WGS 1984 UTM Zone
System	18S
Projection	Transverse Mercator
WKID	32718
Authority	EPSG
Linear Unit	Meters (1.0)
False Easting	500000
False Northing	10000000
Central Meridian	-75
Scale Factor	0.9996
Latitude Of Origin	0

Geographic Coordinate

System	WGS 1984
WKID	4326
Authority	EPSG
Angular Unit	Degree
Prime Meridian	Greenwich
Datum	D WGS 1984
Spheroid	WGS 1984
Semimajor Axis	6378137
Semiminor Axis	6356752.314
Inverse Flattering	298.2572

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12: Raster Information del DEM - Octubre 2020

RASTER INFORMATION	
Columns	30631
Rows	28070
Cell Size x	0.173481
Cell Size y	0.173481
Uncompressed Size	3.2 GB
Format	TIFF
Source Type	Generic
Pixel Type	floating point
Pixel Depth	32 bit
NoData Value	-32767
Colormap	absent
	levels: 7, resampling:
Pyramids	Nearest Neighbor
Compression	LZW
Mensuration capabilities	Basic

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13: Spatial Reference del DEM - Noviembre 2021

SPATIAL REFERENCE	
Projected coordinate	WGS 1984 UTM Zone
System	18S
Projection	Transverse Mercator
WKID	32718
Authority	EPSG
Linear Unit	Meters (1.0)
False Easting	500000
False Northing	10000000
Central Meridian	-75
Scale Factor	0.9996
Latitude Of Origin	0

Geographic Coordinate	
System	WGS 1984
WKID	4326
Authority	EPSG
Angular Unit	Degree
Prime Meridian	Greenwich
Datum	D WGS 1984
Spheroid	WGS 1984
Semimajor Axis	6378137
Seminor Axis	6356752.314
Inverse Flattening	298.2572

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14: Raster Information del DEM, Noviembre 2021

RASTER INFORMATION	
Columns	34729
Rows	37190
Cell Size x	0.151072
Cell Size y	0.151072
Uncompressed Size	4.81 GB
Format	TIFF
Source Type	Generic
Pixel Type	floating point
Pixel Depth	32 bit
NoData Value	-32767
Colormap	absent
Pyramids	levels: 8, resampling: Nearest Neighbor
Compression	LZW
Mensuration capabilities	Basic

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2 Comparación de perfil en cada sección

Para poder monitorear de una forma óptima se seccionó el área en cinco áreas, creando Shapefiles utilizando el software ArGis Pro.

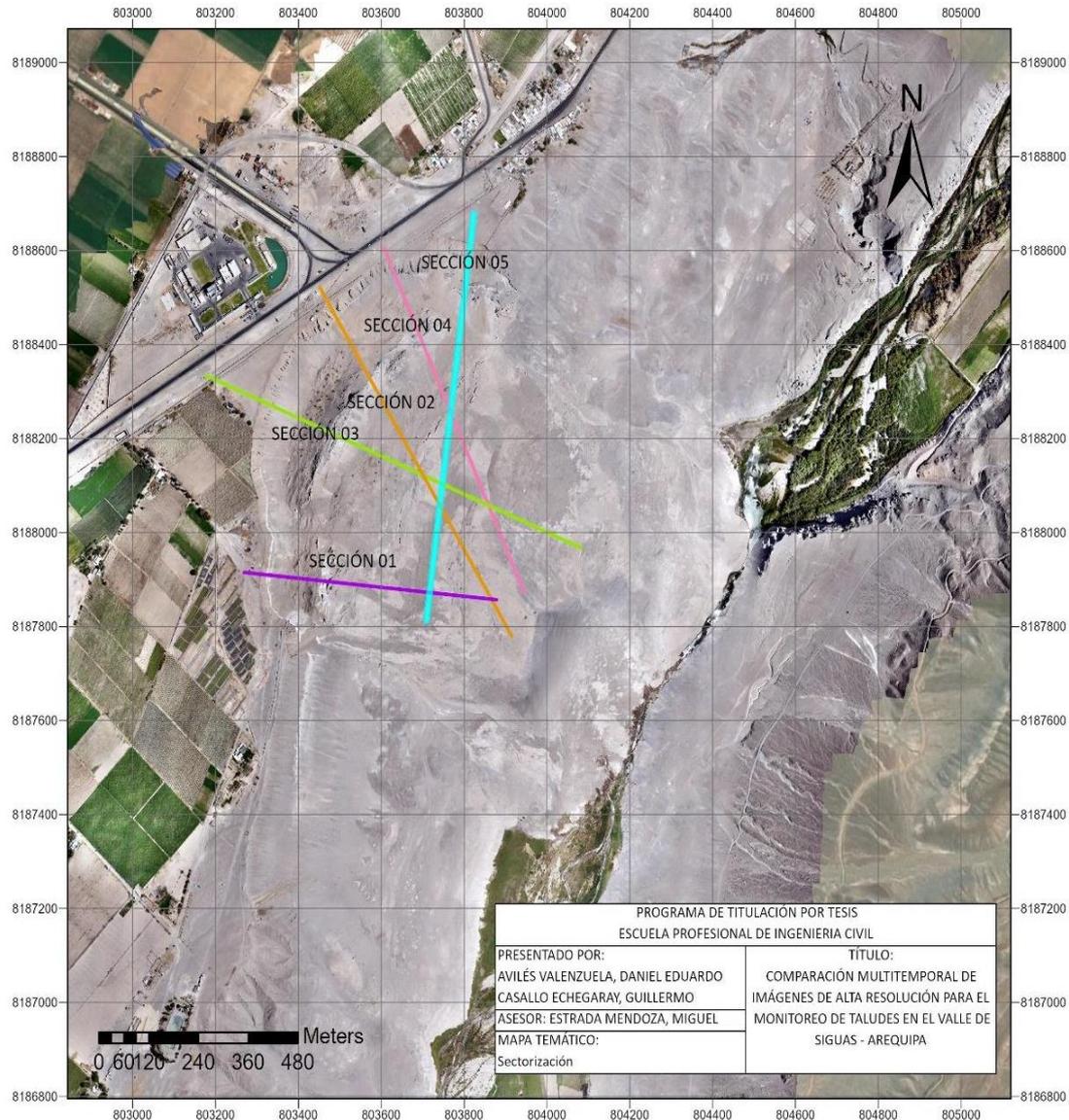


Figura N 33: Secciones

Fuente: Elaboración propia

Con las secciones se convierte a local scene para poder analizar en 3D.

Con la opción Exploratory 3D Analysis se obtiene el Elevation Profile de cada sección y por último se exporta en formato CSV para comparar entre secciones del DEM de octubre 2020 y noviembre 2021.

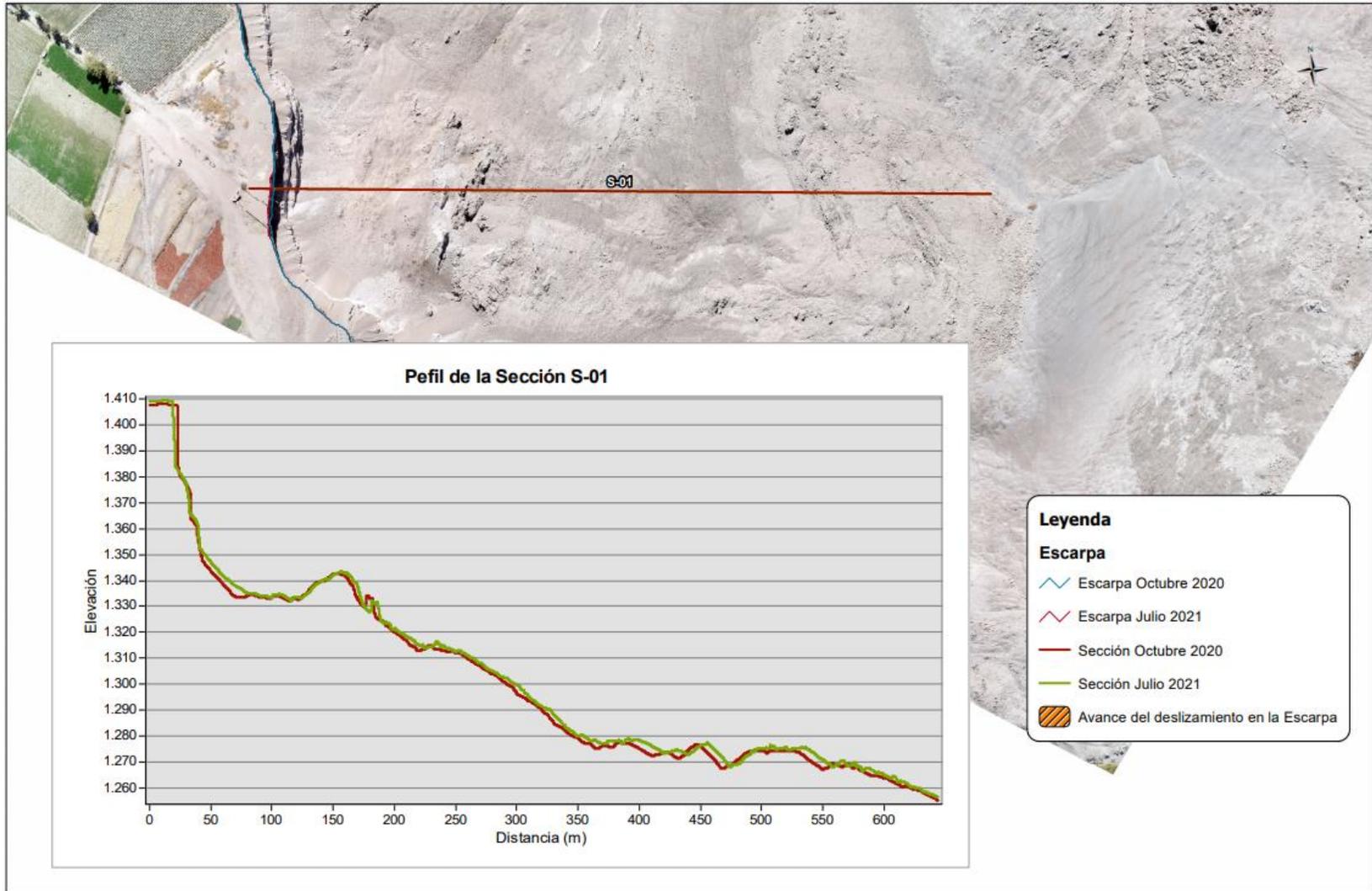


Figura N 34: Perfil de sección, 01 Octubre 2020 – Julio 2021

Fuente: Elaboración propia

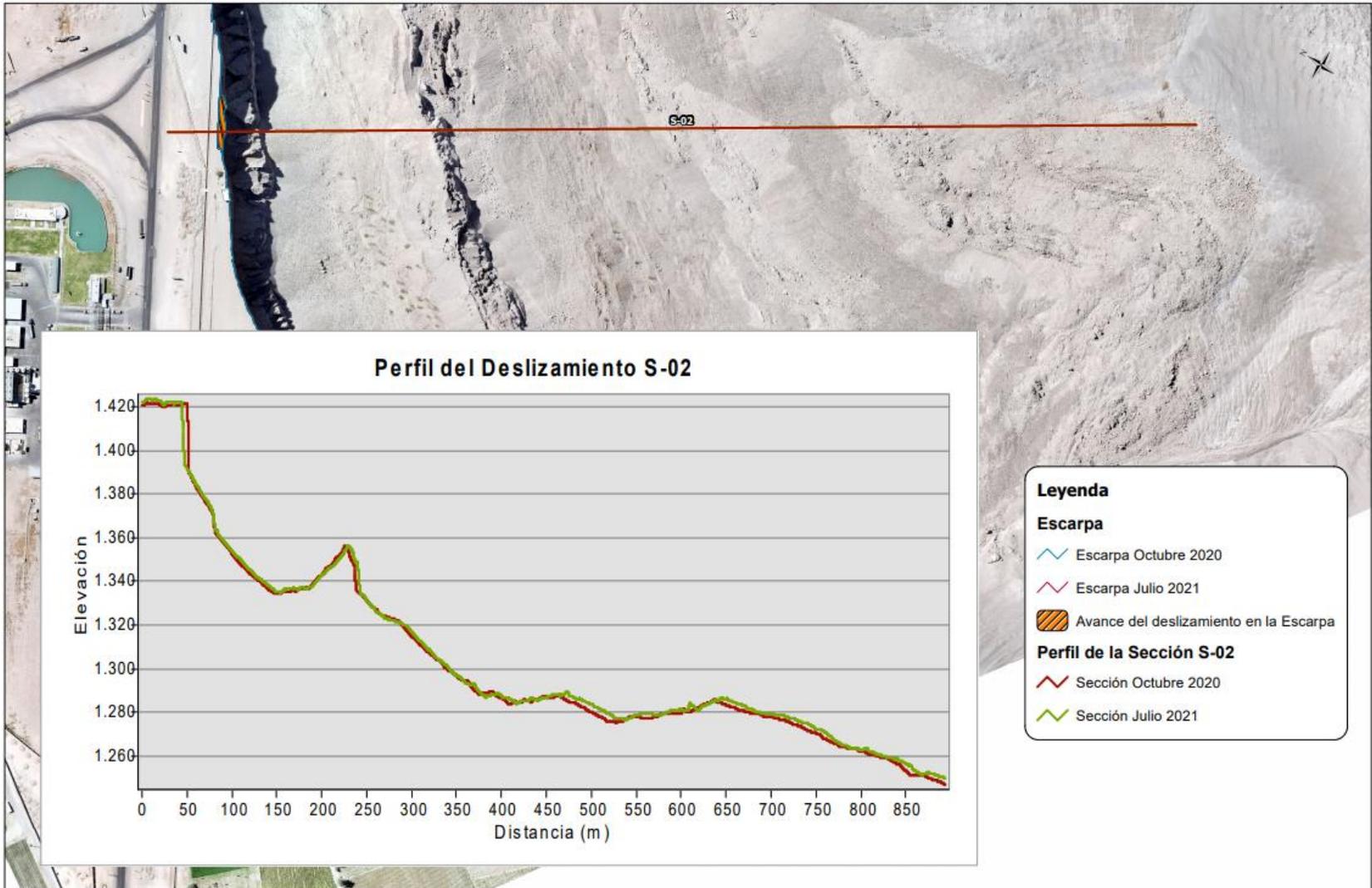


Figura N 35: Perfil de sección 02, Octubre 2020 – Julio 2021

Fuente: Elaboración propia

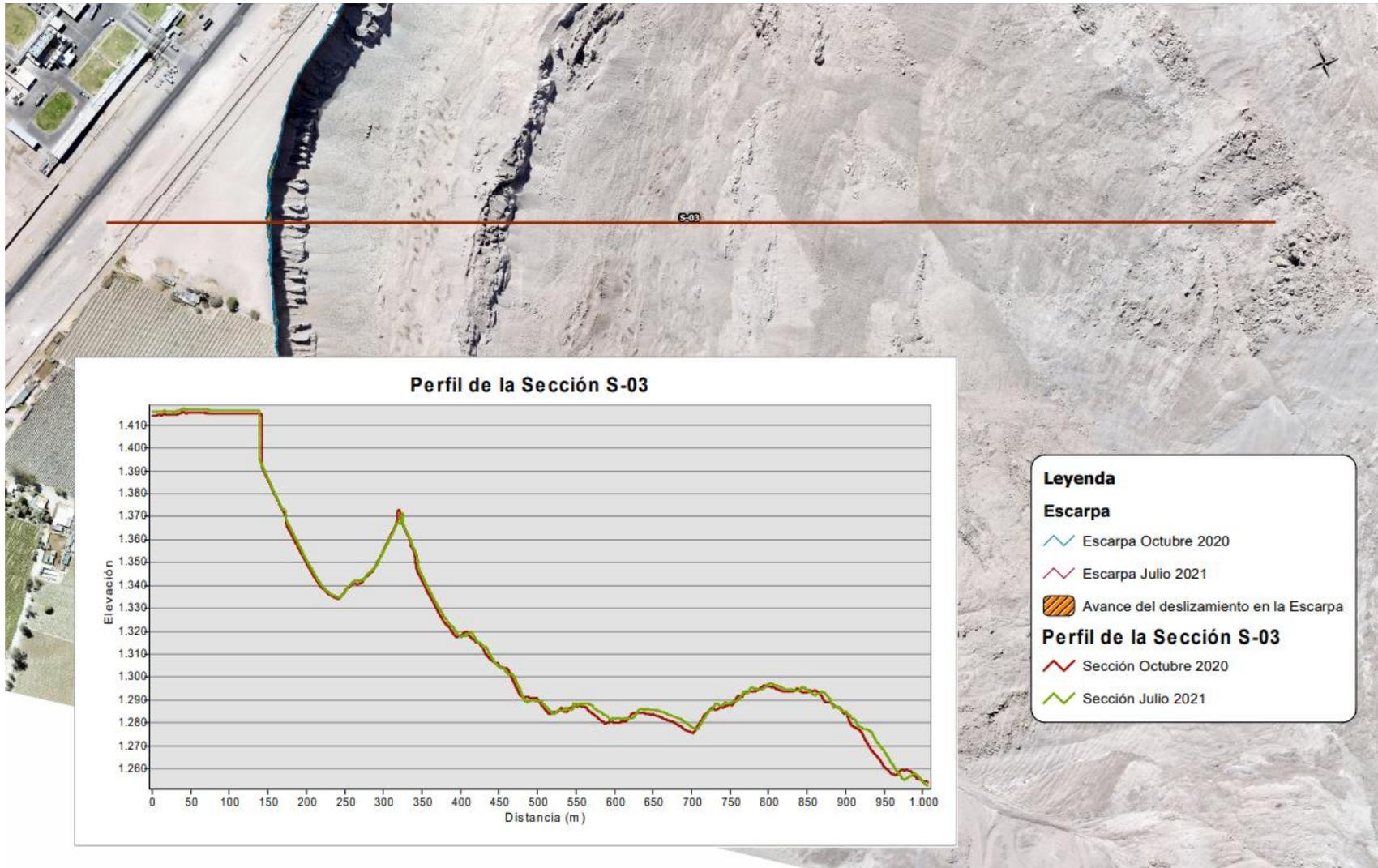


Figura N 36: Perfil de sección 03, Octubre 2020 – Julio 2021

Fuente: Elaboración propia

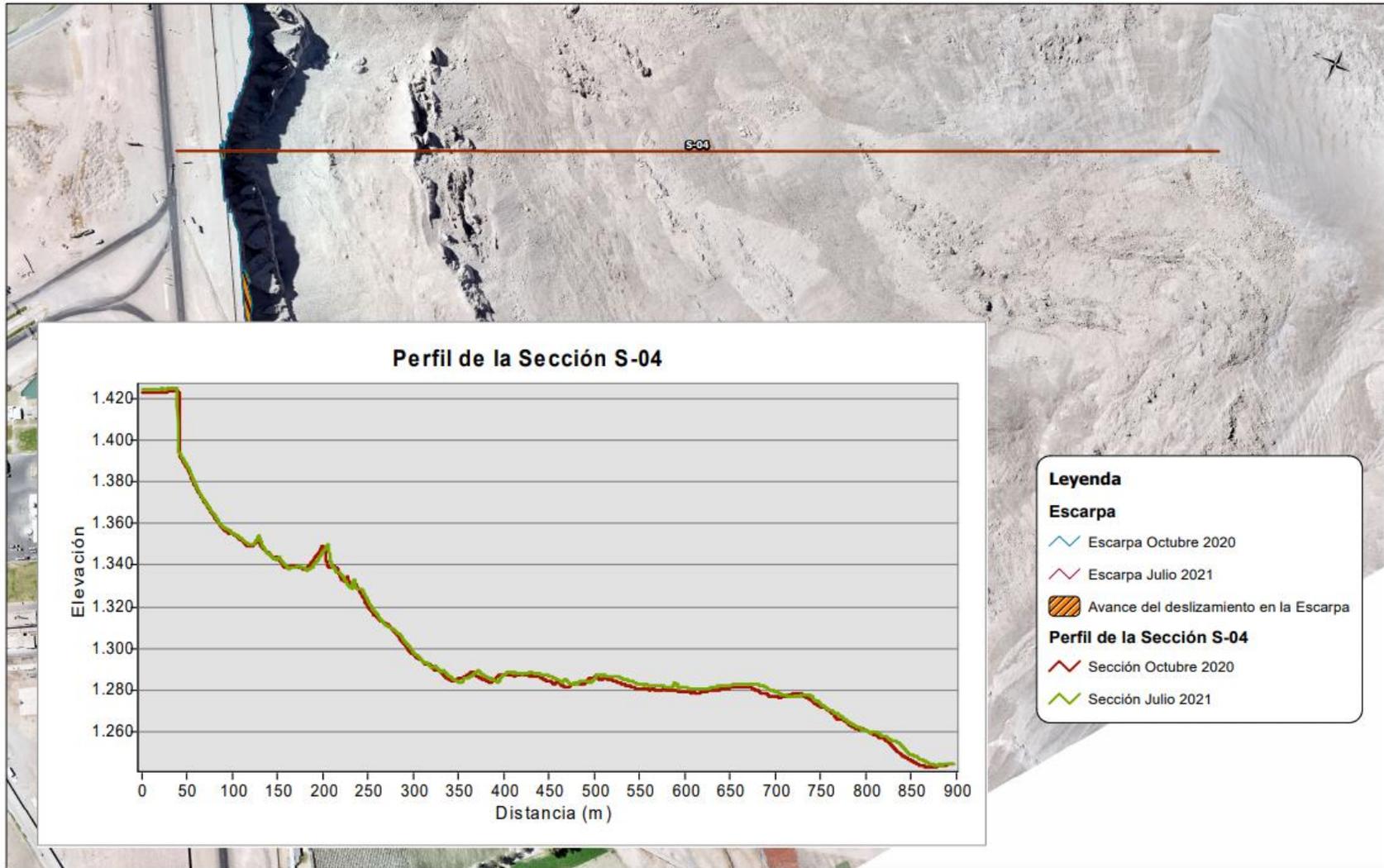


Figura N 37: Perfil de sección 04, Octubre 2020 – Julio 2021

Fuente: Elaboración propia

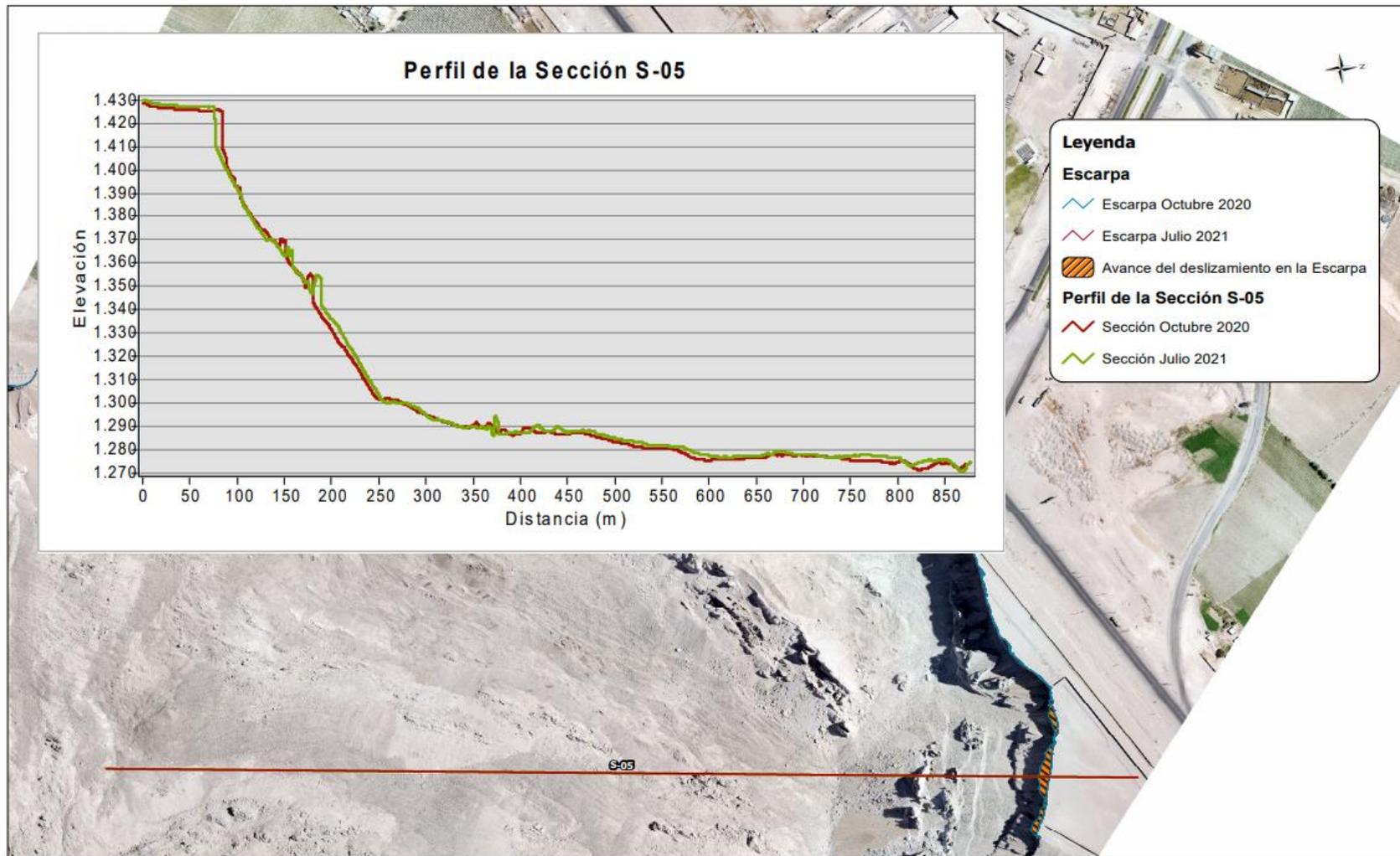


Figura N 38: Perfil de sección 05, Octubre 2020 – Julio 2021

Fuente: Elaboración propia

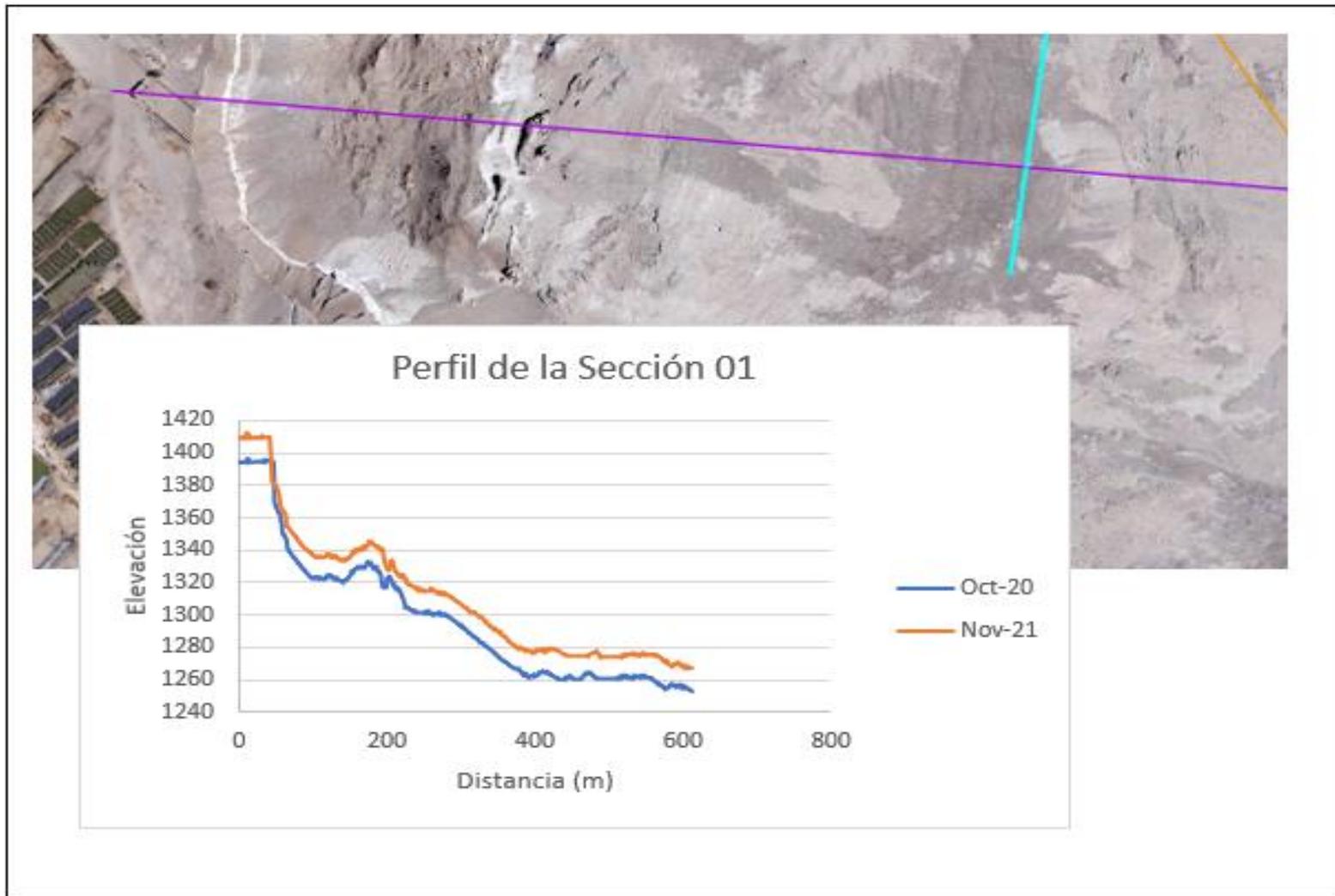


Figura N 39: Perfil de sección 01, Octubre 2020 – Noviembre 2021

Fuente: Elaboración propia

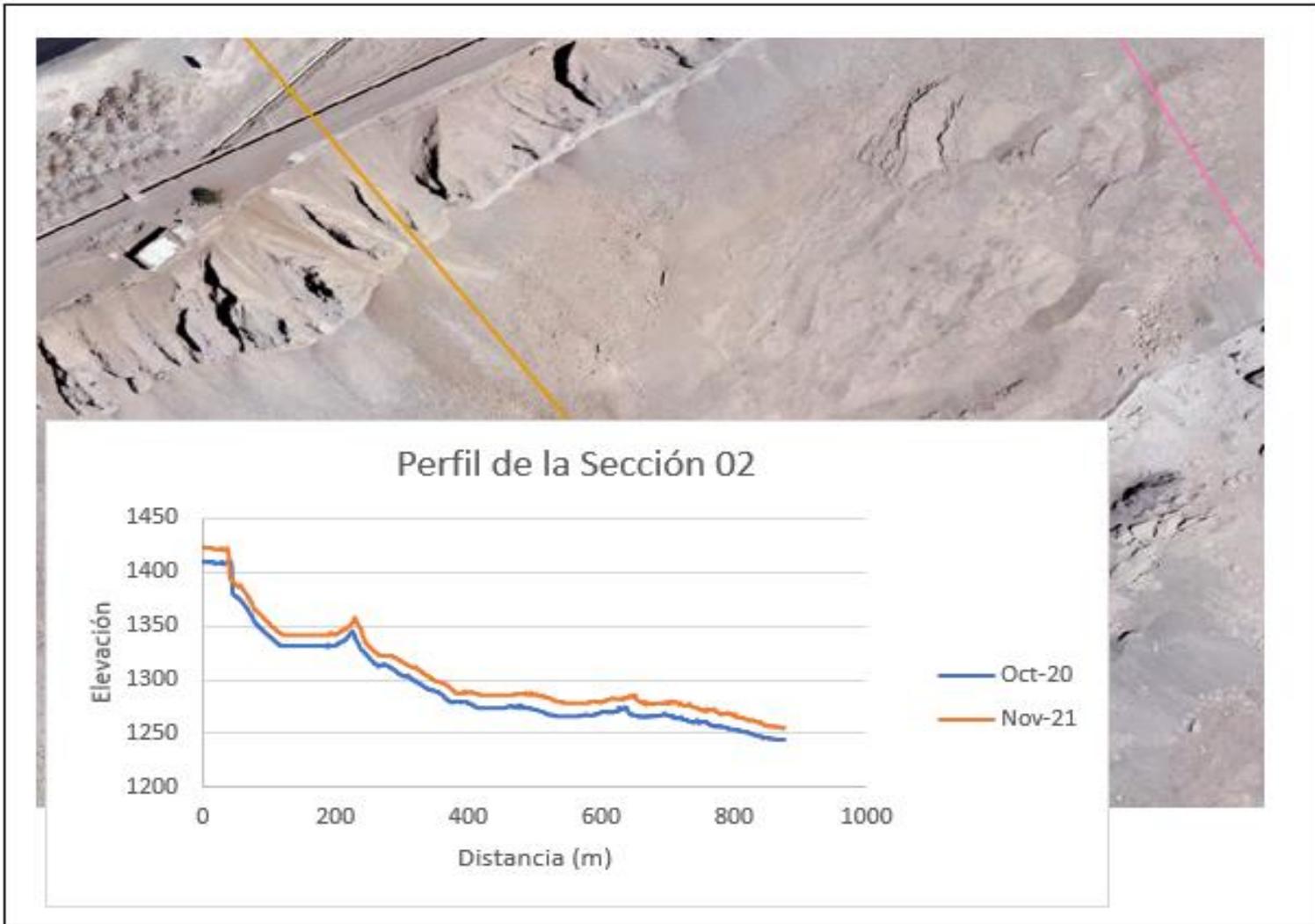


Figura N 40: Perfil de sección 02, Octubre 2020 – Noviembre 2021

Fuente: Elaboración propia

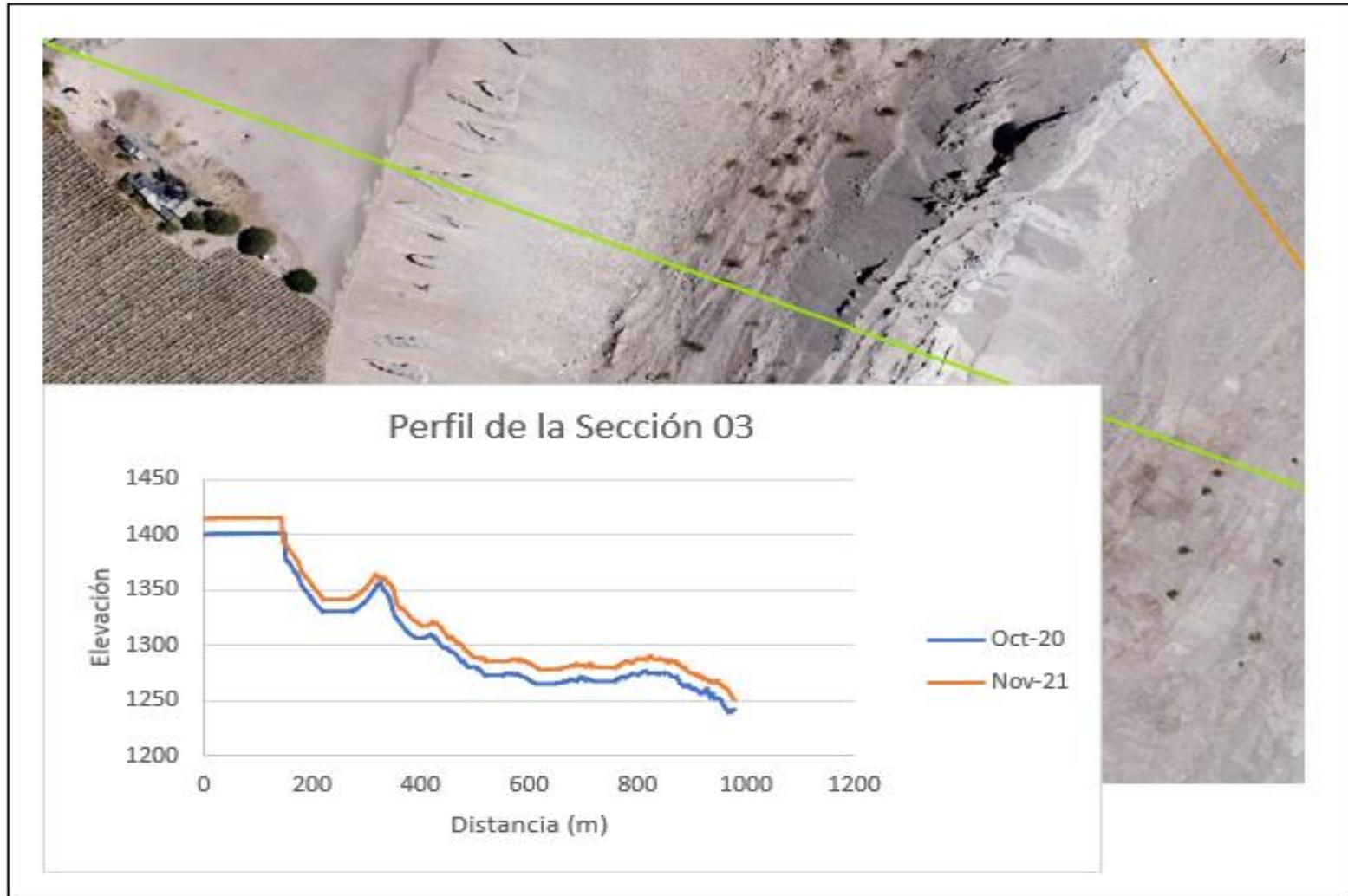


Figura N 41: Perfil de sección 03, Octubre 2020 – Noviembre 2021

Fuente: Elaboración propia

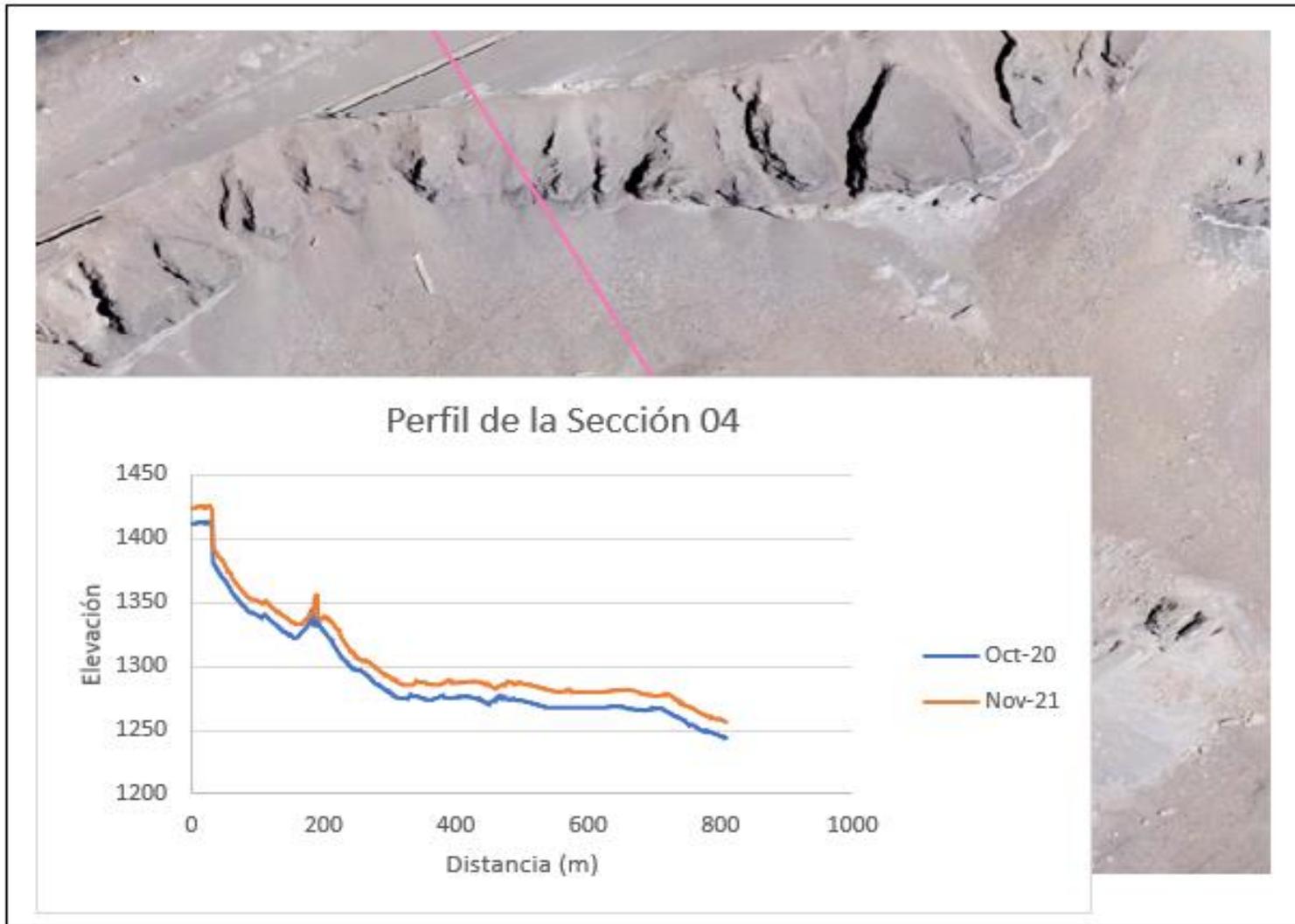


Figura N 42: Perfil de sección 04, Octubre 2020 – Noviembre 2021

Fuente: Elaboración propia

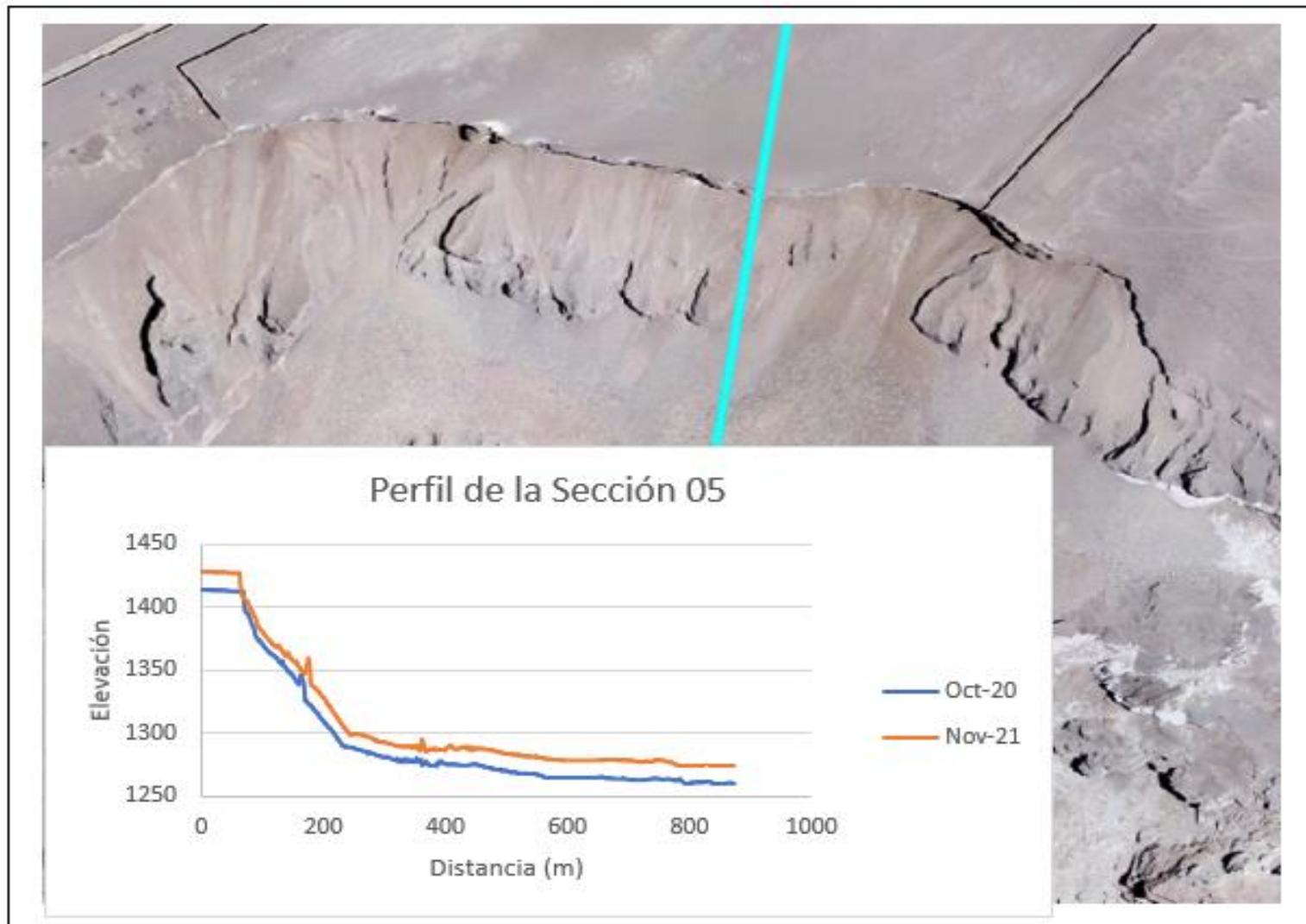


Figura N 43: Perfil de sección 05, Octubre 2020 – Noviembre 2021

Fuente: Elaboración propia

Realizada la comparación multitemporal a lo largo de las secciones se nota las diferencias de las alturas obtenidas a través del procesamiento de las imágenes del dron esto debido a que el material deslizado va acumulándose en la parte de abajo.

Tabla 15: Análisis de perfiles, Octubre 2020 y Noviembre 2021

Análisis de perfil	
Sección	Diferencia de cota (m)
1	6.854264683
2	11.38903809
3	13.28040587
4	11.42095702
5	17.8326909

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3 Comparación de ortofotos para el análisis de velocidad

Después de obtener el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), se procesa con algún software de procesamiento de vuelo de drones para obtener la ortofoto, con la cual se podrá hacer la comparación de coordenadas de cada ortofoto para obtener la velocidad con la que se desliza el talud.

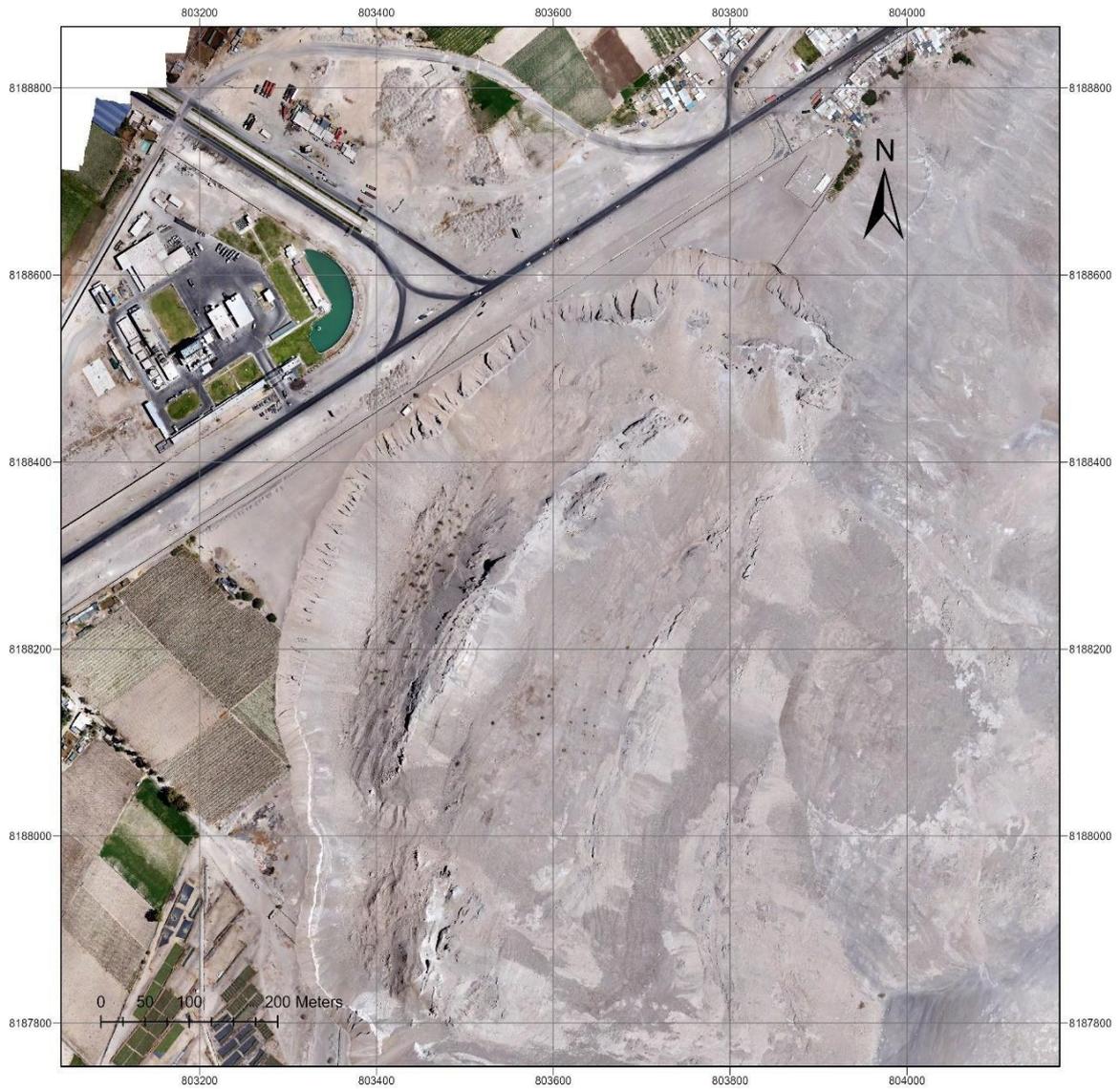


Figura N 44: Ortofoto - Octubre 2020

Fuente: Elaboración propia



Figura N 45: Ortofoto - Marzo 2021

Fuente: Elaboración propia

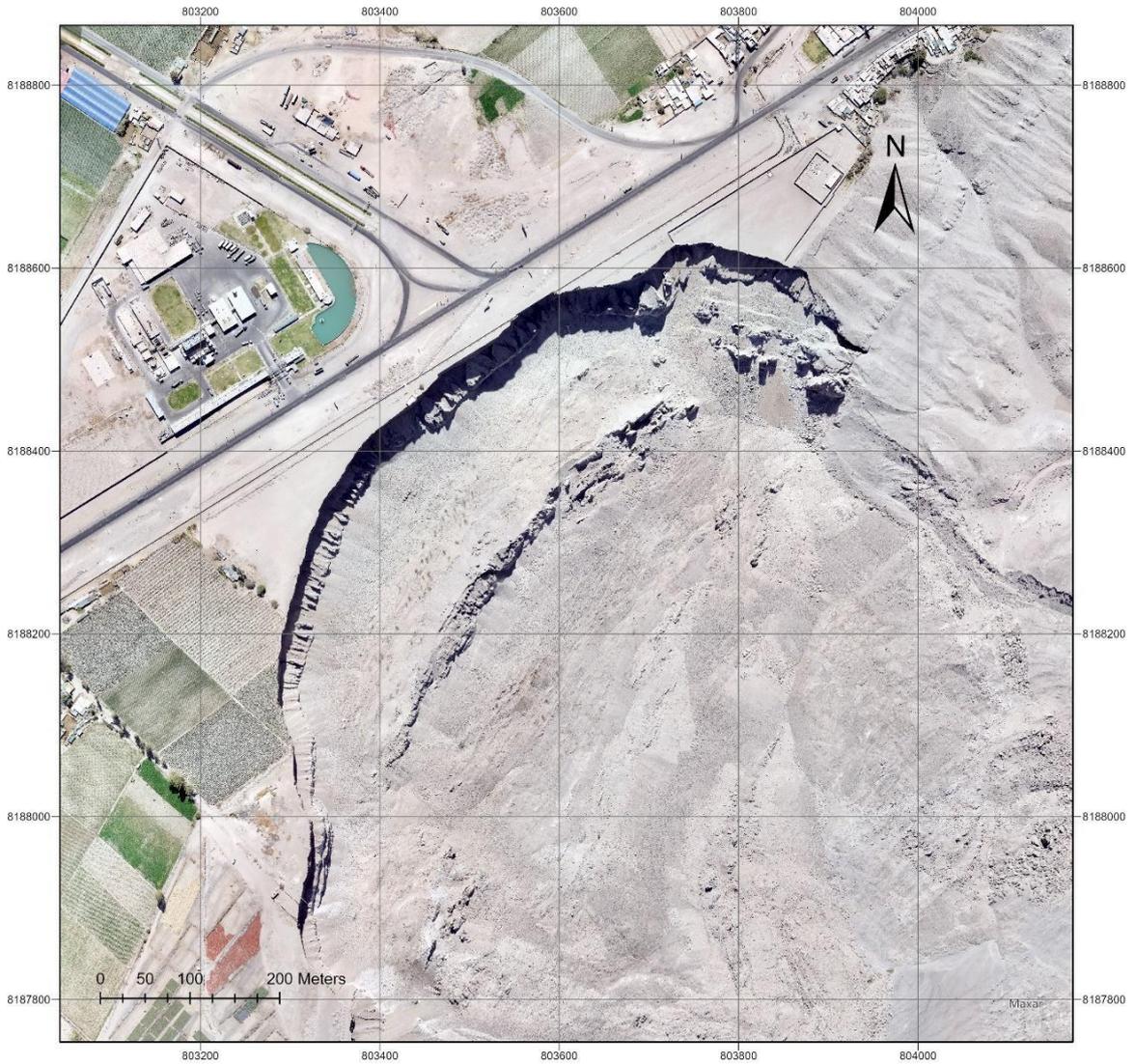


Figura N 46: Ortofoto - Julio 2021

Fuente: Elaboración propia

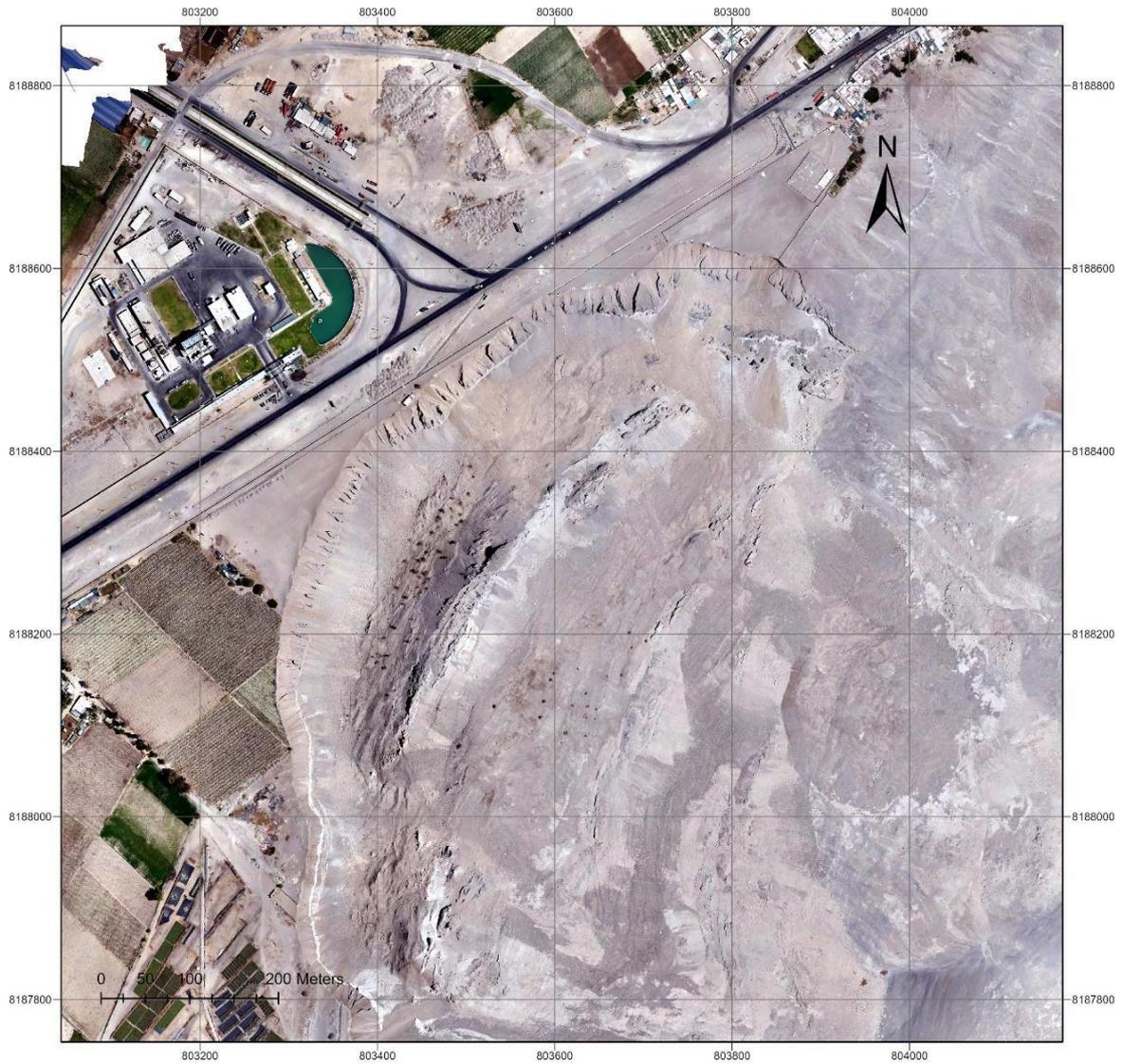


Figura N 47: Ortofoto - Noviembre 2021

Fuente: Elaboración propia

a) Puntos de control

Para poder determinar con mayor precisión la velocidad en la que el deslizamiento avanza se han tomado tres puntos de control, las cuales se detallan en la Figura x.



Figura N 48: Puntos de control

Fuente: Elaboración propia

b) Círculo rojo, punto de control 1, octubre 2020



Figura N 49: Punto de control 1

Fuente: Elaboración propia

c) Cuadrado verde, punto de control 1, noviembre 2021



Figura N 50: Punto de control 1

Fuente: Elaboración propia

d) Círculo rojo, punto de control 2, octubre 2020



Figura N 51: Punto de control 2

Fuente: Elaboración propia

e) Cuadrado verde, punto de control 2, noviembre 2021



Figura N 52: Punto de control 2

Fuente: Elaboración propia

f) Círculo rojo, punto de control 3, octubre 2020



Figura N 53: Punto de control 3

Fuente: Elaboración propia

g) Cuadrado verde, punto de control 3, noviembre 2021

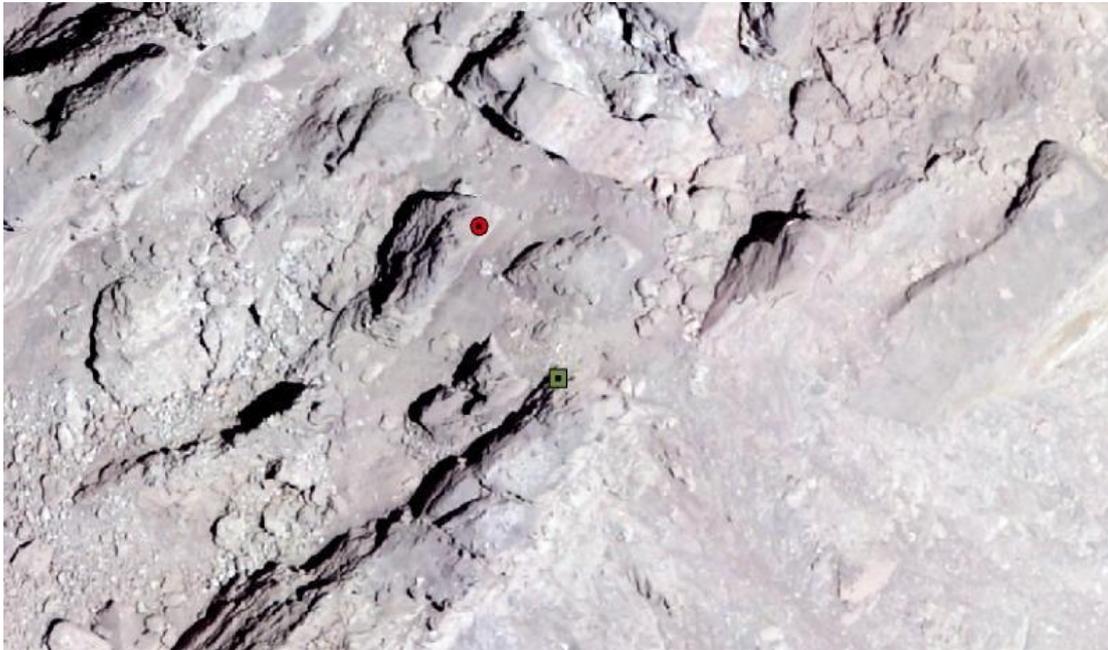


Figura N 54: Punto de control 3

Fuente: Elaboración propia

Con la ayuda del programa ArcGis Pro se calcula la geometría de los puntos de control previamente añadiendo las casillas de coordenada x y coordenada y.

Tabla 16: Coordenadas de los puntos de control

Punto de control	Coordenadas	
	x	y
1	803710.185	8188469.22
1	803711.946	8188467.68
2	803711.879	8188500.72
2	803712.255	8188498.73
3	803715.435	8188438.24
3	803718.431	8188432.76

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante la ecuación de Pitágoras:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Se puede calcular la distancia entre los dos puntos control.

Tabla 17: Distancia calculada entre puntos de control

Punto de control	Distancia
1	2.34052929
2	2.0214945
3	6.24263104

Fuente: Elaboración Propia.

La diferencia de tiempo entre vuelos es de 399 días, por lo tanto, la velocidad calculada del deslizamiento es:

Tabla 18: Velocidad de deslizamiento calculado entre puntos de control.

Velocidad m/día
0.00586599
0.0050664
0.01564569

Fuente: Elaboración Propia.

Con estas velocidades obtenidas podemos confirmar que el talud sigue deslizándose pudiendo afectar a la Panamericana Sur.

5.3 Alternativas de solución

Se propone algunas alternativas de solución para el deslizamiento de Siguas.

Como alternativa 1 se construirá un muro de contención para tener una solución en corto plazo.



Figura N 55: Alternativa 1 (muro de contención)

Fuente: Elaboración propia

Alternativa 2, cambio de eje de la carretera Panamericana Sur, se encuentra ubicada entre los distritos de Majes y San Juan de Sigüas, en la región de Arequipa; con altitud entre 1380 msnm (progresiva Km 0+000) a 1445 msnm (progresiva Km 5+319.304).

- Longitud: 5.32 Kilómetros
- Longitud en superficie: 3.47 Kilómetros
- N° de Puentes: 1
- Longitud de Puentes: 1,850 metros en total
- N° de Túneles: 0
- Longitud de Túneles: 0 metros en total



Figura N 56: Alternativa 2 (cambio de eje)

Fuente: Elaboración propia

Alternativa 3, se consideran los siguientes tramos, el primer tramo se ubica por varios km la pampa de Majes, en una zona de cultivos, y solo en los primeros 3-4 km suele

interceptar algunas parcelas, luego sigue por unas vías de acceso y en la zona donde se ubican los puentes se presentan muchas cárcavas, así como depósitos coluviales (ladera derecha del río Siguas en donde aflora las formaciones de Millo y Moquegua).

- Longitud: 15.99 Kilómetros
- Longitud en superficie: 14.51 Kilómetros
- N° de Puentes: 4
- Longitud de Puentes: 767 metros en total
- N° de Túneles: 3
- Longitud de Túneles: 710 metros en total

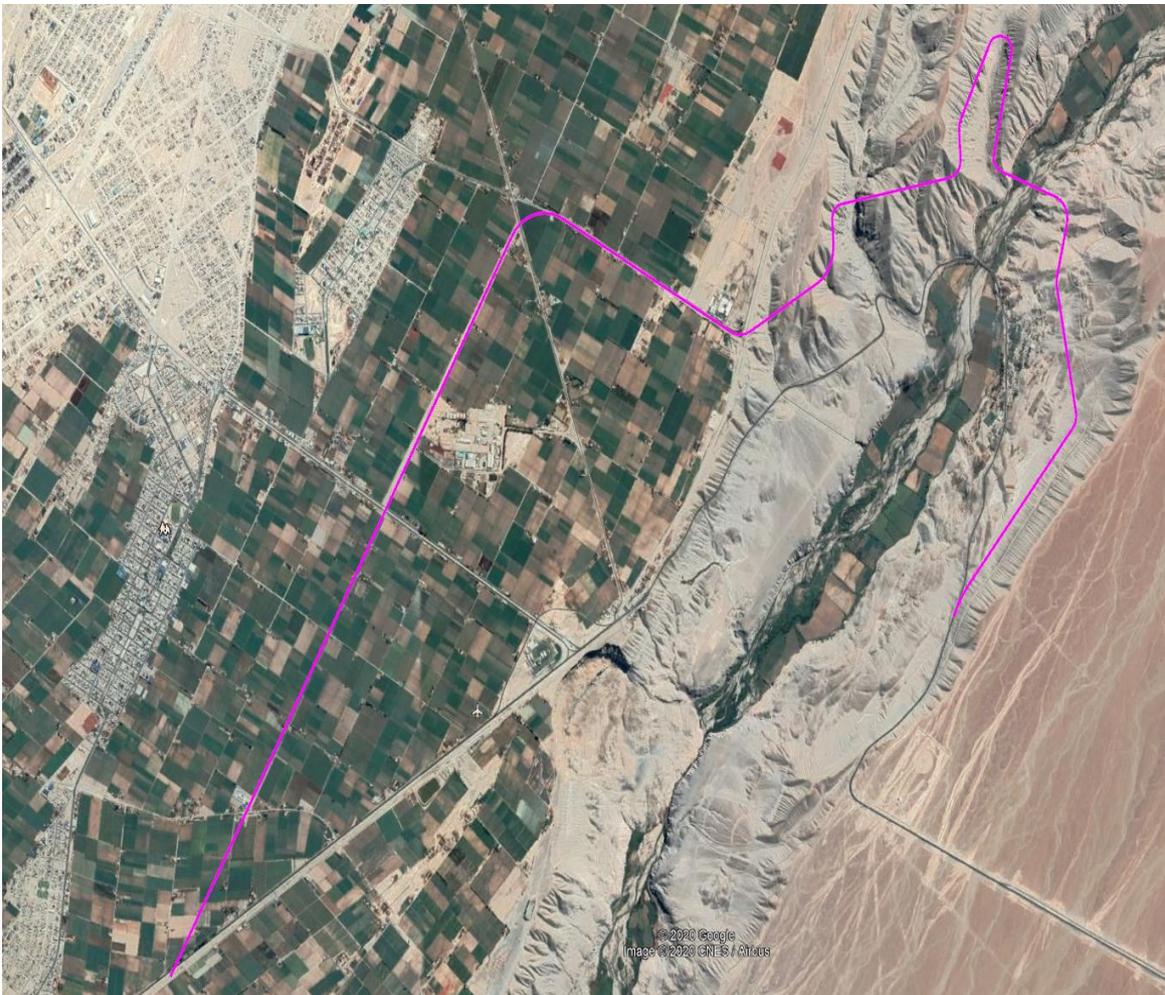


Figura N 57: Alternativa 3 (cambio de eje)

Fuente: Elaboración propia

5.4 Contrastación de hipótesis

Hipótesis General:

La comparación multitemporal de imágenes de alta resolución de taludes en acantilados permite significativamente el monitoreo de la estabilidad en el Valle de Sigüas.

H.1: El plan de vuelo permite la toma de fotografías en un dron de ala fija, ya que sin un plan de vuelo el dron no tiene información de la orientación de vuelo, porcentaje de traslape, Ground Sample Distance (GSD), área de vuelo, haciendo posible la toma de fotografías aéreas como se pudo ver en el capítulo cinco y los resultados se muestran en la página cincuenta.

H.2: El procesamiento de las fotografías aéreas permite la generación de modelos digitales del terreno DTM, dado a que las imágenes obtenidas del vuelo de dron con coordenadas se procesan con un modelo digital de terreno de 2 cm/px como se muestra en la página cincuenta.

H.3: La comparación multitemporal de DTM's permitió el análisis y el cálculo de la velocidad del deslizamiento para la identificación de nuevos sectores en peligro, ya que con las ortofotos y los perfiles longitudinales se pudo contrastar numérica y gráficamente el material desplazado que en la tabla número 18 se ve las tres velocidades calculadas para el talud.

CONCLUSIONES

1. La comparación multitemporal de imágenes de alta resolución permite el monitoreo de estabilidad de taludes ya que las imágenes de alta resolución proporcionan miles de puntos con coordenadas, las cuales pueden ser comparadas con otra imagen de alta resolución de otra fecha observando si habría un cambio o no. Adicionalmente del análisis multitemporal de imágenes de alta resolución se tienen que tener otros estudios como el de geología. Ante ello, la hipótesis general planteada es afirmativa.
2. Los planes de vuelo permiten la toma de fotografías en un dron de ala fija, ya que un plan de vuelo permite tener información del área de vuelo, optimiza el tiempo de vuelo estableciendo una dirección de vuelo, se establecen las coordenadas geográficas del área de estudio, por lo tanto, se hace posible la correcta toma de datos con las fotografías aéreas. Con ello, se puede concluir que la primera hipótesis específica planteada es correcta.
3. El procesamiento de las fotografías aéreas permite la generación de DTM, ya que es indispensable el procesamiento con algún software de procesamiento de vuelo de drones, la cual genera una nube de puntos para obtenerlos DTM y DEM y por último la ortofoto. Por tanto, se puede determinar que la segunda hipótesis específica planteada es afirmativa.
4. La comparación multitemporal de DTM's permite el análisis y el cálculo de la velocidad del deslizamiento para la identificación de nuevos sectores en peligro, ya que para la comparación multitemporal se necesitan las ortofotos que tienen las coordenadas geográficas exactas, los perfiles longitudinales del área de estudio en diferentes fechas, y además puntos de control para contrastar numérica y gráfica el material desplazado como se puede observar en el capítulo cinco páginas 78 y 79. Con las velocidades obtenidas podemos confirmar que el talud sigue deslizándose pudiendo afectar a la Panamericana Sur.
Por ende, se puede concretar que la tercera hipótesis específica planteada es positiva.

5. Los estudios realizados en el talud El Alto ubicado en Sigwas- Arequipa demuestran que sigue deslizándose a una velocidad promedio de 0.007 m/d, comprometiendo en un futuro la carretera Panamericana Sur y la planta de leche Gloria como se puede apreciar en el mapa de influencia del deslizamiento figura número 26 página 52, añadiendo que todo el material deslizado va obstruyendo el cauce del río.

6. Con la ayuda de las herramientas geomáticas se procesó la información geoespacial que ayuda a calcular la diferencia de cotas en los perfiles de cada sector cuantificando el material deslizado desde octubre del año 2020 hasta noviembre del año 2021, teniendo como sector con más material deslizado el sector 5 con 17.8 m de diferencia a una distancia de 200 m en el eje x.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar los vuelos temprano por la mañana ya que por la tarde comienzan los fuertes vientos que generan polvo y pueden influir en la calidad de la imagen.
2. Se recomienda el uso de nuevas tecnologías, como el caso del dron, ya que es una herramienta muy útil para levantar datos en mes tiempo y dinero a comparación de otras herramientas.
3. Se recomienda el estudio de diferentes ramas como la geología para determinar si un talud es inestable, ya que con el estudio que se ha realizado de comparación multitemporal de imágenes de alta resolución se monitorea con datos previos y se puede hacer un cálculo de un futuro, pero depende de otros factores también.
4. Como aporte académico se realizó tres alternativas de solución para la población como el reforzamiento del talud y cambio de ejes.

Alameda, P. (2014). *Aplicación de nuevas metodologías de adquisición de datos para el análisis de estabilidad de taludes: casos de estudio en materiales foliados de la Cordillera Bética*. (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Granada. Recuperado de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/34056>

Bejarano, J. & Palomino, J. (2022). *Análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico y estación total en el diseño geométrico de la carretera de evitamiento progresiva 0+000 al 3+837.26 km – Otuzco, La Libertad, Perú 2021* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Recuperado de https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/9003/1/REP_JOS%C3%89.BEJARANO_JUAN.PALOMINO_LEVANTAMIENTO.FOTOGRAM%C3%89TRICO.pdf

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¿Qué es una estación total y para qué sirve?. (2020, 10 de julio). Instop.
<https://www.instop.biz/blog/que-es-una-estacion-total-y-para-que-sirve/>
- Alameda, P. (2014). *Aplicación de nuevas metodologías de adquisición de datos para el análisis de estabilidad de taludes: casos de estudio en materiales foliados de la Cordillera Bética*. (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Granada. Recuperado de <https://digibug.ugr.es/handle/10481/34056>
- Alonso, L. (2021). *Uso de drones y sensores remotos para el monitoreo de laderas: una revisión* (Tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Cajica. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/39586>
- Bejarano, J. & Palomino, J. (2022). *Análisis comparativo del levantamiento fotogramétrico y estación total en el diseño geométrico de la carretera de evitamiento progresiva 0+000 al 3+837.26 km – Otuzco, La Libertad, Perú 2021* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. Recuperado de https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/9003/1/REP_JOS%C3%89.BEJARANO_JUAN.PALOMINO_LEVANTAMIENTO.FOTOGRAM%C3%89TRICO.pdf
- Cabrera, R. & Escalante, H. (2020). *Mitigación del riesgo y vulnerabilidad sísmica ante eventos por deslizamiento de taludes* (Tesis de Pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Cantero, M. & Pucci, J. (2016). *Proyecto de investigación sobre drones*. Recuperado de <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/6493/PFI%20-%20Cantero-Pucci%20-%20Version%20FINAL%20-%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Claros, R., Guevara, A. & Pacas, N. (2016). *Aplicación de fotogrametría aérea en levantamientos topográficos mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados*. n

(Tesis de Pregrado). Recuperado de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14218/1/50108282.pdf>

Cordero, L. (2017). *Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados* (Tesis de pregrado). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/8668>

Cuerno et al. (2016). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. *Dyna*, 91(3), 282 – 288. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.6036/7781>

Díaz, D. & Vidal, A. (2015). *Evaluación de la estabilidad global del talud superior del km. 17+200 al km 18+600 del proyecto carretera ruta n° 10, tramo: Huamachuco - PUENTE pallar - Juanjui, Sector: Huamachuco - Sausacocha - Puente Pallar* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima. Recuperado de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2370/diaz_dm-vidal_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Díaz, M. (2019). *Aplicación de fotogrametría y termografía aérea como herramientas para la gestión de un tramo de río* (Tesis de postgrado). Universidad de Concepción, Chillán. Recuperado de <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/1154>

Diego, C. (2020). *Contraste metodológico en los MDT realizados con drones* (tesis de pregrado). Universidad de Cantabria, Santander. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/18380>

Dirección de Hidrografía y Navegación. (2020). Normas Técnicas Hidrográficas N° 49 Procedimientos para las Mediciones Topográficas con Sistema Aeronáutico Pilotado a Distancia (RPAS). Recuperado de <https://www.dhn.mil.pe/files/pdf/normas-tecnicas/NormasTecnicasHidrograficasN%C2%B049.pdf>

- Elmer, G. (29 de octubre del 2020). *Cuáles son las diferencias entre un DTM, DEM Y DSM*. GEQ Geographer. <https://geogeq.wixsite.com/geografo/post/cuales-son-las-diferencias-entre-un-dtm-dem-y-dsm>
- Farías, M., Sepúlveda, S. & Vargas, G. (2016). *Generación de modelos tridimensionales a partir de fotogrametría y su aplicación en geología estructural* (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141334/Generacion-de-modelos-tridimensionales-a-partir-de-fotogrametria-y-su-aplicacion-en-geologia-estructural.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fonseca, J. J. & Gómez, S. M. (2013). Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la Ciénaga de Tumaradó Parque Natural Los Katíos. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/9268>.
- Fotografía aérea con dron*. (s.f.). Eleven. <https://www.elevencomunicacion.com/fotografia-aerea-con-dron/>
- Gibaja, S. & Rojas, R. (2021). *Controles topográficos en pendientes pronunciadas para evitar deslizamientos utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV)* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. Recuperado de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/657242/Gibaja_BR.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- González, W. (2017). *Diseño y construcción de un vehículo aéreo no tripulado (uav), del tipo drone cuadricóptero de carreras* (Tesis de pregrado). Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, Bogotá. Recuperado de <https://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/1032>
- Hernández L. (2011). *Manual de operación de la estación total*. Recuperado de https://www.abreco.com.mx/manuales_topografia/teodolitos_estaciones/Manual%20de%20Operacion%20de%20Estacion%20Total.pdf

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill. Jiménez, B. (2002). *Modelos Digitales de Terreno*. Recuperado de <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/facagr/index/assoc/HASH80de.dir/doc.pdf>

Instituto Geofísico del Perú (2020). *Levantamiento topográfico mediante fotogrametría aérea con dron y mediciones GPS de Alto Larán y Río Chico, Ica*. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//13821_levantamiento-topografico-mediante-fotogrametria-aerea-con-dron-y-mediciones-gps-de-alto-laran-y-rio-chico-ica.pdf

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Monitoreo del deslizamiento de Alto Sigwas periodo 2021, distritos de Majes y San Juan de Sigwas, provincias de Caylloma y Arequipa, departamento de Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7224, 37 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3619>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2003). *Manual de procedimientos de ortofotografía*. https://www.snieg.mx/DocAcervoINN/documentacion/inf_nvo_acervo/SNIGMA/inf_topografica/Manual_Procedimientos_Ortofotografia.pdf

Judd, N. (16 de junio del 2020). *Integración del monitoreo de estabilidad de taludes con operación de mina*. Hexagon. <https://blog.hexagonmining.com/integracion-del-monitoreo-de-estabilidad-de-taludes-con-operacion-de-mina/?lang=es>

Lugo, E. (2018). *Combinación de los métodos Janbú – Spencer en el análisis de estabilidad de taludes para el empleo de sistemas flexibles de alta resistencia en la construcción de carreteras* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.13084/2272>

- Martínez I. (2016). Agua y Más - Revista de la Autoridad Nacional del Agua. *Los Deslizamientos en el Valle de Siguan y el exceso de Riego en la pampa de Majes (Arequipa)*, 13-17. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/2586>.
- Mejía, M. & Naveros, E. (2019). *Evaluación de riesgo geotécnico de taludes ante eventos sísmicos en la asociación de poseionarios de vivienda Bolognesi, anexo 22 – Jicamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Montoya, A. (2009). *Confiabilidad en estabilidad de taludes* (Tesis de postgrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3476/montoyaorozco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nuñez, B. (2020). *Evaluación metodológica de cambios geométricos en taludes con amenaza a deslizamiento utilizando vehículos aéreos no tripulados (VANT)* (Tesis de Maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga. Recuperado de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/9536/126_1%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Observatorio Aeroespacial. (2020). *La evolución de los drones*. Recuperado de <https://www.esga.mil.ar/Observatorio/Informes/Informe%203-EVOLUCION-DE-LOS-DRONES%20COVID-19.pdf>
- Ortega, V. (2018). *Procedimiento para la captura de datos fotogramétricos con la ayuda de aparatos controlados remotamente, como herramienta para la evaluación en estabilidad de taludes y difusión con realidad aumentada* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/68620>
- P330 Pro Drone de Ala Fija Vtol para la topografía y la cartografía (2021, mayo). CHCNAV. <https://geo-matching.com/uploads/default/p/3/p330-pro-ds-es.pdf>

- Ramirez, M. & Quispe, J. (2021). *Procesamiento multicapa de información geoespacial para la zonificación y determinación de zonas de deslizamiento* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4970>
- Reyes, Y. (2019). *Análisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetalización* (Tesis de postgrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. Recuperado de <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3454>
- Ruipérez, P. (2016). *Diseño y fabricación de un dron mediante impresión 3D* (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de València, Valencia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/73170>
- Ruiz-Carulla, Corominas y Hürlimann (2017). *Experiencias con drones para el estudio de movimientos de ladera*. Recuperado de https://georisk.upc.edu/es/shared/articles_pdf/RuizCarulla_Corominas_Hurlimann_Taludes2017.pdf
- Sánchez, C. (2017). Vehículos aéreos no tripulados: descripciones generales y aplicaciones. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial*, 6 (1), 2 – 7. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/332353911_VEHICULOS_AEREOS_NO_TRIPULADOS_DESCRIPCIONES_GENERALES_Y_APLICACIONES
- Santos, D. (2014). *Fotogrametría usando plataforma aérea UAV (Unmanned Aerial Vehicle)*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/41806759.pdf>
- Sarría, F. (s/f). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf
- Suárez, J. (1998) *Deslizamiento y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Publicación UIT, Colombia. 548 p.

Tomás et al. (2020). Evaluación de la estabilidad de taludes rocosos a partir de nubes de puntos 3D obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado. *Revista de Teledetección*, 55 (2020), 1 – 15. Recuperado de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/107612/1/Tomas_etal_2020_RevTeledeteccion.pdf

Topografía Aérea y AEC (s.f.). DJI Interprise. <https://enterprise.dji.com/surveying>

Valiente Sanz, R.; Sobrecases Martí, S. y Díaz Orrego, A. (2016). Estabilidad taludes, conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Revista Civilizate*. (7):50-54. <http://hdl.handle.net/10251/76781>

Veloza, J. (2017). *Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la Reserva Forestal Protectora- Productora “Casablanca” en Madrid Cundinamarca entre los años 1961 y 2015: aportes para el ordenamiento territorial municipal* (Tesis de pregrado). Universidad distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. Recuperado de https://ciaf.igac.gov.co/sites/ciaf.igac.gov.co/files/files_ciaf/Veloza-Torres-Jenny-Patricia.pdf

Villada, A. & Berrio, E. (2020). *Estudio de prefactibilidad para la implementación de una línea de servicio de fotogrametría con sistemas de aeronaves no tripuladas (RPAS) en la empresa Emincivil S.A.S.* (tesis de postgrado). Institución Universitaria Esumer, Medellín. Recuperado de <http://repositorio.esumer.edu.co/jspui/handle/esumer/2153>

Zambrano, F. (2017). *Diseño de un sistema para mediciones geodésicas puntuales en zonas inaccesibles de los rajes* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/149139>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Tabla 19: Matriz de consistencia

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	Indicadores	MÉTODO
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente		
¿En qué medida la comparación multitemporal de imágenes de alta resolución de taludes en acantilados permite el monitoreo de la estabilidad en el Valle de Sigüas?	Realizar la comparación multitemporal de imágenes de alta resolución para el monitoreo de estabilidad de taludes en el Valle de Sigüas.	La comparación multitemporal de imágenes de alta resolución de taludes en acantilados permite significativamente el monitoreo de la estabilidad en el Valle de Sigüa.	Monitoreo de estabilidad de taludes	Deslizamiento de taludes Estabilidad de taludes Métodos de monitoreo	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente		
¿Cómo un plan de vuelo permite la toma de fotografías en un dron de ala fija?	Realizar los planes de vuelos para la obtención de fotografías geoetiquetadas con un dron de ala fija.	El plan de vuelo permite la toma de fotografías en un dron de ala fija, debido a que sin un plan de vuelo el dron no tiene información de la orientación de vuelo, porcentaje de solapamiento, GSD, área de vuelo, haciendo imposible la toma de fotografías aéreas.		Plan de vuelo Fotografías aéreas	
¿Cómo el procesamiento de las fotografías aéreas permite la generación de modelos digitales del terreno DTM?	Procesar las fotografías aéreas para la generación de los diferentes modelos digitales de terrenos DTM.	El procesamiento de las fotografías aéreas permite la generación de modelos digitales del terreno DTM, dado a que las imágenes obtenidas del vuelo de dron con coordenadas se procesan con algún software de procesamiento de vuelo de drones.	Comparación multitemporal de imágenes de alta resolución	DTM's	La metodología empleada en la presente investigación es deductiva y descriptiva. Presenta orientación aplicada, el nivel es descriptivo, tiene un diseño observacional, tiene un enfoque cualitativo y el instrumento de recolección de datos es prolectivo

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v1.0.0

Resumen del proyecto

Proyecto	prueba Flight 01
Voló	2020/10/15 12:59 UTC
Procesado	2020/10/17 13:55 UTC
Cámara	RX1RII 42MP
Imágenes	268

Resumen del procesamiento

Producir sistema de coordenadas	Geodésico (WGS84 (EPSG:4326), egm96 (5773)))
PPK procesado	No

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	268 imágenes etiquetadas.
Advertencias	Nada

Figura N 58: Reporte vuelo octubre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v1.0.0

Resumen del proyecto

Proyecto	prueba Flight 02
Voló	2020/10/15 13:51 UTC
Procesado	2020/10/17 13:40 UTC
Cámara	RX1RII 42MP
Imágenes	227

Resumen del procesamiento

Producir sistema de coordenadas	Geodésico (WGS84 (EPSG:4326), egm96 (5773)))
PPK procesado	No

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	227 imágenes etiquetadas.
Advertencias	Nada

Figura N 59: Reporte vuelo octubre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v1.0.0

Resumen del proyecto

Proyecto	prueba Flight 03
Voló	2020/10/15 14:57 UTC
Procesado	2020/10/17 13:47 UTC
Cámara	RX1RII 42MP
Imágenes	69

Resumen del procesamiento

Producir sistema de coordenadas	Geodésico (WGS84 (EPSG:4326), egm96 (5773)))
PPK procesado	No

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	69 imágenes etiquetadas.
Advertencias	Nada

Figura N 60: Reporte vuelo octubre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v2.3.0

Resumen del proyecto

Proyecto	Deslizamiento siguas A Flight 01
Voló	2021/11/18 13:52 UTC
Procesado	2021/11/20 00:11 UTC
Cámara	RX1RII
Imágenes	705

Resumen de geotiquetado

Producir sistema de coordenadas	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326))
PPK procesado	Sí
Archivo(s) base	0366322d.21g 0366322d.21n 0366322d.21o
Base	Siguas_SP05
Ubicación base	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326)) 16° 22' 28.3759500" S, 72° 8' 8.2214400" O, 1438.04800 m -16.3745488750°, -72.1356170667°, 1438.04800 m
Desfase antena base	Este: 0.00000 m, Norte: 0.00000 m, Arriba: 0.07660 m
Tipo de antena de la estación base detectado	SPP91564_2

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	705 imágenes etiquetadas.
PPK fijo	100.00%
Precisión media	0.03 m horizontal, 0.04 m vertical
Advertencias	Nada
Infos	Nada

Figura N 61: Reporte vuelo noviembre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v2.3.0

Resumen del proyecto

Proyecto	Deslizamiento siguas A Flight 02
Voló	2021/11/18 15:33 UTC
Procesado	2021/11/20 00:13 UTC
Cámara	RX1RII
Imágenes	774

Resumen de geoetiquetado

Producir sistema de coordenadas	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326))
PPK procesado	Sí
Archivo(s) base	0366322d.21g 0366322d.21n 0366322d.21o
Base	Siguas_SP05
Ubicación base	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326)) 16° 22' 28.3759500" S, 72° 8' 8.2214400" O, 1438.04800 m -16.3745488750°, -72.1356170667°, 1438.04800 m
Desfase antena base	Este: 0.00000 m, Norte: 0.00000 m, Arriba: 0.07660 m
Tipo de antena de la estación base detectado	SPP91564_2

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	774 imágenes etiquetadas.
PPK fijo	100.00%
Precisión media	0.03 m horizontal, 0.04 m vertical
Advertencias	Nada
Infos	Nada

Figura N 62: Reporte vuelo noviembre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v2.3.0

Resumen del proyecto

Proyecto	Deslizamiento siguas A Flight 03
Voló	2021/11/18 16:17 UTC
Procesado	2021/11/20 00:14 UTC
Cámara	RX1RII
Imágenes	563

Resumen de geotiquetado

Producir sistema de coordenadas	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326))
PPK procesado	Sí
Archivo(s) base	0366322d.21g 0366322d.21n 0366322d.21o
Base	Siguas_SP05
Ubicación base	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326)) 16° 22' 28.3759500" S, 72° 8' 8.2214400" O, 1438.04800 m -16.3745488750°, -72.1356170667°, 1438.04800 m
Desfase antena base	Este: 0.00000 m, Norte: 0.00000 m, Arriba: 0.07660 m
Tipo de antena de la estación base detectado	SPP91564_2

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	563 imágenes etiquetadas.
PPK fijo	100.00%
Precisión media	0.03 m horizontal, 0.04 m vertical
Advertencias	Nada
Infos	Nada

Figura N 63: Reporte vuelo noviembre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v2.3.0

Resumen del proyecto

Proyecto	Deslizamiento siguas A Flight 04
Voló	2021/11/19 12:51 UTC
Procesado	2021/11/20 00:16 UTC
Cámara	RX1RII
Imágenes	493

Resumen de geoetiquetado

Producir sistema de coordenadas	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326))
PPK procesado	Sí
Archivo(s) base	0366323a.21g 0366323a.21n 0366323a.21o
Base	Siguas_SP05
Ubicación base	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326)) 16° 22' 28.3759500" S, 72° 8' 8.2214400" O, 1438.04800 m -16.3745488750°, -72.1356170667°, 1438.04800 m
Desfase antena base	Este: 0.00000 m, Norte: 0.00000 m, Arriba: 0.07660 m
Tipo de antena de la estación base detectado	SPP91564_2

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	493 imágenes etiquetadas.
PPK fijo	100.00%
Precisión media	0.02 m horizontal, 0.03 m vertical
Advertencias	Nada
Infos	Nada

Figura N 64: Reporte vuelo noviembre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingtraHub v2.3.0

Resumen del proyecto

Proyecto	Deslizamiento B Flight 01
Voló	2021/11/19 13:38 UTC
Procesado	2021/11/20 00:08 UTC
Cámara	RX1RII
Imágenes	687

Resumen de geotiquetado

Producir sistema de coordenadas	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326))
PPK procesado	Sí
Archivo(s) base	0366323a.21g 0366323a.21n 0366323a.21o
Base	Siguas_SP05
Ubicación base	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326)) 16° 22' 28.3759500" S, 72° 8' 8.2214400" O, 1438.04800 m -16.3745488750°, -72.1356170667°, 1438.04800 m
Desfase antena base	Este: 0.00000 m, Norte: 0.00000 m, Arriba: 0.07660 m
Tipo de antena de la estación base detectado	SPP91564_2

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	687 imágenes etiquetadas.
PPK fijo	100.00%
Precisión media	0.03 m horizontal, 0.05 m vertical
Advertencias	Nada
Infos	Nada

Figura N 65: Reporte vuelo noviembre

Fuente: Elaboración propia

Procesando reporte



Generado por WingraHub v2.3.0

Resumen del proyecto

Proyecto	Deslizamiento B Flight 02
Voló	2021/11/19 16:55 UTC
Procesado	2021/11/20 00:09 UTC
Cámara	RX1RII
Imágenes	804

Resumen de geoetiquetado

Producir sistema de coordenadas	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326))
PPK procesado	Sí
Archivo(s) base	0366323a.21g 0366323a.21n 0366323a.21o
Base	Siguas_SP05
Ubicación base	Altura geodésica elipsoidal (WGS84 (EPSG:4326)) 16° 22' 28.3759500" S, 72° 8' 8.2214400" O, 1438.04800 m -16.3745488750°, -72.1356170667°, 1438.04800 m
Desfase antena base	Este: 0.00000 m, Norte: 0.00000 m, Arriba: 0.07660 m
Tipo de antena de la estación base detectado	SPP91564_2

Resumen de calidad

Encontrando coincidencias	804 imágenes etiquetadas.
PPK fijo	100.00%
Precisión media	0.03 m horizontal, 0.04 m vertical
Advertencias	Nada
Infos	Nada

Figura N 66: Reporte vuelo noviembre

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Registro del RPA Wingtra One

	Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Viceministerio de Transportes	Dirección General de Aeronáutica Civil
---	--	-------------------------------	--

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

Lima, 07 de mayo 2021

OFICIO N°492 -2021-MTC/12.07

Señor
VICTOR PAUL CRIVILLERO GONZALES
Gerente General
CONSULTORIA Y GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA S.A.C
Calle Mariano De Los Santos N° 183 Of. 501 San Isidro
Lima

Presente -

Ref: SOLICITUD - S/N con HR N° E-108384-2021

Dirijo el presente en atención al documento de la referencia a fin de hacer entrega del número correlativo de la Tarjeta de Registro RPA: N° 01585 la cual contiene la siguiente información técnica del equipo registrado en nuestra base de datos.

TIPO PRACTICA: OTRO DISTINTO A LA PRÁCTICA AERODEPORTIVA O RECREATIVA

INFORMACION TECNICA RPAS
MARCA: WINGTRA ONE **MODELO:** VTOL
PAIS DE FABRICACION: SUIZA **NÚMERO SERIE:** 1393
TIPO DE MOTORES: ELECTRICOS **CANTIDAD DE MOTORES:** 02
FRECUENCIA DE CONTROL: 2.4016- 2.4776 GHZ **MASA (PESO) MÁXIMA DE DESPEGUE:** 4.5 KG.
AUTONOMIA: 59MINUTOS

EQUIPO INCORPORADO **CÁMARA DE VIDEO:** RXR II 42 MP
GPS: INCORPORADO
OTROS EQUIPOS INCORPORADOS: PPK INCORPORADO

La presente autorización ha sido otorgada en base a la Norma Técnica Complementaria NTC: 001-2015 "Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia", debiendo su representada cumplir con lo establecido en el punto 8. (c) de la NTC: 001-2015, para realizar operaciones (usos) diferentes a la práctica Aero deportiva o recreativa.

Asimismo, se le comunica que en lo que respecta a las Tarjetas de Registro en formato digital se encuentra en evaluación por la DGAC, por lo que se le será entregado en cuanto se implemente este sistema de certificado electrónico y/o se normalicen las actividades para la entrega física de dicha tarjeta.

Atentamente,

Luis Núñez Vidal
Director de Certificaciones y Autorizaciones

 **BICENTENARIO PERÚ 2021**

 **FIRGA DIGITAL**

Firmado digitalmente por:
NÚÑEZ VIDAL Luis FAU
2031370644 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 07/05/2021 20:18:23-0500

Jirón Zoaritob 1203 - Lima - Perú
Central telefónica. (511)615-7800
www.gob.pe/mtc

Figura N 67: Ficha de registro

Fuente: Elaboración propia



Lima, 07 de mayo 2021

OFICIO N°492 -2021-MTC/12.07

Señor:
VICTOR PAUL CRIVILLERO GONZALES
 Gerente General
CONSULTORIA Y GESTION DE PROYECTOS DE INGENIERIA S.A.C
 Calle Mariano De Los Santos N° 183 Of. 501 San Isidro
 Lima

Presente.-

Ref: SOLICITUD – S/N con HR N° E-108384-2021

Dirijo el presente en atención al documento de la referencia a fin de hacer entrega del número correlativo de la Tarjeta de Registro RPA: N° 01585 la cual contiene la siguiente información técnica del equipo registrado en nuestra base de datos.

TIPO PRACTICA: OTRO DISTINTO A LA PRÁCTICA AERODEPORTIVA O RECREATIVA

INFORMACION TECNICA RPAS
MARCA: WINGTRA ONE **MODELO:** VTOL
PAIS DE FABRICACION: SUIZA **NÚMERO SERIE:** 1393
TIPO DE MOTORES: ELECTRICOS **CANTIDAD DE MOTORES:** 02
FECUENCIA DE CONTROL: 2.4016– 2.4776 GHZ **MASA (PESO) MÁXIMA DE DESPEGUE:** 4.5 KG.
AUTONOMÍA: 59MINUTOS

EQUIPO INCORPORADO **CÁMARA DE VIDEO:** RXR II 42 MP
GPS: INCORPORADO
OTROS EQUIPOS INCORPORADOS: PPK INCORPORADO

La presente autorización ha sido otorgada en base a la Norma Técnica Complementaria NTC: 001-2015 "Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia", debiendo su representada cumplir con lo establecido en el punto 8. (c) de la NTC: 001-2015, para realizar operaciones (usos) diferentes a la práctica Aero deportiva o recreativa.

Asimismo, se le comunica que en lo que respecta a las Tarjetas de Registro en formato digital se encuentra en evaluación por la DGAC, por lo que se le será entregado en cuanto se implemente este sistema de certificado electrónico y/o se normalicen las actividades para la entrega física de dicha tarjeta.

Atentamente,

Luis Núñez Vidal
 Director de Certificaciones y Autorizaciones



Firmado digitalmente por:
 NUÑEZ VIDAL Luis FAU
 20131379844 soft
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 07/05/2021 20:18:23-0500

Jirón Zorrillos 1203 – Lima - Perú
 Central telefónica: (511) 615-7800
 www.gob.pe/mtc

Figura N 68: Ficha de registro

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Datos de secciones

Tabla 20: Sección 01

ID	Distancia	Oct-20
1	0	1393.930464
2	0.576180408	1393.942399
3	1.152360817	1393.968306
4	1.728541225	1393.969482
5	2.304721633	1393.98752
6	2.880902041	1393.988544
7	3.45708245	1393.978443
8	4.033262858	1394.006136
9	4.609443266	1394.03768
10	5.185623674	1393.99278
11	5.761804083	1393.985718
12	6.337984491	1394.050109
13	6.914164899	1394.047655
14	7.490345308	1394.04774
15	8.066525716	1394.071986
16	8.642706124	1394.105022
17	9.218886532	1394.086944
18	9.795066941	1394.136667
19	10.37124735	1394.186604
20	10.94742776	1394.151522
21	11.52360817	1394.17622
22	12.09978857	1394.211988
23	12.67596898	1395.147654
24	13.25214939	1396.174994
25	13.8283298	1395.579275

ID	Distancia	Nov-21
1	0	1408.679126
2	0.576180408	1408.720026
3	1.152360817	1408.730685
4	1.728541225	1408.725675
5	2.304721633	1408.726516
6	2.880902041	1408.746765
7	3.45708245	1408.769132
8	4.033262858	1408.762088
9	4.609443266	1408.771941
10	5.185623674	1408.76471
11	5.761804083	1408.769277
12	6.337984491	1408.738518
13	6.914164899	1408.738403
14	7.490345308	1408.738403
15	8.066525716	1408.738403
16	8.642706124	1408.738453
17	9.218886532	1408.845071
18	9.795066941	1410.128988
19	10.37124735	1411.176304
20	10.94742776	1411.207798
21	11.52360817	1411.20459
22	12.09978857	1411.20459
23	12.67596898	1411.232246
24	13.25214939	1411.235305
25	13.8283298	1411.557351

26	14.40451021	1394.227883
27	14.98069062	1394.170741
28	15.55687102	1394.116061
29	16.13305143	1394.106854
30	16.70923184	1394.096437
31	17.28541225	1394.067383
32	17.86159266	1394.075193
33	18.43777306	1394.067912
34	19.01395347	1394.067383
35	19.59013388	1394.067383
36	20.16631429	1394.067383
37	20.7424947	1394.067383
38	21.31867511	1394.067383
39	21.89485551	1394.067383
40	22.47103592	1394.078781
41	23.04721633	1394.096744
42	23.62339674	1394.111396
43	24.19957715	1394.161848
44	24.77575756	1394.178112
45	25.35193796	1394.20686
46	25.92811837	1394.198073
47	26.50429878	1394.188664
48	27.08047919	1394.138704
49	27.6566596	1394.136002
50	28.23284001	1394.177002
51	28.80902041	1394.194204
52	29.38520082	1394.222659
53	29.96138123	1394.209615

26	14.40451021	1408.811349
27	14.98069062	1408.817682
28	15.55687102	1408.798822
29	16.13305143	1408.786228
30	16.70923184	1408.791042
31	17.28541225	1408.770826
32	17.86159266	1408.766968
33	18.43777306	1408.766968
34	19.01395347	1408.766968
35	19.59013388	1408.766968
36	20.16631429	1408.76782
37	20.7424947	1408.766968
38	21.31867511	1408.766984
39	21.89485551	1408.792738
40	22.47103592	1408.822668
41	23.04721633	1408.833479
42	23.62339674	1408.850103
43	24.19957715	1408.862609
44	24.77575756	1408.848899
45	25.35193796	1408.851067
46	25.92811837	1408.861734
47	26.50429878	1408.843882
48	27.08047919	1408.839355
49	27.6566596	1408.839355
50	28.23284001	1408.839355
51	28.80902041	1408.839917
52	29.38520082	1408.83949
53	29.96138123	1408.839406

54	30.53756164	1394.205364
55	31.11374205	1394.196849
56	31.68992246	1394.227868
57	32.26610286	1394.240713
58	32.84228327	1394.239502
59	33.41846368	1394.239502
60	33.99464409	1394.255439
61	34.5708245	1394.302118
62	35.1470049	1394.377286
63	35.72318531	1394.760576
64	36.29936572	1394.964093
65	36.87554613	1395.186018
66	37.45172654	1395.365373
67	38.02790695	1395.039239
68	38.60408735	1394.886711
69	39.18026776	1394.734933
70	39.75644817	1394.704617
71	40.33262858	1394.692803
72	40.90880899	1394.634575
73	41.4849894	1394.611028
74	42.0611698	1394.612627
75	42.63735021	1394.606812
76	43.21353062	1394.606812
77	43.78971103	1394.606812
78	44.36589144	1394.614813
79	44.94207185	1394.608873
80	45.51825225	1394.599448
81	46.09443266	1394.596924

54	30.53756164	1408.839355
55	31.11374205	1408.949772
56	31.68992246	1409.545943
57	32.26610286	1409.517724
58	32.84228327	1410.003533
59	33.41846368	1409.585376
60	33.99464409	1409.309346
61	34.5708245	1409.321538
62	35.1470049	1409.238321
63	35.72318531	1409.215611
64	36.29936572	1409.222572
65	36.87554613	1409.207397
66	37.45172654	1409.207058
67	38.02790695	1409.193805
68	38.60408735	1409.203019
69	39.18026776	1409.214795
70	39.75644817	1409.227445
71	40.33262858	1409.209132
72	40.90880899	1409.205513
73	41.4849894	1409.196235
74	42.0611698	1409.170624
75	42.63735021	1409.134629
76	43.21353062	1403.21777
77	43.78971103	1400.078947
78	44.36589144	1395.203171
79	44.94207185	1388.74992
80	45.51825225	1382.792494
81	46.09443266	1382.316748

82	46.67061307	1394.603859
83	47.24679348	1394.15391
84	47.82297389	1393.74889
85	48.3991543	1384.206871
86	48.9753347	1370.279121
87	49.55151511	1367.997865
88	50.12769552	1367.508809
89	50.70387593	1367.164121
90	51.28005634	1366.622486
91	51.85623674	1366.126995
92	52.43241715	1365.489479
93	53.00859756	1364.406167
94	53.58477797	1363.740494
95	54.16095838	1363.354759
96	54.73713879	1362.902522
97	55.31331919	1362.514001
98	55.8894996	1362.135328
99	56.46568001	1361.758693
100	57.04186042	1361.059135
101	57.61804083	1358.987127
102	58.19422124	1357.692999
103	58.77040164	1356.249469
104	59.34658205	1351.071116
105	59.92276246	1350.545328
106	60.49894287	1350.126006
107	61.07512328	1349.693137
108	61.65130369	1349.292823
109	62.22748409	1348.953229

82	46.67061307	1381.911516
83	47.24679348	1381.443647
84	47.82297389	1381.041734
85	48.3991543	1380.608972
86	48.9753347	1380.142372
87	49.55151511	1379.77475
88	50.12769552	1379.43535
89	50.70387593	1379.084302
90	51.28005634	1378.889768
91	51.85623674	1378.58609
92	52.43241715	1378.036552
93	53.00859756	1377.443232
94	53.58477797	1376.532574
95	54.16095838	1375.339546
96	54.73713879	1373.793028
97	55.31331919	1372.560392
98	55.8894996	1371.226261
99	56.46568001	1369.713649
100	57.04186042	1367.413619
101	57.61804083	1365.452969
102	58.19422124	1365.159644
103	58.77040164	1364.854167
104	59.34658205	1364.466543
105	59.92276246	1364.162379
106	60.49894287	1363.901845
107	61.07512328	1363.548189
108	61.65130369	1363.253464
109	62.22748409	1362.949559

110	62.8036645	1348.538819
111	63.37984491	1348.090516
112	63.95602532	1347.52901
113	64.53220573	1347.098959
114	65.10838614	1346.322887
115	65.68456654	1344.747633
116	66.26074695	1342.204116
117	66.83692736	1340.62362
118	67.41310777	1339.964392
119	67.98928818	1339.677079
120	68.56546858	1339.379425
121	69.14164899	1339.032069
122	69.7178294	1338.694676
123	70.29400981	1338.348647
124	70.87019022	1338.019904
125	71.44637063	1337.663098
126	72.02255103	1337.340257
127	72.59873144	1336.950925
128	73.17491185	1336.595886
129	73.75109226	1336.228286
130	74.32727267	1335.901523
131	74.90345308	1335.529521
132	75.47963348	1335.203439
133	76.05581389	1334.90284
134	76.6319943	1334.567476
135	77.20817471	1334.203241
136	77.78435512	1333.898607
137	78.36053553	1333.527908

110	62.8036645	1362.4183
111	63.37984491	1361.970968
112	63.95602532	1361.545136
113	64.53220573	1360.29693
114	65.10838614	1356.04667
115	65.68456654	1354.552064
116	66.26074695	1354.310376
117	66.83692736	1354.015059
118	67.41310777	1353.736783
119	67.98928818	1353.475072
120	68.56546858	1353.137368
121	69.14164899	1352.860443
122	69.7178294	1352.542571
123	70.29400981	1352.181751
124	70.87019022	1351.808331
125	71.44637063	1351.50439
126	72.02255103	1351.106394
127	72.59873144	1350.839374
128	73.17491185	1350.423275
129	73.75109226	1350.098095
130	74.32727267	1349.741808
131	74.90345308	1349.398275
132	75.47963348	1349.068756
133	76.05581389	1348.71095
134	76.6319943	1348.289068
135	77.20817471	1347.964752
136	77.78435512	1347.589797
137	78.36053553	1347.208787

138	78.93671593	1333.24295
139	79.51289634	1332.952082
140	80.08907675	1332.546954
141	80.66525716	1332.190041
142	81.24143757	1331.898613
143	81.81761797	1331.528911
144	82.39379838	1331.247536
145	82.96997879	1330.938914
146	83.5461592	1330.611358
147	84.12233961	1330.279453
148	84.69852002	1329.961131
149	85.27470042	1329.677392
150	85.85088083	1329.365236
151	86.42706124	1329.0403
152	87.00324165	1328.767442
153	87.57942206	1328.485631
154	88.15560247	1328.11464
155	88.73178287	1327.816772
156	89.30796328	1327.505167
157	89.88414369	1327.21066
158	90.4603241	1326.910913
159	91.03650451	1326.546533
160	91.61268492	1326.232616
161	92.18886532	1325.916942
162	92.76504573	1325.612506
163	93.34122614	1325.307098
164	93.91740655	1325.025652
165	94.49358696	1324.735014

138	78.93671593	1346.837012
139	79.51289634	1346.548657
140	80.08907675	1346.144262
141	80.66525716	1345.768313
142	81.24143757	1345.471357
143	81.81761797	1345.098813
144	82.39379838	1344.727166
145	82.96997879	1344.390529
146	83.5461592	1344.06951
147	84.12233961	1343.764989
148	84.69852002	1343.453518
149	85.27470042	1343.084464
150	85.85088083	1342.788714
151	86.42706124	1342.526544
152	87.00324165	1342.136429
153	87.57942206	1341.88427
154	88.15560247	1341.541594
155	88.73178287	1341.236608
156	89.30796328	1340.932522
157	89.88414369	1340.715328
158	90.4603241	1340.492809
159	91.03650451	1340.309366
160	91.61268492	1340.02545
161	92.18886532	1339.816038
162	92.76504573	1339.674985
163	93.34122614	1339.456975
164	93.91740655	1339.208596
165	94.49358696	1338.988288

166	95.06976737	1324.497318
167	95.64594777	1324.085087
168	96.22212818	1323.735413
169	96.79830859	1323.409878
170	97.374489	1323.198694
171	97.95066941	1322.911194
172	98.52684981	1322.724499
173	99.10303022	1322.54819
174	99.67921063	1322.612161
175	100.255391	1322.581907
176	100.8315714	1322.512817
177	101.4077519	1322.545896
178	101.9839323	1322.52016
179	102.5601127	1322.481062
180	103.1362931	1322.672312
181	103.7124735	1322.794933
182	104.2886539	1322.834376
183	104.8648343	1322.862994
184	105.4410147	1322.889096
185	106.0171951	1322.819985
186	106.5933755	1322.796671
187	107.1695559	1322.784881
188	107.7457363	1322.691822
189	108.3219168	1322.596571
190	108.8980972	1322.606647
191	109.4742776	1322.761838
192	110.050458	1322.77728
193	110.6266384	1322.798523

166	95.06976737	1338.82701
167	95.64594777	1338.694238
168	96.22212818	1338.450859
169	96.79830859	1338.192968
170	97.374489	1338.015442
171	97.95066941	1337.857145
172	98.52684981	1337.834014
173	99.10303022	1337.406926
174	99.67921063	1337.176946
175	100.255391	1337.021947
176	100.8315714	1336.725356
177	101.4077519	1336.432134
178	101.9839323	1336.173858
179	102.5601127	1335.965653
180	103.1362931	1335.784588
181	103.7124735	1335.653813
182	104.2886539	1335.525454
183	104.8648343	1335.425321
184	105.4410147	1335.249641
185	106.0171951	1335.20889
186	106.5933755	1335.198486
187	107.1695559	1335.207575
188	107.7457363	1335.376351
189	108.3219168	1335.451882
190	108.8980972	1335.524429
191	109.4742776	1335.59164
192	110.050458	1335.639126
193	110.6266384	1335.684109

194	111.2028188	1322.744804
195	111.7789992	1322.634676
196	112.3551796	1322.638455
197	112.93136	1322.572526
198	113.5075404	1322.611366
199	114.0837208	1322.482871
200	114.6599012	1322.294438
201	115.2360817	1322.182339
202	115.8122621	1322.115467
203	116.3884425	1322.070236
204	116.9646229	1322.255339
205	117.5408033	1322.39349
206	118.1169837	1322.512941
207	118.6931641	1322.69844
208	119.2693445	1322.987738
209	119.8455249	1323.397064
210	120.4217053	1323.799341
211	120.9978857	1324.233527
212	121.5740661	1324.303541
213	122.1502466	1323.971186
214	122.726427	1323.781988
215	123.3026074	1323.759246
216	123.8787878	1323.773735
217	124.4549682	1323.737491
218	125.0311486	1323.879553
219	125.607329	1323.988571
220	126.1835094	1323.663066
221	126.7596898	1323.384198

194	111.2028188	1335.581496
195	111.7789992	1335.45159
196	112.3551796	1335.32124
197	112.93136	1335.237264
198	113.5075404	1335.096733
199	114.0837208	1334.980846
200	114.6599012	1334.966963
201	115.2360817	1334.996389
202	115.8122621	1335.038435
203	116.3884425	1335.26645
204	116.9646229	1335.469112
205	117.5408033	1335.582641
206	118.1169837	1335.662017
207	118.6931641	1335.850355
208	119.2693445	1336.256205
209	119.8455249	1336.784915
210	120.4217053	1336.806539
211	120.9978857	1336.657673
212	121.5740661	1337.022619
213	122.1502466	1336.767361
214	122.726427	1336.365154
215	123.3026074	1335.827208
216	123.8787878	1335.62454
217	124.4549682	1335.518225
218	125.0311486	1335.548229
219	125.607329	1335.671366
220	126.1835094	1335.582114
221	126.7596898	1335.369773

222	127.3358702	1323.237874
223	127.9120506	1323.197516
224	128.488231	1322.830198
225	129.0644115	1322.490829
226	129.6405919	1322.375244
227	130.2167723	1322.455332
228	130.7929527	1322.882817
229	131.3691331	1322.744455
230	131.9453135	1322.359234
231	132.5214939	1322.109991
232	133.0976743	1321.898819
233	133.6738547	1321.698344
234	134.2500351	1321.564374
235	134.8262155	1321.401408
236	135.4023959	1321.312635
237	135.9785764	1321.217556
238	136.5547568	1321.148546
239	137.1309372	1321.028402
240	137.7071176	1320.894177
241	138.283298	1320.734416
242	138.8594784	1320.681088
243	139.4356588	1320.588213
244	140.0118392	1320.428979
245	140.5880196	1320.257133
246	141.1642	1320.089844
247	141.7403804	1320.117288
248	142.3165608	1320.283688
249	142.8927413	1320.533412

222	127.3358702	1335.195909
223	127.9120506	1335.21404
224	128.488231	1335.197531
225	129.0644115	1335.286033
226	129.6405919	1335.908471
227	130.2167723	1336.096441
228	130.7929527	1335.888382
229	131.3691331	1335.85567
230	131.9453135	1335.560189
231	132.5214939	1335.40269
232	133.0976743	1335.04611
233	133.6738547	1334.757805
234	134.2500351	1334.55764
235	134.8262155	1334.309268
236	135.4023959	1334.145702
237	135.9785764	1333.921959
238	136.5547568	1333.678829
239	137.1309372	1333.447722
240	137.7071176	1333.297419
241	138.283298	1333.231081
242	138.8594784	1333.142543
243	139.4356588	1333.055542
244	140.0118392	1333.055542
245	140.5880196	1333.055542
246	141.1642	1333.055542
247	141.7403804	1333.055542
248	142.3165608	1333.176142
249	142.8927413	1333.278344

250	143.4689217	1320.84627
251	144.045102	1321.09179
252	144.621282	1321.24477
253	145.197463	1321.39184
254	145.773643	1321.59763
255	146.349824	1321.74032
256	146.926004	1321.78535
257	147.502185	1322.03452
258	148.078365	1322.31549
259	148.654545	1322.65672
260	149.230726	1323.04358
261	149.806906	1323.43056
262	150.383087	1323.84465
263	150.959267	1324.20108

250	143.4689217	1333.337089
251	144.045102	1333.38304
252	144.621282	1333.68168
253	145.197463	1333.70252
254	145.773643	1333.62876
255	146.349824	1333.84683
256	146.926004	1333.85239
257	147.502185	1333.93344
258	148.078365	1334.15019
259	148.654545	1334.40541
260	149.230726	1334.60988
261	149.806906	1334.81094
262	150.383087	1335.05477
263	150.959267	1335.40421

Continúa hasta el ID 1063 cuya distancia es 611 m y altura 1266.84 m

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21: Sección 02

ID	Distance	Oct-20
1	0	1408.27439
2	0.82447066	1408.52594
3	1.64894132	1408.98312
4	2.47341199	1409.34134
5	3.29788265	1409.28176
6	4.12235331	1409.17699
7	4.94682397	1409.15337
8	5.77129463	1409.16367

ID	Distance	Nov-21
1	0	1422.54641
2	0.82447066	1422.92984
3	1.64894132	1423.42492
4	2.47341199	1423.44537
5	3.29788265	1423.32639
6	4.12235331	1423.35406
7	4.94682397	1423.28967
8	5.77129463	1423.14682

9	6.5957653	1409.11521
10	7.42023596	1409.05438
11	8.24470662	1409.10426
12	9.06917728	1409.00407
13	9.89364794	1408.88809
14	10.7181186	1408.80401
15	11.5425893	1408.83503
16	12.3670599	1408.84742
17	13.1915306	1408.74303
18	14.0160013	1408.72367
19	14.8404719	1408.70598
20	15.6649426	1408.64179
21	16.4894132	1408.61192
22	17.3138839	1408.62969
23	18.1383546	1408.67203
24	18.9628252	1408.44471
25	19.7872959	1407.98526
26	20.6117665	1407.57431
27	21.4362372	1407.43058
28	22.2607079	1407.2972
29	23.0851785	1407.53812
30	23.9096492	1407.7242
31	24.7341199	1408.07947
32	25.5585905	1408.20465
33	26.3830612	1408.17989
34	27.2075318	1408.16208
35	28.0320025	1408.15894
36	28.8564732	1408.16621

9	6.5957653	1423.1635
10	7.42023596	1423.19677
11	8.24470662	1423.12868
12	9.06917728	1423.05869
13	9.89364794	1423.10819
14	10.7181186	1423.07203
15	11.5425893	1423.02389
16	12.3670599	1422.89061
17	13.1915306	1422.82646
18	14.0160013	1422.81091
19	14.8404719	1422.78594
20	15.6649426	1422.79033
21	16.4894132	1422.75871
22	17.3138839	1422.71844
23	18.1383546	1422.49328
24	18.9628252	1422.09784
25	19.7872959	1421.72791
26	20.6117665	1421.64613
27	21.4362372	1421.35107
28	22.2607079	1421.65291
29	23.0851785	1421.76702
30	23.9096492	1422.07141
31	24.7341199	1422.18559
32	25.5585905	1422.37026
33	26.3830612	1422.23733
34	27.2075318	1422.19644
35	28.0320025	1422.18578
36	28.8564732	1422.24807

37	29.6809438	1408.18533
38	30.5054145	1408.11202
39	31.3298852	1407.31704
40	32.1543558	1408.20827
41	32.9788265	1408.10605
42	33.8032971	1408.06722
43	34.6277678	1408.06948
44	35.4522385	1408.04969
45	36.2767091	1408.07116
46	37.1011798	1408.15086
47	37.9256504	1408.25035
48	38.7501211	1408.28346
49	39.5745918	1408.34382
50	40.3990624	1408.43128
51	41.2235331	1408.52048
52	42.0480038	1408.52788
53	42.8724744	1408.57233
54	43.6969451	1408.59147
55	44.5214157	1404.98115
56	45.3458864	1391.14498
57	46.1703571	1379.76154
58	46.9948277	1378.71054
59	47.8192984	1378.30057
60	48.6437691	1377.81471
61	49.4682397	1377.38358
62	50.2927104	1376.94358
63	51.117181	1376.66828
64	51.9416517	1376.51666

37	29.6809438	1422.21488
38	30.5054145	1421.88773
39	31.3298852	1421.35107
40	32.1543558	1422.20617
41	32.9788265	1422.10458
42	33.8032971	1422.08522
43	34.6277678	1422.07336
44	35.4522385	1422.08
45	36.2767091	1422.10483
46	37.1011798	1422.22681
47	37.9256504	1422.27366
48	38.7501211	1422.29356
49	39.5745918	1420.33491
50	40.3990624	1414.81405
51	41.2235331	1404.67696
52	42.0480038	1396.65989
53	42.8724744	1394.3491
54	43.6969451	1393.89135
55	44.5214157	1393.3484
56	45.3458864	1392.83713
57	46.1703571	1392.23135
58	46.9948277	1391.72861
59	47.8192984	1391.13481
60	48.6437691	1390.6331
61	49.4682397	1390.1379
62	50.2927104	1389.66379
63	51.117181	1389.10961
64	51.9416517	1388.60031

65	52.7661224	1376.38028
66	53.590593	1376.21926
67	54.4150637	1375.92069
68	55.2395344	1375.46163
69	56.064005	1374.87222
70	56.8884757	1374.27475
71	57.7129463	1373.64162
72	58.537417	1373.06621
73	59.3618877	1372.42117
74	60.1863583	1371.94035
75	61.010829	1371.24209
76	61.8352996	1370.62288
77	62.6597703	1370.0501
78	63.484241	1369.48649
79	64.3087116	1368.80546
80	65.1331823	1368.20148
81	65.957653	1367.62327
82	66.7821236	1367.05792
83	67.6065943	1366.32535
84	68.4310649	1365.38919
85	69.2555356	1364.63961
86	70.0800063	1363.89435
87	70.9044769	1362.66325
88	71.7289476	1361.6583
89	72.5534183	1360.87921
90	73.3778889	1360.1908
91	74.2023596	1359.68249
92	75.0268302	1359.17477

65	52.7661224	1388.0079
66	53.590593	1387.61007
67	54.4150637	1387.25447
68	55.2395344	1387.16321
69	56.064005	1388.41626
70	56.8884757	1388.2818
71	57.7129463	1387.70119
72	58.537417	1387.09418
73	59.3618877	1386.4596
74	60.1863583	1385.90926
75	61.010829	1385.34763
76	61.8352996	1384.58813
77	62.6597703	1383.79793
78	63.484241	1383.08453
79	64.3087116	1382.4394
80	65.1331823	1381.85122
81	65.957653	1381.18014
82	66.7821236	1380.2682
83	67.6065943	1379.49514
84	68.4310649	1378.69742
85	69.2555356	1378.09612
86	70.0800063	1377.20048
87	70.9044769	1375.60082
88	71.7289476	1374.76007
89	72.5534183	1374.13663
90	73.3778889	1373.63224
91	74.2023596	1373.07211
92	75.0268302	1372.33445

93	75.8513009	1358.49592
94	76.6757716	1356.05424
95	77.5002422	1354.65784
96	78.3247129	1353.60556
97	79.1491835	1353.06217
98	79.9736542	1352.51872
99	80.7981249	1351.97846
100	81.6225955	1351.47359
101	82.4470662	1350.89407
102	83.2715369	1350.3442
103	84.0960075	1349.83431
104	84.9204782	1349.24087
105	85.7449488	1348.71083
106	86.5694195	1348.10128
107	87.3938902	1347.56678
108	88.2183608	1347.06925
109	89.0428315	1346.5308
110	89.8673022	1346.06533
111	90.6917728	1345.63925
112	91.5162435	1345.2495
113	92.3407141	1344.80633
114	93.1651848	1344.39846
115	93.9896555	1343.88279
116	94.8141261	1343.4683
117	95.6385968	1342.99911
118	96.4630674	1342.44764
119	97.2875381	1342.03129
120	98.1120088	1341.49481

93	75.8513009	1370.17764
94	76.6757716	1369.00697
95	77.5002422	1367.55767
96	78.3247129	1366.67874
97	79.1491835	1366.28587
98	79.9736542	1365.78398
99	80.7981249	1365.34152
100	81.6225955	1364.84874
101	82.4470662	1364.33895
102	83.2715369	1363.92262
103	84.0960075	1363.41645
104	84.9204782	1362.986
105	85.7449488	1362.40834
106	86.5694195	1361.93663
107	87.3938902	1361.39979
108	88.2183608	1360.87852
109	89.0428315	1360.34463
110	89.8673022	1359.81954
111	90.6917728	1359.25604
112	91.5162435	1358.75106
113	92.3407141	1358.23446
114	93.1651848	1357.63682
115	93.9896555	1357.1246
116	94.8141261	1356.56687
117	95.6385968	1356.05279
118	96.4630674	1355.45919
119	97.2875381	1354.94033
120	98.1120088	1354.42741

121	98.9364794	1341.09457
122	99.7609501	1340.56712
123	100.585421	1340.17612
124	101.409891	1339.72314
125	102.234362	1339.28746
126	103.058833	1338.80092
127	103.883303	1338.39148
128	104.707774	1338.02119
129	105.532245	1337.63084
130	106.356715	1337.15481
131	107.181186	1336.74034
132	108.005657	1336.33374
133	108.830127	1335.87399
134	109.654598	1335.46073
135	110.479069	1335.01118
136	111.303539	1334.4995
137	112.12801	1334.06581
138	112.952481	1333.63852
139	113.776951	1333.08999
140	114.601422	1332.69579
141	115.425893	1332.30673
142	116.250363	1331.89118
143	117.074834	1331.44428
144	117.899305	1331.13338
145	118.723775	1330.8927
146	119.548246	1330.8927
147	120.372717	1330.8927
148	121.197187	1330.8927

121	98.9364794	1353.99178
122	99.7609501	1353.49517
123	100.585421	1352.96045
124	101.409891	1352.46219
125	102.234362	1351.93683
126	103.058833	1351.39803
127	103.883303	1350.96004
128	104.707774	1350.48988
129	105.532245	1350.00118
130	106.356715	1349.49799
131	107.181186	1349.04338
132	108.005657	1348.55152
133	108.830127	1348.12283
134	109.654598	1347.58613
135	110.479069	1347.064
136	111.303539	1346.65877
137	112.12801	1346.31825
138	112.952481	1345.87258
139	113.776951	1345.34555
140	114.601422	1344.95039
141	115.425893	1344.50433
142	116.250363	1344.15297
143	117.074834	1343.85955
144	117.899305	1343.38592
145	118.723775	1343.02668
146	119.548246	1342.71894
147	120.372717	1342.45242
148	121.197187	1342.20609

149	122.021658	1330.8927
150	122.846129	1330.8927
151	123.670599	1330.8927
152	124.49507	1330.8927
153	125.319541	1330.8927
154	126.144011	1330.8927
155	126.968482	1330.8927
156	127.792953	1330.8927
157	128.617423	1330.8927
158	129.441894	1330.8927
159	130.266365	1330.8927
160	131.090835	1330.8927
161	131.915306	1330.8927
162	132.739777	1330.8927
163	133.564247	1330.8927
164	134.388718	1330.8927
165	135.213189	1330.8927
166	136.037659	1330.8927
167	136.86213	1330.8927
168	137.686601	1330.8927
169	138.511071	1330.8927
170	139.335542	1330.8927
171	140.160013	1330.8927
172	140.984483	1330.8927
173	141.808954	1330.8927
174	142.633425	1330.8927
175	143.457895	1330.8927
176	144.282366	1330.8927

149	122.021658	1342.02405
150	122.846129	1342.02405
151	123.670599	1342.02405
152	124.49507	1342.02405
153	125.319541	1342.02405
154	126.144011	1342.02405
155	126.968482	1342.02405
156	127.792953	1342.02405
157	128.617423	1342.02405
158	129.441894	1342.02405
159	130.266365	1342.02405
160	131.090835	1342.02405
161	131.915306	1342.02405
162	132.739777	1342.02405
163	133.564247	1342.02405
164	134.388718	1342.02405
165	135.213189	1342.02405
166	136.037659	1342.02405
167	136.86213	1342.02405
168	137.686601	1342.02405
169	138.511071	1342.02405
170	139.335542	1342.02405
171	140.160013	1342.02405
172	140.984483	1342.02405
173	141.808954	1342.02405
174	142.633425	1342.02405
175	143.457895	1342.02405
176	144.282366	1342.02405

177	145.106837	1330.8927
178	145.931307	1330.8927
179	146.755778	1330.8927
180	147.580248	1330.8927
181	148.404719	1330.8927
182	149.22919	1330.8927

177	145.106837	1342.02405
178	145.931307	1342.02405
179	146.755778	1342.02405
180	147.580248	1342.02405
181	148.404719	1342.02405
182	149.22919	1342.02405

Continúa hasta el ID 1063 cuya distancia es 875 m y altura 1255.88 m
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22: Sección 04

ID	Distance	Oct-20
1	0	1400.50452
2	0.92127668	1400.50928
3	1.84255336	1400.52429
4	2.76383005	1400.51416
5	3.68510673	1400.52868
6	4.60638341	1400.52521
7	5.52766009	1400.53393
8	6.44893678	1400.52491
9	7.37021346	1400.50431
10	8.29149014	1400.52581
11	9.21276682	1400.53578
12	10.1340435	1400.53221

ID	Distance	Nov-21
1	0	1415.34582
2	0.92127668	1415.35887
3	1.84255336	1415.36339
4	2.76383005	1415.35981
5	3.68510673	1415.34195
6	4.60638341	1415.31122
7	5.52766009	1415.30664
8	6.44893678	1415.297
9	7.37021346	1415.29731
10	8.29149014	1415.30023
11	9.21276682	1415.32409
12	10.1340435	1415.31897

13	11.0553202	1400.54745
14	11.9765969	1400.57273
15	12.8978736	1400.54948
16	13.8191502	1400.56037
17	14.7404269	1400.63058
18	15.6617036	1400.6646
19	16.5829803	1400.74018
20	17.504257	1400.66772
21	18.4255336	1400.66772
22	19.3468103	1400.85475
23	20.268087	1400.83661
24	21.1893637	1400.85906
25	22.1106404	1400.87833
26	23.0319171	1400.86816
27	23.9531937	1400.88553
28	24.8744704	1400.92791
29	25.7957471	1401.01844
30	26.7170238	1401.05527
31	27.6383005	1401.1995
32	28.5595772	1401.18672
33	29.4808538	1401.17679
34	30.4021305	1401.14283
35	31.3234072	1401.03555
36	32.2446839	1400.97159
37	33.1659606	1400.93359
38	34.0872373	1400.93298
39	35.0085139	1400.90344
40	35.9297906	1400.97972

13	11.0553202	1415.3247
14	11.9765969	1415.33205
15	12.8978736	1415.34118
16	13.8191502	1415.34427
17	14.7404269	1415.35418
18	15.6617036	1415.36429
19	16.5829803	1415.5272
20	17.504257	1415.44128
21	18.4255336	1415.44128
22	19.3468103	1415.55966
23	20.268087	1415.58589
24	21.1893637	1415.56775
25	22.1106404	1415.56902
26	23.0319171	1415.60178
27	23.9531937	1415.64448
28	24.8744704	1415.65532
29	25.7957471	1415.70772
30	26.7170238	1415.84915
31	27.6383005	1415.98139
32	28.5595772	1416.03137
33	29.4808538	1416.10204
34	30.4021305	1416.18136
35	31.3234072	1416.13795
36	32.2446839	1415.90892
37	33.1659606	1415.6712
38	34.0872373	1415.65361
39	35.0085139	1415.66404
40	35.9297906	1415.67427

41	36.8510673	1400.9593
42	37.772344	1400.98066
43	38.6936207	1400.97051
44	39.6148973	1400.98904
45	40.536174	1400.97159
46	41.4574507	1400.99529
47	42.3787274	1400.9798
48	43.3000041	1400.99936
49	44.2212808	1401.10693
50	45.1425574	1401.04144
51	46.0638341	1401.03577
52	46.9851108	1401.04952
53	47.9063875	1401.10083
54	48.8276642	1401.10025
55	49.7489409	1401.09189
56	50.6702175	1401.10429
57	51.5914942	1401.10424
58	52.5127709	1401.11307
59	53.4340476	1401.12795
60	54.3553243	1401.15213
61	55.2766009	1401.17715
62	56.1978776	1401.1559
63	57.1191543	1401.17318
64	58.040431	1401.1547
65	58.9617077	1401.18916
66	59.8829844	1401.20691
67	60.804261	1401.20555
68	61.7255377	1401.17236

41	36.8510673	1415.68716
42	37.772344	1415.68477
43	38.6936207	1415.68925
44	39.6148973	1415.66565
45	40.536174	1415.6702
46	41.4574507	1415.70374
47	42.3787274	1415.71753
48	43.3000041	1415.72494
49	44.2212808	1415.76924
50	45.1425574	1415.75477
51	46.0638341	1415.786
52	46.9851108	1415.8306
53	47.9063875	1415.83972
54	48.8276642	1415.84459
55	49.7489409	1415.85473
56	50.6702175	1415.83337
57	51.5914942	1415.83184
58	52.5127709	1415.8439
59	53.4340476	1415.8512
60	54.3553243	1415.85106
61	55.2766009	1415.85905
62	56.1978776	1415.88477
63	57.1191543	1415.91117
64	58.040431	1415.86865
65	58.9617077	1415.85357
66	59.8829844	1415.89261
67	60.804261	1415.89836
68	61.7255377	1415.87159

69	62.6468144	1401.20177
70	63.5680911	1401.21544
71	64.4893678	1401.1998
72	65.4106445	1401.17981
73	66.3319211	1401.17784
74	67.2531978	1401.18401
75	68.1744745	1401.16182
76	69.0957512	1401.17738
77	70.0170279	1401.16856
78	70.9383045	1401.17878
79	71.8595812	1401.17251
80	72.7808579	1401.15336
81	73.7021346	1401.1765
82	74.6234113	1401.20084
83	75.544688	1401.18125
84	76.4659646	1401.20224
85	77.3872413	1401.18186
86	78.308518	1401.20987
87	79.2297947	1401.23416
88	80.1510714	1401.21334
89	81.0723481	1401.23645
90	81.9936247	1401.232
91	82.9149014	1401.24459
92	83.8361781	1401.26568
93	84.7574548	1401.29051
94	85.6787315	1401.31431
95	86.6000082	1401.33229
96	87.5212848	1401.35748

69	62.6468144	1415.83929
70	63.5680911	1415.84925
71	64.4893678	1415.82252
72	65.4106445	1415.82116
73	66.3319211	1415.82957
74	67.2531978	1415.80449
75	68.1744745	1415.80608
76	69.0957512	1415.81451
77	70.0170279	1415.78315
78	70.9383045	1415.76435
79	71.8595812	1415.77793
80	72.7808579	1415.79821
81	73.7021346	1415.79014
82	74.6234113	1415.78249
83	75.544688	1415.78938
84	76.4659646	1415.7886
85	77.3872413	1415.7803
86	78.308518	1415.81194
87	79.2297947	1415.81521
88	80.1510714	1415.82337
89	81.0723481	1415.83001
90	81.9936247	1415.83925
91	82.9149014	1415.87616
92	83.8361781	1415.8651
93	84.7574548	1415.87766
94	85.6787315	1415.90175
95	86.6000082	1415.91178
96	87.5212848	1415.91793

97	88.4425615	1401.36086
98	89.3638382	1401.40924
99	90.2851149	1401.43069
100	91.2063916	1401.41797
101	92.1276682	1401.47908
102	93.0489449	1401.46109
103	93.9702216	1401.48284
104	94.8914983	1401.46938
105	95.812775	1401.53082
106	96.7340517	1401.51338
107	97.6553283	1401.53837
108	98.576605	1401.56073
109	99.4978817	1401.54194
110	100.419158	1401.52991
111	101.340435	1401.55109
112	102.261712	1401.56955
113	103.182988	1401.59067
114	104.104265	1401.57263
115	105.025542	1401.55407
116	105.946818	1401.53642
117	106.868095	1401.55704
118	107.789372	1401.53382
119	108.710649	1401.51907
120	109.631925	1401.53849
121	110.553202	1401.48125
122	111.474479	1401.49124
123	112.395755	1401.44441
124	113.317032	1401.4366

97	88.4425615	1415.9618
98	89.3638382	1416.00693
99	90.2851149	1416.01847
100	91.2063916	1415.9885
101	92.1276682	1416.03387
102	93.0489449	1416.03805
103	93.9702216	1416.04612
104	94.8914983	1416.05159
105	95.812775	1416.06037
106	96.7340517	1416.06763
107	97.6553283	1416.07593
108	98.576605	1416.07931
109	99.4978817	1416.09054
110	100.419158	1416.09213
111	101.340435	1416.10433
112	102.261712	1416.10881
113	103.182988	1416.11758
114	104.104265	1416.10923
115	105.025542	1416.0697
116	105.946818	1416.0963
117	106.868095	1416.06894
118	107.789372	1416.02719
119	108.710649	1416.04569
120	109.631925	1416.01569
121	110.553202	1416.00374
122	111.474479	1415.98717
123	112.395755	1415.96179
124	113.317032	1415.935

125	114.238309	1401.45553
126	115.159585	1401.4176
127	116.080862	1401.40715
128	117.002139	1401.39014
129	117.923415	1401.40831
130	118.844692	1401.43209
131	119.765969	1401.37399
132	120.687245	1401.39399
133	121.608522	1401.39311
134	122.529799	1401.39957
135	123.451075	1401.42225
136	124.372352	1401.44008
137	125.293629	1401.46514
138	126.214905	1401.4846
139	127.136182	1401.50138
140	128.057459	1401.51624
141	128.978736	1401.52715
142	129.900012	1401.54724
143	130.821289	1401.54453
144	131.742566	1401.58498
145	132.663842	1401.57483
146	133.585119	1401.56472
147	134.506396	1401.58007
148	135.427672	1401.59611
149	136.348949	1401.6114
150	137.270226	1401.57318
151	138.191502	1401.58749
152	139.112779	1401.56901

125	114.238309	1415.93111
126	115.159585	1415.91112
127	116.080862	1415.88262
128	117.002139	1415.88361
129	117.923415	1415.88381
130	118.844692	1415.88506
131	119.765969	1415.88582
132	120.687245	1415.8773
133	121.608522	1415.88111
134	122.529799	1415.89253
135	123.451075	1415.90372
136	124.372352	1415.92929
137	125.293629	1415.94875
138	126.214905	1415.95805
139	127.136182	1415.97121
140	128.057459	1416.00699
141	128.978736	1416.01344
142	129.900012	1416.02174
143	130.821289	1416.02939
144	131.742566	1416.05601
145	132.663842	1416.04596
146	133.585119	1416.05102
147	134.506396	1416.0271
148	135.427672	1416.02506
149	136.348949	1416.01411
150	137.270226	1416.00373
151	138.191502	1416.00111
152	139.112779	1415.98806

153	140.034056	1401.54983
154	140.955332	1401.54382
155	141.876609	1401.54593
156	142.797886	1401.54614
157	143.719162	1401.54614
158	144.640439	1401.53885
159	145.561716	1401.53846
160	146.482993	1401.54286
161	147.404269	1401.56275
162	148.325546	1401.50509
163	149.246823	1401.51979
164	150.168099	1401.46565

153	140.034056	1415.98202
154	140.955332	1415.95663
155	141.876609	1415.96067
156	142.797886	1415.96185
157	143.719162	1415.94185
158	144.640439	1415.89151
159	145.561716	1406.1208
160	146.482993	1401.71686
161	147.404269	1394.47046
162	148.325546	1393.89857
163	149.246823	1393.3811
164	150.168099	1392.76563

Continúa hasta el ID 1063 cuya distancia es 978 m y altura 1250.41 m
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23: Sección 04

ID	Distance	Oct-20
1	0	1411.1158
2	0.76091213	1411.07181
3	1.52182426	1411.0555
4	2.2827364	1411.03811
5	3.04364853	1411.03256
6	3.80456066	1411.04782
7	4.56547279	1411.01481
8	5.32638492	1410.96882

ID	Distance	Nov-21
1	0	1425.30321
2	0.76091213	1424.97833
3	1.52182426	1424.83551
4	2.2827364	1424.77214
5	3.04364853	1424.78207
6	3.80456066	1424.79584
7	4.56547279	1424.72815
8	5.32638492	1424.71156

9	6.08729706	1410.95834
10	6.84820919	1410.97741
11	7.60912132	1411.0587
12	8.37003345	1411.24769
13	9.13094558	1411.52803
14	9.89185772	1411.83954
15	10.6527698	1411.96833
16	11.413682	1412.00299
17	12.1745941	1411.97483
18	12.9355062	1411.97314
19	13.6964184	1411.97314
20	14.4573305	1411.97622
21	15.2182426	1411.9964
22	15.9791548	1411.97449
23	16.7400669	1411.97151
24	17.500979	1411.96877
25	18.2618912	1412.01483
26	19.0228033	1411.99803
27	19.7837154	1411.98439
28	20.5446276	1412.04229
29	21.3055397	1411.90632
30	22.0664518	1411.46511
31	22.827364	1412.16944
32	23.5882761	1411.94329
33	24.3491882	1411.96448
34	25.1101004	1411.98122
35	25.8710125	1411.97701
36	26.6319246	1412.04083

9	6.08729706	1424.74279
10	6.84820919	1424.7318
11	7.60912132	1424.77556
12	8.37003345	1425.05571
13	9.13094558	1425.3536
14	9.89185772	1425.6515
15	10.6527698	1425.75133
16	11.413682	1425.75694
17	12.1745941	1425.76454
18	12.9355062	1425.74119
19	13.6964184	1425.74814
20	14.4573305	1425.72764
21	15.2182426	1425.72163
22	15.9791548	1425.72282
23	16.7400669	1425.7302
24	17.500979	1425.73708
25	18.2618912	1425.72548
26	19.0228033	1425.72754
27	19.7837154	1425.70303
28	20.5446276	1425.75401
29	21.3055397	1425.03415
30	22.0664518	1424.33595
31	22.827364	1425.88825
32	23.5882761	1425.68843
33	24.3491882	1425.70813
34	25.1101004	1425.75147
35	25.8710125	1425.74958
36	26.6319246	1425.82038

37	27.3928368	1412.12277
38	28.1537489	1412.18231
39	28.914661	1412.24926
40	29.6755731	1412.15558
41	30.4364853	1410.41197
42	31.1973974	1409.62588
43	31.9583095	1408.71414
44	32.7192217	1403.62031
45	33.4801338	1390.3222
46	34.2410459	1379.78103
47	35.0019581	1379.27687
48	35.7628702	1378.75827
49	36.5237823	1378.2762
50	37.2846945	1377.73415
51	38.0456066	1377.24174
52	38.8065187	1376.67923
53	39.5674309	1376.00437
54	40.328343	1375.25063
55	41.0892551	1374.61415
56	41.8501673	1373.85264
57	42.6110794	1373.2437
58	43.3719915	1372.59147
59	44.1329037	1372.04512
60	44.8938158	1371.52991
61	45.6547279	1370.79201
62	46.4156401	1370.00674
63	47.1765522	1369.38088
64	47.9374643	1368.91254

37	27.3928368	1425.87101
38	28.1537489	1425.97132
39	28.914661	1426.05705
40	29.6755731	1426.04079
41	30.4364853	1424.19003
42	31.1973974	1423.82242
43	31.9583095	1423.28486
44	32.7192217	1419.07578
45	33.4801338	1408.99784
46	34.2410459	1394.59121
47	35.0019581	1392.54218
48	35.7628702	1392.03627
49	36.5237823	1391.45
50	37.2846945	1390.87771
51	38.0456066	1390.23764
52	38.8065187	1389.69828
53	39.5674309	1389.08464
54	40.328343	1388.62619
55	41.0892551	1387.90454
56	41.8501673	1387.25695
57	42.6110794	1386.63875
58	43.3719915	1386.11329
59	44.1329037	1385.68131
60	44.8938158	1385.24235
61	45.6547279	1384.95377
62	46.4156401	1384.58557
63	47.1765522	1383.95561
64	47.9374643	1383.56077

65	48.6983764	1368.54697
66	49.4592886	1368.20948
67	50.2202007	1367.94947
68	50.9811128	1367.61271
69	51.742025	1367.11971
70	52.5029371	1366.4811
71	53.2638492	1365.76581
72	54.0247614	1365.15701
73	54.7856735	1364.46452
74	55.5465856	1363.83862
75	56.3074978	1363.25643
76	57.0684099	1362.52016
77	57.829322	1361.55975
78	58.5902342	1360.9139
79	59.3511463	1360.60207
80	60.1120584	1359.9948
81	60.8729706	1359.00921
82	61.6338827	1357.96443
83	62.3947948	1357.4046
84	63.155707	1356.90152
85	63.9166191	1356.36313
86	64.6775312	1355.90107
87	65.4384434	1355.36302
88	66.1993555	1354.95319
89	66.9602676	1354.43531
90	67.7211797	1354.01344
91	68.4820919	1353.5464
92	69.243004	1353.09678

65	48.6983764	1383.10654
66	49.4592886	1382.35857
67	50.2202007	1381.773
68	50.9811128	1381.13027
69	51.742025	1380.36123
70	52.5029371	1379.58597
71	53.2638492	1378.74737
72	54.0247614	1378.20105
73	54.7856735	1376.95224
74	55.5465856	1375.92336
75	56.3074978	1375.13802
76	57.0684099	1374.9283
77	57.829322	1374.89058
78	58.5902342	1374.47129
79	59.3511463	1374.30687
80	60.1120584	1373.70426
81	60.8729706	1372.97382
82	61.6338827	1372.5221
83	62.3947948	1370.80847
84	63.155707	1369.24856
85	63.9166191	1368.78712
86	64.6775312	1368.34473
87	65.4384434	1367.85024
88	66.1993555	1367.32117
89	66.9602676	1366.87702
90	67.7211797	1366.39488
91	68.4820919	1365.80259
92	69.243004	1365.29665

93	70.0039161	1352.58049
94	70.7648283	1352.09986
95	71.5257404	1351.60939
96	72.2866525	1351.09986
97	73.0475647	1350.66191
98	73.8084768	1350.11383
99	74.5693889	1349.70102
100	75.3303011	1349.19403
101	76.0912132	1348.66241
102	76.8521253	1348.15658
103	77.6130375	1347.63524
104	78.3739496	1347.19177
105	79.1348617	1346.83794
106	79.8957739	1346.52095
107	80.656686	1346.27667
108	81.4175981	1345.87618
109	82.1785103	1345.50343
110	82.9394224	1345.04486
111	83.7003345	1344.54147
112	84.4612467	1344.04995
113	85.2221588	1343.61401
114	85.9830709	1343.07071
115	86.743983	1342.65615
116	87.5048952	1342.2863
117	88.2658073	1341.87785
118	89.0267194	1341.6989
119	89.7876316	1341.61401
120	90.5485437	1341.47742

93	70.0039161	1364.77308
94	70.7648283	1364.30041
95	71.5257404	1363.80904
96	72.2866525	1363.29328
97	73.0475647	1362.75802
98	73.8084768	1362.26525
99	74.5693889	1361.8599
100	75.3303011	1361.36072
101	76.0912132	1360.92116
102	76.8521253	1360.4708
103	77.6130375	1359.97602
104	78.3739496	1359.51794
105	79.1348617	1359.02868
106	79.8957739	1358.51536
107	80.656686	1358.12212
108	81.4175981	1357.77215
109	82.1785103	1357.45418
110	82.9394224	1357.10746
111	83.7003345	1356.69819
112	84.4612467	1356.20306
113	85.2221588	1355.69537
114	85.9830709	1355.26311
115	86.743983	1354.72919
116	87.5048952	1354.338
117	88.2658073	1353.97597
118	89.0267194	1353.63254
119	89.7876316	1353.31966
120	90.5485437	1353.18279

121	91.3094558	1341.29163
122	92.070368	1341.14714
123	92.8312801	1341.17425
124	93.5921922	1341.17133
125	94.3531044	1341.18749
126	95.1140165	1341.11644
127	95.8749286	1340.93626
128	96.6358408	1340.71486
129	97.3967529	1340.52925
130	98.157665	1340.38485
131	98.9185772	1340.17379
132	99.6794893	1339.92183
133	100.440401	1339.74152
134	101.201314	1339.41745
135	101.962226	1339.17986
136	102.723138	1338.90094
137	103.48405	1338.39441
138	104.244962	1338.12798
139	105.005874	1337.99125
140	105.766786	1337.91497
141	106.527698	1337.85428
142	107.288611	1337.72102
143	108.049523	1337.77147
144	108.810435	1338.16866
145	109.571347	1338.57073
146	110.332259	1339.00084
147	111.093171	1339.42366
148	111.854083	1339.55354

121	91.3094558	1353.16054
122	92.070368	1352.95722
123	92.8312801	1352.8558
124	93.5921922	1352.79089
125	94.3531044	1352.88645
126	95.1140165	1352.9215
127	95.8749286	1352.92894
128	96.6358408	1352.89776
129	97.3967529	1352.67193
130	98.157665	1352.473
131	98.9185772	1352.31
132	99.6794893	1352.24501
133	100.440401	1352.04509
134	101.201314	1351.86064
135	101.962226	1351.59762
136	102.723138	1351.36803
137	103.48405	1351.10763
138	104.244962	1350.78035
139	105.005874	1350.40084
140	105.766786	1350.13627
141	106.527698	1349.98569
142	107.288611	1349.94785
143	108.049523	1349.86173
144	108.810435	1349.79978
145	109.571347	1349.82889
146	110.332259	1350.28784
147	111.093171	1350.72878
148	111.854083	1351.1177

149	112.614996	1339.36116
150	113.375908	1338.95858
151	114.13682	1338.44547
152	114.897732	1338.11571
153	115.658644	1337.79463
154	116.419556	1337.55628
155	117.180468	1337.28026
156	117.94138	1336.9784
157	118.702293	1336.58704
158	119.463205	1336.18288
159	120.224117	1335.61635
160	120.985029	1335.21366
161	121.745941	1334.92181
162	122.506853	1334.66417
163	123.267765	1334.3699
164	124.028678	1334.11648
165	124.78959	1333.76188
166	125.550502	1333.29955
167	126.311414	1332.92984
168	127.072326	1332.54906
169	127.833238	1332.21617
170	128.59415	1331.95757
171	129.355062	1331.84189
172	130.115975	1331.6241
173	130.876887	1331.31149
174	131.637799	1330.87645
175	132.398711	1330.41224
176	133.159623	1330.14295

149	112.614996	1351.4095
150	113.375908	1351.4873
151	114.13682	1351.4294
152	114.897732	1350.96715
153	115.658644	1350.43322
154	116.419556	1349.97882
155	117.180468	1349.44886
156	117.94138	1349.12707
157	118.702293	1348.82992
158	119.463205	1348.5424
159	120.224117	1348.23788
160	120.985029	1347.85403
161	121.745941	1347.26075
162	122.506853	1346.76748
163	123.267765	1346.3585
164	124.028678	1346.06965
165	124.78959	1345.82839
166	125.550502	1345.51899
167	126.311414	1345.33349
168	127.072326	1345.06495
169	127.833238	1344.63324
170	128.59415	1344.16612
171	129.355062	1343.69796
172	130.115975	1343.32826
173	130.876887	1342.96669
174	131.637799	1342.79883
175	132.398711	1343.15219
176	133.159623	1343.00725

177	133.920535	1329.68984
178	134.681447	1329.09145
179	135.442359	1328.73498
180	136.203272	1328.28129
181	136.964184	1327.90707
182	137.725096	1327.82996
183	138.486008	1327.4178
184	139.24692	1327.02538
185	140.007832	1326.67058
186	140.768744	1326.36975
187	141.529657	1326.30923
188	142.290569	1326.23956
189	143.051481	1326.04043
190	143.812393	1325.73411
191	144.573305	1325.40681
192	145.334217	1325.13787
193	146.095129	1324.79133
194	146.856041	1324.43724
195	147.616954	1323.96055
196	148.377866	1323.94226
197	149.138778	1324.28345
198	149.89969	1324.26447
199	150.660602	1324.17143

177	133.920535	1342.82629
178	134.681447	1342.48841
179	135.442359	1341.89045
180	136.203272	1341.73644
181	136.964184	1341.43979
182	137.725096	1340.96647
183	138.486008	1340.67302
184	139.24692	1340.20647
185	140.007832	1339.93639
186	140.768744	1339.88154
187	141.529657	1339.63314
188	142.290569	1339.33673
189	143.051481	1338.92403
190	143.812393	1338.53299
191	144.573305	1338.43241
192	145.334217	1338.27828
193	146.095129	1338.16656
194	146.856041	1337.79537
195	147.616954	1337.37276
196	148.377866	1337.0392
197	149.138778	1336.63822
198	149.89969	1336.44784
199	150.660602	1336.05877

Continúa hasta el ID 1063 cuya distancia es 808 m y altura 1256.66 m

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24: Sección 05

ID	Distance	Oct-20
1	0	1414.5374
2	0.82141279	1414.49892
3	1.64282558	1414.45178
4	2.46423837	1414.45247
5	3.28565116	1414.45675
6	4.10706395	1414.44583
7	4.92847674	1414.39218
8	5.74988953	1414.3822
9	6.57130232	1414.39881
10	7.39271511	1414.35877
11	8.2141279	1414.33613
12	9.03554069	1414.32401
13	9.85695348	1414.22615
14	10.6783663	1414.17982
15	11.4997791	1414.19534
16	12.3211919	1414.18503
17	13.1426046	1414.21187
18	13.9640174	1414.16858
19	14.7854302	1414.22793
20	15.606843	1414.17839
21	16.4282558	1414.12192
22	17.2496686	1414.1093
23	18.0710814	1414.09579
24	18.8924942	1414.07714
25	19.713907	1414.02409
26	20.5353198	1414.01142

ID	Distance	Nov-21
1	0	1428.00398
2	0.82141279	1427.99584
3	1.64282558	1427.99268
4	2.46423837	1427.98857
5	3.28565116	1427.97219
6	4.10706395	1427.97159
7	4.92847674	1427.93049
8	5.74988953	1427.91347
9	6.57130232	1427.88272
10	7.39271511	1427.87122
11	8.2141279	1427.83124
12	9.03554069	1427.79692
13	9.85695348	1427.73124
14	10.6783663	1427.70537
15	11.4997791	1427.69658
16	12.3211919	1427.69641
17	13.1426046	1427.70455
18	13.9640174	1427.71474
19	14.7854302	1427.68049
20	15.606843	1427.66614
21	16.4282558	1427.66049
22	17.2496686	1427.62561
23	18.0710814	1427.61096
24	18.8924942	1427.60422
25	19.713907	1427.58525
26	20.5353198	1427.55656

27	21.3567325	1413.99739
28	22.1781453	1414.02543
29	22.9995581	1414.01498
30	23.8209709	1413.91594
31	24.6423837	1413.91349
32	25.4637965	1413.93292
33	26.2852093	1413.92009
34	27.1066221	1413.86452
35	27.9280349	1413.85477
36	28.7494477	1413.83788
37	29.5708605	1413.79272
38	30.3922732	1413.81341
39	31.213686	1413.80077
40	32.0350988	1413.81235
41	32.8565116	1413.82697
42	33.6779244	1413.80096
43	34.4993372	1413.78811
44	35.32075	1413.82532
45	36.1421628	1413.72544
46	36.9635756	1413.75239
47	37.7849884	1413.73406
48	38.6064011	1413.70534
49	39.4278139	1413.68822
50	40.2492267	1413.69972
51	41.0706395	1413.64405
52	41.8920523	1413.59327
53	42.7134651	1413.57085
54	43.5348779	1413.56464

27	21.3567325	1427.52074
28	22.1781453	1427.50707
29	22.9995581	1427.53012
30	23.8209709	1427.49792
31	24.6423837	1427.45016
32	25.4637965	1427.43844
33	26.2852093	1427.3757
34	27.1066221	1427.36446
35	27.9280349	1427.38149
36	28.7494477	1427.35718
37	29.5708605	1427.34122
38	30.3922732	1427.29815
39	31.213686	1427.29966
40	32.0350988	1427.32499
41	32.8565116	1427.34671
42	33.6779244	1427.34085
43	34.4993372	1427.3359
44	35.32075	1427.32657
45	36.1421628	1427.29684
46	36.9635756	1427.29007
47	37.7849884	1427.2605
48	38.6064011	1427.24238
49	39.4278139	1427.2338
50	40.2492267	1427.19622
51	41.0706395	1427.1885
52	41.8920523	1427.17553
53	42.7134651	1427.1258
54	43.5348779	1427.08978

55	44.3562907	1413.50744
56	45.1777035	1413.48966
57	45.9991163	1413.39912
58	46.8205291	1413.37994
59	47.6419418	1413.35135
60	48.4633546	1413.3063
61	49.2847674	1413.30175
62	50.1061802	1413.27185
63	50.927593	1413.31249
64	51.7490058	1413.29215
65	52.5704186	1413.21179
66	53.3918314	1413.23217
67	54.2132442	1413.21727
68	55.034657	1413.24782
69	55.8560697	1413.24707
70	56.6774825	1413.2265
71	57.4988953	1413.21569
72	58.3203081	1413.26521
73	59.1417209	1413.22938
74	59.9631337	1413.23254
75	60.7845465	1413.19092
76	61.6059593	1413.27366
77	62.4273721	1413.20798
78	63.2487849	1413.20154
79	64.0701976	1413.19844
80	64.8916104	1413.19923
81	65.7130232	1413.25237
82	66.534436	1413.20174

55	44.3562907	1427.06392
56	45.1777035	1427.01792
57	45.9991163	1426.99891
58	46.8205291	1426.92097
59	47.6419418	1426.91458
60	48.4633546	1426.89596
61	49.2847674	1426.86293
62	50.1061802	1426.83456
63	50.927593	1426.81545
64	51.7490058	1426.80663
65	52.5704186	1426.78296
66	53.3918314	1426.78341
67	54.2132442	1426.80493
68	55.034657	1426.78824
69	55.8560697	1426.7944
70	56.6774825	1426.83234
71	57.4988953	1426.8053
72	58.3203081	1426.80247
73	59.1417209	1426.79307
74	59.9631337	1426.78858
75	60.7845465	1426.77912
76	61.6059593	1426.73568
77	62.4273721	1426.71788
78	63.2487849	1426.72649
79	64.0701976	1426.5523
80	64.8916104	1418.10408
81	65.7130232	1416.93795
82	66.534436	1409.97875

83	67.3558488	1413.21373
84	68.1772616	1413.14068
85	68.9986744	1413.30844
86	69.8200872	1413.14956
87	70.6415	1407.05442
88	71.4629128	1404.06142
89	72.2843256	1398.15107
90	73.1057383	1397.69641
91	73.9271511	1397.12822
92	74.7485639	1396.62994
93	75.5699767	1396.1554
94	76.3913895	1395.81532
95	77.2128023	1395.43575
96	78.0342151	1394.9395
97	78.8556279	1394.10017
98	79.6770407	1393.12647
99	80.4984535	1392.22346
100	81.3198662	1390.91295
101	82.141279	1389.80272
102	82.9626918	1388.43295
103	83.7841046	1387.13699
104	84.6055174	1386.5962
105	85.4269302	1385.75353
106	86.248343	1384.96512
107	87.0697558	1384.00827
108	87.8911686	1383.22023
109	88.7125814	1380.7735
110	89.5339941	1378.67317

83	67.3558488	1409.39044
84	68.1772616	1408.84545
85	68.9986744	1408.15259
86	69.8200872	1407.76774
87	70.6415	1407.17227
88	71.4629128	1406.91018
89	72.2843256	1406.42865
90	73.1057383	1405.98218
91	73.9271511	1405.60429
92	74.7485639	1405.27004
93	75.5699767	1404.99342
94	76.3913895	1404.60783
95	77.2128023	1404.2352
96	78.0342151	1403.44972
97	78.8556279	1401.8154
98	79.6770407	1400.3072
99	80.4984535	1399.64209
100	81.3198662	1399.05483
101	82.141279	1398.26721
102	82.9626918	1397.45994
103	83.7841046	1396.68142
104	84.6055174	1395.98718
105	85.4269302	1395.15846
106	86.248343	1394.51542
107	87.0697558	1393.91233
108	87.8911686	1393.14188
109	88.7125814	1392.42608
110	89.5339941	1391.84448

111	90.3554069	1377.7121
112	91.1768197	1377.07907
113	91.9982325	1376.20564
114	92.8196453	1375.73176
115	93.6410581	1375.20625
116	94.4624709	1374.8112
117	95.2838837	1374.34758
118	96.1052965	1373.87868
119	96.9267093	1373.46254
120	97.7481221	1373.02133
121	98.5695348	1372.48571
122	99.3909476	1371.97107
123	100.21236	1371.58166
124	101.033773	1371.23362
125	101.855186	1370.69438
126	102.676599	1370.13615
127	103.498012	1369.5774
128	104.319424	1369.07967
129	105.140837	1368.62848
130	105.96225	1368.15297
131	106.783663	1367.6497
132	107.605076	1367.19304
133	108.426488	1366.87353
134	109.247901	1366.32547
135	110.069314	1365.87695
136	110.890727	1365.43935
137	111.712139	1364.91237
138	112.533552	1364.59672

111	90.3554069	1390.98011
112	91.1768197	1389.79084
113	91.9982325	1387.85736
114	92.8196453	1386.57032
115	93.6410581	1384.64896
116	94.4624709	1384.31965
117	95.2838837	1383.96185
118	96.1052965	1383.46344
119	96.9267093	1383.02199
120	97.7481221	1382.53563
121	98.5695348	1382.03657
122	99.3909476	1381.53628
123	100.21236	1381.04974
124	101.033773	1380.51042
125	101.855186	1379.99786
126	102.676599	1379.47491
127	103.498012	1378.88074
128	104.319424	1378.31941
129	105.140837	1377.72443
130	105.96225	1377.27267
131	106.783663	1376.619
132	107.605076	1376.26107
133	108.426488	1375.74339
134	109.247901	1375.20602
135	110.069314	1374.80523
136	110.890727	1374.44723
137	111.712139	1374.06525
138	112.533552	1373.56843

139	113.354965	1364.09516
140	114.176378	1363.77749
141	114.997791	1363.54283
142	115.819203	1363.47575
143	116.640616	1363.24584
144	117.462029	1363.06531
145	118.283442	1362.71953
146	119.104855	1362.49476
147	119.926267	1362.0295
148	120.74768	1361.72817
149	121.569093	1361.43297
150	122.390506	1360.99913
151	123.211919	1360.36869
152	124.033331	1360.42145
153	124.854744	1360.04372
154	125.676157	1359.51741
155	126.49757	1358.96737
156	127.318983	1358.51389
157	128.140395	1357.96024
158	128.961808	1357.34941
159	129.783221	1356.67367
160	130.604634	1356.17722
161	131.426046	1356.11968
162	132.247459	1356.00161
163	133.068872	1356.95588
164	133.890285	1358.16348
165	134.711698	1357.16305
166	135.53311	1354.43148

139	113.354965	1373.11674
140	114.176378	1372.74697
141	114.997791	1372.21708
142	115.819203	1371.75594
143	116.640616	1371.29444
144	117.462029	1370.85567
145	118.283442	1370.45973
146	119.104855	1369.896
147	119.926267	1369.50252
148	120.74768	1369.0989
149	121.569093	1368.68962
150	122.390506	1368.41748
151	123.211919	1368.30908
152	124.033331	1368.38823
153	124.854744	1368.26438
154	125.676157	1368.41091
155	126.49757	1368.6204
156	127.318983	1368.80969
157	128.140395	1368.55465
158	128.961808	1368.14894
159	129.783221	1367.59383
160	130.604634	1367.04029
161	131.426046	1366.84127
162	132.247459	1366.25347
163	133.068872	1365.67351
164	133.890285	1365.04604
165	134.711698	1364.3978
166	135.53311	1363.7574

167	136.354523	1353.91649
168	137.175936	1353.34431
169	137.997349	1352.85775
170	138.818762	1352.50938
171	139.640174	1352.43123
172	140.461587	1352.025
173	141.283	1351.36819
174	142.104413	1350.75004
175	142.925826	1349.82798
176	143.747238	1349.28363
177	144.568651	1348.90865
178	145.390064	1348.8581
179	146.211477	1348.67702
180	147.032889	1348.30532
181	147.854302	1347.76417
182	148.675715	1347.28424
183	149.497128	1346.80409
184	150.318541	1346.39658

167	136.354523	1363.23652
168	137.175936	1362.66528
169	137.997349	1362.20537
170	138.818762	1361.72123
171	139.640174	1361.53963
172	140.461587	1361.35681
173	141.283	1361.16394
174	142.104413	1361.66433
175	142.925826	1363.46558
176	143.747238	1363.93328
177	144.568651	1361.59544
178	145.390064	1360.99709
179	146.211477	1360.42665
180	147.032889	1359.97123
181	147.854302	1359.49411
182	148.675715	1359.01118
183	149.497128	1358.33239
184	150.318541	1357.79817

Continúa hasta el ID 1063 cuya distancia es 872 m y altura 1274.30 m

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5: Permiso de la empresa



Lima, 25 de septiembre de 2022

Por la presente, autorizamos al Sr Aviles Valenzuela, Daniel Eduardo a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías de la empresa para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

.....
Ing. Sergio Aviles Córdoba
Representante Legal
Geodata Engineering S.P.A. en le Perú

Geodata Engineering SpA en el Perú

sac@geodata.it

www.geodata.it