

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO  
TOPOGRÁFICO CON DRONES RESPECTO AL MÉTODO  
TRADICIONAL EN PROYECTOS DE SIEMBRA Y COSECHA  
DE AGUA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**JHONATAN TERRY OROSCO AMBAS**

**LIMA - PERÚ**

**2022**








## Document Information

---

Analyzed document	TSP_ OROSCO JHONATAN.docx (D158388106)
Submitted	2023-02-11 01:24:00
Submitted by	Jorge Luis, Diaz Rimarachin
Submitter email	jdiaz@lamolina.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	jdiaz.unalm@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>SA</b>	<b>Tesis - diego- final 1.pdf</b> Document Tesis - diego- final 1.pdf (D131056464)		1
<b>SA</b>	<b>TRABAJO DE TITULACION ANTEPARA KATTIA - HUACON GÉNESIS.docx</b> Document TRABAJO DE TITULACION ANTEPARA KATTIA - HUACON GÉNESIS.docx (D54789888)		1
<b>SA</b>	<b>Final - Taller de Tesis 2_Infante Quispe Isaac Hernan.pdf</b> Document Final - Taller de Tesis 2_Infante Quispe Isaac Hernan.pdf (D141601684)		1
<b>SA</b>	<b>TESIS FOTOGRAMETRIA - INFORME FINAL.docx</b> Document TESIS FOTOGRAMETRIA - INFORME FINAL.docx (D139697923)		1
<b>SA</b>	<b>Trabajo de Suficiencia Profesional Esau Samaniego.docx</b> Document Trabajo de Suficiencia Profesional Esau Samaniego.docx (D121153452)		3
<b>SA</b>	<b>UNC_2022_CIVIL_ALEXANDER-VASQUEZ-CASTAÑEDA_REV1.pdf</b> Document UNC_2022_CIVIL_ALEXANDER-VASQUEZ-CASTAÑEDA_REV1.pdf (D132873829)		5
<b>SA</b>	<b>MarinEscalante Jorge Sixto_VilelaCabada JoseWilson.docx</b> Document MarinEscalante Jorge Sixto_VilelaCabada JoseWilson.docx (D120843386)		1

## Entire Document

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRONES RESPECTO AL MÉTODO TRADICIONAL EN PROYECTOS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA"  
TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA  
JHONATAN TERRY OROSCO AMBAS  
LIMA - PERÚ  
2022  
DEDICATORIA  
Este trabajo es dedicado a mi madre Paulina y mi tía Josefina, quienes siempre me han acompañado en el cumplimiento de mis metas.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON  
DRONES RESPECTO AL MÉTODO TRADICIONAL EN PROYECTOS DE  
SIEMBRA Y COSECHA  
DE AGUA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. JHONATAN TERRY OROSCO AMBAS**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. RAÚL ARNALDO ESPINOZA VILLAR  
Presidente

Mestre. JORGE LUÍS DÍAZ RIMARACHIN  
Asesor

Mg. Sc. JOSELITO JERSIN ROBLES SILVESTRE  
Miembro

Ing. JOSÉ BERNARDINO ARAPA QUISPE  
Miembro

LIMA – PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a mi madre Paulina y mi tía Josefina, quienes siempre me han acompañado en el cumplimiento de mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia, por su permanente aliento y motivación.

Al Ing. Jorge Luis Diaz Rimarachín por su comprensión y apoyo en el desarrollo de este trabajo de suficiencia profesional.

A mis compañeros de trabajo, por el apoyo en las labores que ayudaron a realizar este trabajo.

A la ingeniera Julia Huamani Buitrón, por su constante apoyo y confianza en los trabajos realizados conjuntamente.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. TOPOGRAFIA Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.....	3
2.2. EQUIPOS TOPOGRAFICOS, GEODESICOS Y FOTOGRAMETRICOS.....	3
2.2.1. Estación Total .....	3
2.2.2. Sistema de posicionamiento Global (GPS).....	4
2.2.3. Equipos Geodésicos Receptores GPS Diferenciales .....	4
2.2.4. Aeronaves Pilotadas Remotamente RPA-Drones.....	5
2.3. FOTOGRAMETRÍA.....	6
2.3.1. Fotogrametría con drones .....	7
2.4. PROYECTOS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA .....	8
<b>III. DESARROLLO DEL TRABAJO .....</b>	<b>9</b>
3.1. ELECCIÓN DEL TIPO DE PROYECTO, ZONA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y CONSIDERACIONES PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	9
3.1.1. Tipo de proyecto .....	9
3.1.2. Zona de levantamiento topográfico .....	11
3.1.3. Consideraciones técnicas para el levantamiento topográfico .....	14
3.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	16
3.2.1. Levantamiento topográfico con Estación total .....	16
3.2.2. Levantamiento topográfico con GNSS/GNS- diferencial .....	20
3.2.3. Levantamiento topográfico con dron mediante fotografías aéreas y puntos de control .....	23
3.2.4. Levantamiento topográfico con dron RTK.....	40

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
4.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....	44
4.1.1. Resultados obtenidos con estación total .....	44
4.1.2. Resultados obtenidos con el GNSS diferencial .....	46
4.1.3. Resultados obtenidos en levantamientos topográficos con drones y puntos de control .....	50
4.1.4. Resultado de levantamiento topográfico con dron RTK .....	55
4.2. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍA EN BASE A LOS PRODUCTOS OBTENIDOS.....	55
4.2.1. Comparativo del levantamiento topográfico de qochas.....	55
4.2.2. Comparativo de levantamientos topográficos en clausura de praderas .....	64
4.2.3. Comparación de levantamiento topográficos en micro reservorios .....	64
4.2.4. Comparación de perfiles longitudinales generados con los 3 levantamientos topográficos .....	68
4.2.5. Comparación de personal y recursos utilizados.....	72
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>78</b>
<b>VIII. ANEXOS .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de la Estación total Topcon modelo OS-105 .....	17
Tabla 2: Características del GNSS DIFERENCIAL MODELO SOUTH G-1 PLUS IMU 20	
Tabla 3: Especificaciones técnicas del dron DJI PHANTON 4 PRO .....	24
Tabla 4: Especificaciones técnicas del dron Phantom 4 RTK.....	40
Tabla 5: Movimiento de tierras calculado para un proyecto de qochas a partir de un levantamiento topográfico con estación total .....	58
Tabla 6: Movimiento de tierras calculado para un proyecto de qochas a partir de un levantamiento topográfico con GNSS diferencial .....	59
Tabla 7: Movimiento de tierras calculado para un proyecto de qochas a partir de un levantamiento topográfico con drones.....	60
Tabla 8: Cálculo de los movimientos de tierra realizados en base a un levantamiento topográfico con un GNSS diferencial en un proyecto de micro reservorio.....	68
Tabla 9: Cálculo de los movimientos de tierra realizados en base a un levantamiento topográfico con un GNSS dron en un proyecto de micro reservorio .....	68
Tabla 10: Comparación de cotas de los levantamientos realizados.....	70
Tabla 11: Análisis de cotas de los levantamientos realizados .....	71
Tabla 12: Personal utilizado con cada uno de los métodos en el levantamiento topográfico de una qocha.....	72
Tabla 13: Personal utilizado con cada uno de los métodos en el levantamiento topográfico de un proyecto de clausura de praderas.....	72
Tabla 14. Personal utilizado con cada uno de los métodos en el levantamiento topográfico de un proyecto de micro reservorios .....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modo de trabajo de un GNSS diferencial .....	5
Figura 2: Esquema de un proyecto de qocha.....	10
Figura 3: Esquema de un proyecto de clausura de praderas.....	10
Figura 4: Vista satelital de la qocha analizada del expediente técnico de inversión .....	12
Figura 5: Vista satelital de la zona del proyecto de clausura de praderas analizado de la ficha de detalle técnico .....	13
Figura 6: Vista satelital de la zona del proyecto de microreservorio analizado de la ficha de detalle técnico .....	14
Figura 7: Resumen gráfico de lo que se pide en los TDR de topografía.....	15
Figura 8: Esquema de levantamiento topográfico de vaso natural.....	16
Figura 9: Estación Total TOPCON OS – 105 .....	18
Figura 10: Inicio del levantamiento topográfico con Estación Total TOPCON OS-105 ....	19
Figura 11: GNSS Diferencial, modelo SOTUH G-1 PLUS IMU .....	21
Figura 12: Instalación del GNSS diferencial para el trabajo de levantamiento topográfico en una qocha.....	22
Figura 13: Marcado de puntos alrededor de la qocha.....	23
Figura 14: Dron Phantom 4 PRO.....	25
Figura 15: Marcado de los puntos de control .....	26
Figura 16: Posicionamiento satelital de puntos de control.....	27
Figura 17: Plan de vuelo de la zona de interés .....	28
Figura 18: Vuelo realizado zona de interés .....	29
Figura 19: Secuencia de procesamiento de imágenes en Agisoft Metashape .....	30
Figura 20: Fotografías del plan de vuelo ejecutado con importación de las imágenes al software Agisoft Metashape .....	31
Figura 21: Importación de puntos de control.....	32
Figura 22: Alineación de las fotografías.....	33
Figura 23: Asignación de puntos de control para orientar las imágenes .....	34
Figura 24: Vista perfil de la nube densa de puntos.....	35
Figura 25: Clasificación de puntos luego del proceso de generación de nube de puntos densa.....	36
Figura 26: Creación de la malla del proyecto de vuelo de zona de intereses .....	37

Figura 27: Resultado MDE del proyecto de vuelo de zona de interés .....	37
Figura 28: Curvas de nivel generadas y superpuestas al DEM .....	38
Figura 29 Ortofoto generada del proyecto de clausura de praderas. Proyecto de interés...	39
Figura 30. Curvas de nivel superpuestas a la ortofoto generada en el proyecto de clausura de praderas.....	39
Figura 31: Dron Phantom 4 RTK .....	41
Figura 32: Vuelo de dron con puntos de control geodésicos, modo RTK.....	42
Figura 33: Secuencia de procesamiento de fotografías con el aplicativo AGISOFT METASHAPE con imágenes geoetiquetados .....	43
Figura 34: Puntos topográficos levantados con una estación total alrededor de una qocha.....	44
Figura 35: Triangulación reticular de una superficie generada con un levantamiento topográfico con estación total en una qocha.....	45
Figura 36: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con estación total en una qocha.....	45
Figura 37: Puntos topográficos levantados con un GNSS Diferencial alrededor de una qocha.....	47
Figura 38: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con GNSS diferencial en una qocha .....	47
Figura 39: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un GNSS diferencial en una qocha.....	48
Figura 40: Puntos topográficos levantados con un GNSS Diferencial para un micro reservorio .....	49
Figura 41: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con GNSS diferencial para un micro reservorio.....	49
Figura 42: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un GNSS diferencial en un microreservorio.....	50
Figura 43: Puntos sobre la superficie generados a partir de un DEM creado con un levantamiento con drones, para una qocha.....	51
Figura 44: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con dron para una qocha.....	51
Figura 45: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un dron en un qocha.....	52
Figura 46: Puntos sobre la superficie generados a partir de un DEM creado con un	

levantamiento con drones, para un proyecto de clausura de praderas, visualizados en el programa Agisoft Metashape.....	52
Figura 47: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con Drones para un proyecto de clausura de praderas, en el software Agisoft Metashape.	53
Figura 48: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un dron en n proyecto de clausura de praderas.....	53
Figura 49: Puntos sobre la superficie generados a partir de un DEM creado con un levantamiento con dron, para un microreservorio .....	54
Figura 50: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con dron para un micro reservorio.....	54
Figura 51: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un dron en un qocha.....	55
Figura 52: Vista en planta del dique planteado en la qocha .....	56
Figura 53: Perfil del dique planteado en la qocha .....	57
Figura 54: Volumen de embalse de la qocha, obtenido del levantamiento topográfico con estación total .....	61
Figura 55: Volumen de embalse de la qocha obtenido del levantamiento topográfico con GNSS diferencial .....	62
Figura 56: Volumen de embalse de la qocha obtenido del levantamiento topográfico con un drones.....	63
Figura 57: Cálculos del diseño hidráulico usados en el micro reservorio planteado .....	65
Figura 58: Descripción de las partes del micro reservorio planteado en el proyecto .....	66
Figura 59: Perfil del micro reservorio diseñado .....	67
Figura 60: Perfil del cálculo de corte y relleno del microreservorio planteado .....	67
Figura 61: Tramo 1 del perfil longitudinal de comparación de superficies levantadas con estación total, GNSS y dron.....	69
Figura 62: Tramo 2 del perfil longitudinal de comparación de superficies levantadas con estación total, GNSS y dron.....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Informe de procesamiento fotogramétrico de un proyecto de qochas con el programa Agisoft Metashape.....	80
Anexo 2: Informe de procesamiento fotogramétrico de un proyecto de praderas con el programa Agisoft Metashape.....	88
Anexo 3: Informe de procesamiento fotogramétrico de un proyecto de microreservorios con el programa Agisoft Metashape. ....	97
Anexo 4: Plano de perfil del dique planteado en el proyecto de la qocha Lambrasqocha.	105
Anexo 5: Plano topográfico de los perfiles de terreno realizados de acuerdo a la topografía de cada levantamiento topográfico en el proyecto de qochas. ....	107
Anexo 6: Plano topográfico de los resultados de las curvas de nivel del proyecto de clausura de praderas.....	108
Anexo 7: Plano topográfico de los resultados de las curvas de nivel del proyecto de microreservorios. ....	109

## RESUMEN

Los proyectos de Siembra y Cosecha de Agua (SYCA,2022) se han incrementado en el país como una medida frente a la problemática del cambio climático y a la vez poder realizar proyectos que lleguen a zonas altoandinas. Estos proyectos se han venido realizando por diferentes entidades públicas según su nivel de gobierno y entidades privadas como ONG'S y comunidades organizadas, frente a esta demanda creciente de proyectos se necesita de la participación de un gran número de profesionales que se encargan de realizar los estudios pertinentes para concluir en un expediente técnico, siendo parte imprescindible de estos estudios el estudio topográfico.

El presente trabajo recoge y cuantifica las diferentes modalidades de hacer levantamientos topográficos, que constituyen en métodos diferentes siendo estos realizados con diferentes equipos como: Estaciones Totales, equipos geodésicos GNSS-diferenciales y uso de Aeronaves Pilotadas Remotamente RPA o drones, todas estas modalidades de levantamientos se llevaron a cabo en estudios topográficos de qochas, clausura de praderas y micro reservorios, lo cual nos ha permitido entregar información topográfica precisa en cada caso y cumpliendo los estándares mínimos que requiere cada estudio. Los resultados nos permiten demostrar que los rendimientos de levantamientos con RPA-drones en cuanto a tiempo y fiabilidad son mucho más eficientes en relación a métodos convencionales, ya que el número de personal y las labores de campo con RPA-drones se reduce en un 50% respecto a la topografía convencional. Toda esta información junto a los análisis comparativos tanto visuales como de cuantificación de volumen de movimiento de tierras y precisión de puntos sobre superficie nos dan resultados muy parecidos, siendo los levantamientos topográficos propiamente y los elaborados con RPA-drones los que mejor relación obtienen en cuanto a comparación de resultados, esto sumado a la practicidad, fiabilidad y rendimientos por área levantada en proyectos de siembra y cosecha de agua hacen que sea recomendable hacer uso de RPA-drones como un buen método y una buena alternativa para realizar los estudios topográficos.

**Palabras clave:** Topografía, GNSS, Fotogrametría, drones, sensores remotos, qochas.

## ABSTRACT

Planting and Harvesting Water projects (SYCA, 2022) have increased in the country as a measure against the problem of climate change and at the same time to be able to carry out projects that reach high Andean areas. These projects have been carried out by different public entities according to their level of government and private entities such as NGOs and organized communities. Faced with this growing demand for projects, the participation of a large number of professionals who are in charge of carrying out the projects is needed. relevant studies to conclude in a technical file, the topographic study being an essential part of these studies.

The present work collects and quantifies the different ways of doing topographic surveys, which constitute different methods, these being carried out with different equipment such as: Total Stations, GNSS-differential geodetic equipment and the use of RPA Remotely Piloted Aircraft or drones, all these forms of surveys. It was carried out in topographic studies of qochas, closure of meadows and micro-reservoirs, which has allowed us to deliver precise topographic information in each case and complying with the minimum standards required by each study. The results allow us to demonstrate that the performance of surveys with RPA-drones in terms of time and confidence are much more efficient in relation to conventional methods, since the number of personnel and field work with RPA-drones are reduced by 50 % compared to conventional topography. All this information together with the comparative analyzes, both visual and quantifying the volume of earth movement and precision of points on the surface, give us very similar results, with the topographic surveys themselves and those carried out with RPA-drones the ones that obtained the best relationship in terms of A comparison of results, this added to the practicality, reliability and yields per surveyed area in sowing and water harvesting projects make it advisable to use RPA-drones as a good method and a good alternative to carry out topographic studies.

**Keywords:** Drones, photogrammetry, topography, GNSS, sensors, qochas.

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. PROBLEMÁTICA

El Fondo Sierra Azul, es el referente nacional en cuanto a la ejecución de Inversiones de Siembra y Cosecha de Agua, es así que todos los municipios a nivel nacional buscan el financiamiento de sus diferentes proyectos relacionados a este tipo de inversión presentando los estudios básicos a la Unidad Ejecutora del Fondo Sierra Azul. Siendo los estudios de Topografía y los de Mecánica de Suelos los primeros que deben realizarse bajo ciertas consideraciones técnicas según los términos de referencia.

Estas inversiones al encontrarse enmarcados dentro de la tipología de Inversiones de Optimización, de Ampliación Marginal, de Rehabilitación y de Reposición (IOARR), necesitan realizarse con celeridad, la precisión debida y a un costo accesible a fin de que pueda elaborarse los expedientes técnicos, siendo los estudios de topografía los que mayor problema generan si se realizan de manera inadecuada. Este trabajo tiene como fin comparar la información recogida, dar fe de los rendimientos del personal, conocer los resultados en precisión con la que se realizan los estudios y la omisión de información que se suele llegar a dar en estos estudios, que devienen en problemas posteriores en la etapa de ejecución del proyecto.

El objeto del presente trabajo de suficiencia profesional consiste en comprobar el resultado del levantamiento topográfico obtenido en forma directa mediante el uso de una Estación Total, cuyo equipo es catalogado como instrumento de alta precisión; con levantamientos topográficos obtenidas con receptor GNSS (sistema global de navegación por satélite), llamados levantamientos satelitales y los levantamientos fotogramétricos con fotos aéreas tomadas desde un Dron con fines de aplicación de estas metodologías de levantamiento topográfico de forma correcta en proyectos de siembra y cosecha de agua.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Realizar un análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estaciones totales levantamientos geodésicos con uso de equipos receptores GNSS como métodos directos y levantamientos fotogramétricos con uso de RPA-drones como método indirecto a ser utilizados en proyectos de Siembra y Cosecha de Agua.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Comparar el tiempo de ejecución de un levantamiento topográfico a realizarse en el área de estudio, así como el costo que implica la utilización tanto los métodos directos como de los indirectos.
- Describir el uso de RPA-Drones en la topografía, la ejecución de un levantamiento siguiendo paso a paso las fases del levantamiento, de acuerdo a las bases teóricas de fotogrametría y las aplicaciones prácticas de estas.
- Comparar coordenadas topográficas obtenidas de levantamientos topográficos con Estaciones Totales respecto a las coordenadas UTM obtenidas mediante levantamientos geodésicos con GNSS/GPS y levantamientos fotogramétricos con RPA-drones, realizados en proyectos enmarcados dentro de la tipología de siembra y cosecha de agua.



## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. TOPOGRAFIA Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS**

La topografía (topos, “lugar”, y grafos, “descripción”) es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica ejecución de procedimientos y operaciones de campo, los métodos de levantamientos topográficos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala. (Jiménez et al, 2019). La topografía incluye la aplicación de métodos topográficos con instrumentos topográficos, métodos geodésicos mediante receptores GNSS/GPS y de la aplicación de métodos fotogramétricos mediante el uso de vuelos tripulados o no tripulados como son los levantamientos aéreos mediante el uso de Aeronaves Tripuladas Remotamente RPA-drones.

Existen diferentes campos en los cuales se utiliza a la topografía como:

- Arquitectura
- Agricultura
- Minería
- Geografía
- Construcción civil
- Entre otros.

### **2.2. EQUIPOS TOPOGRAFICOS, GEODESICOS Y FOTOGRAMETRICOS**

#### **2.2.1. Estación Total**

Se denomina estación total a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un

distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico. (Jiménez et al., 2019).

Wolf y Brinker (1997) resume a la Estación Total como la obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias, corrección electrónica de distancias por constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical, así como el cálculo de coordenadas de los puntos levantados (1997, citado en Condezo, 2021).

El funcionamiento del aparato se basa en un principio geométrico conocido como Triangulación, que consiste en determinar la coordenada geográfica de un punto cualquiera a partir de otros dos conocidos. En palabras claras para realizar un levantamiento con Estación Total se ha de partir de 2 puntos con coordenadas conocidas o en su defecto asumidas, y a partir de esa posición se observan y calculan las coordenadas de cualquier otro punto en campo (Jiménez et al, 2019)

### **2.2.2. Sistema de posicionamiento Global (GPS)**

Sobre los sistemas de posicionamiento global Deudor (2021) lo resume de la siguiente manera:

Para llevar a cabo levantamientos topográficos es necesario utilizar equipos de medición con la tecnología más avanzada, tales como el GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Con él es posible determinar las coordenadas que permiten ubicar puntos sobre la superficie de la tierra, esta hace uso de un conjunto de satélites ubicado en el espacio agrupados en forma de constelaciones que son: NAVSTAR (Americano), GLONASS (Ruso) y GALILEO (Europeo).

### **2.2.3. Equipos Geodésicos Receptores GPS Diferenciales**

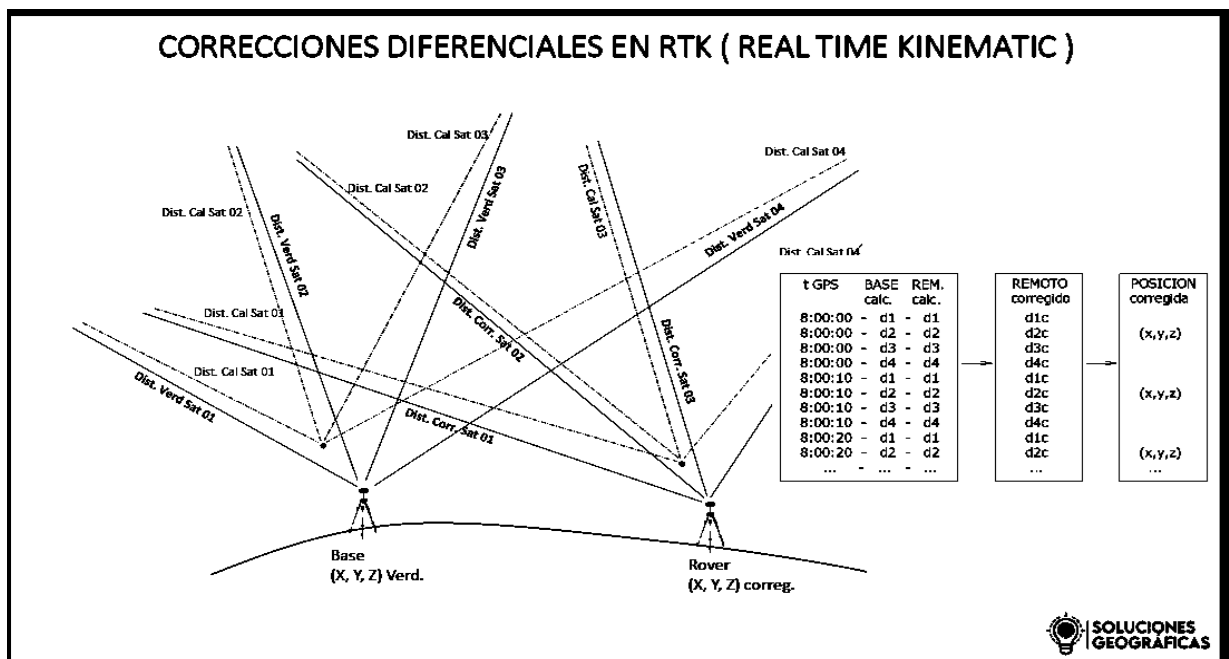
El equipo GPS-diferencial es un equipo que permite recibir y procesar la información de una estación terrestre, como también permite corregir las inexactitudes en tiempo real.

El método diferencial que se utiliza para el levantamiento de información, consta de dos equipos GPS que trabajan simultáneamente. Cada uno de estos se sitúan en una posición,

con la condición de que una de ellas sea conocida.

- Estación de referencia (Inmóvil, en un punto de coordenadas conocidas).
- Móvil o Rover (En movimiento, en puntos de coordenadas desconocidas).

Con esta metodología se consigue conocer algunos de los errores y corregirlos en tiempo real. Las funciones del GPS inmóvil o base (cuyas coordenadas son conocidas) serán de analizar las señales de todos los satélites visibles, calcular los errores recibidos en la recepción de la señal, los errores de forma individual por satélite y transmitir esta información al receptor móvil o rover. La Figura 1, detalla el método de trabajo de este equipo.



**Figura 1: Modo de trabajo de un GNSS diferencial**

FUENTE: Plataforma de internet, Soluciones Geográficas, 2022.

### 2.2.4. Aeronaves Pilotadas Remotamente RPA-Drones

El RPA- Dron, es un equipo que vuela sin tripulación (vehículo aéreo no tripulado o aeronave pilotada remotamente), capaz de sostener un nivel de vuelo controlado y es propulsado por uno o varios motores, en el mercado existen distintos tamaños, formas y características. Se identifican dos variantes, la primera que son controlados de manera remota y la segunda que vuelan sobre un plan de vuelo programado (Deudor Condezo, 2021).

Entre las ventajas, Deudor (2021) señala la rapidez del levantamiento de información, la sustitución del ser humano en la ejecución de levantamiento topográficos en lugares peligrosos y la disminución de costos en la toma de datos.

Agregado a los avances rápidos en cuestión de innovación y tecnología actualmente otra ventaja añadida viene a ser el bajo costo de equipos con capacidades suficientes para realizar trabajos topográficos, la mejora en los sensores con la consecuente mejora en la captura de datos y los avances en cuanto a baterías que viene expresado en un mayor rango de tiempo de uso que se expresa en mayores áreas sobrevoladas.

### **2.3. FOTOGRAMETRÍA**

El Instituto Geográfico Nacional en su Norma Técnica (2011) define que la fotogrametría es la disciplina que utiliza las fotografías aéreas para la obtención de mapas topográficos. Los levantamientos fotogramétricos comprenden la obtención de datos y mediciones precisas a partir de fotografías aéreas de la superficie terrestre tomadas con cámaras aéreas métricas.

Macedo (2009) define a la fotogrametría como una ciencia que resulta de la convergencia de diferentes disciplinas como lo es la óptica, la fotografía, las matemáticas (especialmente la geometría proyectiva), para realizar levantamientos de carácter cartográfico principalmente.

Neira (2005) define a la Fotogrametría como el conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales se obtiene la forma y dimensiones de un objeto, deduciéndola a partir de una fotografía o varias del objeto.

La Sociedad Americana de Fotogrametría y Sensores Remotos (ASPRS), tiene la siguiente definición: “Fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable de objetos físicos y su entorno, mediante el proceso de exponer, medir e interpretar tanto imágenes fotográficas como otras, obtenidas de diversos patrones de energía electromagnética y otros fenómenos”.

De todas estas definiciones notamos que la fotogrametría necesita el apoyo de otras ciencias, conocimientos y procedimientos, para poder obtener la representación de objetos, superficies o formas en tres dimensiones a partir de imágenes de solo dos dimensiones.

### 2.3.1. Fotogrametría con drones

Herreros (2015) El RPAS (Remotely-Piloted Aircraft System - Dron) “permite medir sobre fotografías con las que se puede determinar las propiedades geométricas de los objetos y las situaciones espaciales a partir de imágenes fotográficas. Si se trabaja con una foto se puede obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de solape), se podrá tener visión estereoscópica, dicho de otro modo, información tridimensional. Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3d, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición”

- a. **Plan de vuelo.** Herreros (2015) menciona “para la ejecución del vuelo fotogramétrico hay que hacer una planificación del mismo de forma que, a partir de una resolución fijada y teniendo en cuenta las características del equipo fotográfico, se determinen altura y velocidad del vuelo, así como tiempos de disparo y distancias entre pasadas para asegurar los recubrimientos fotográficos necesarios para su posterior tratamiento”
  
- b. **Captura de información a través de fotografías.** Herreros (2015) manifiesta que “Las nuevas herramientas tecnológicas permiten obtener datos con una resolución temporal reducida y con una alta resolución espacial, tanto de fotografías como de puntos. El proceso de obtención de los datos pasa a ser desde el proceso de imágenes planas 2d a imágenes en 3d. Para ello se utiliza la técnica de la estereoscopia”
  
- c. **Proceso de información.** Herreros (2015) una vez recogidos los datos se exportan a software especializados capaces de realizar procesamientos fotogramétricos y el posterior tratamiento de estos, creando una nube de puntos con coordenadas x, y, z, un modelo digital del terreno y Pix4D que se encargan de generar un modelo con el conjunto de los datos obtenidos.

Para procesar los datos, previamente debe de conocerse el sistema de coordenadas que se ha utilizado en el proceso de captación de datos, y de forma muy recomendable la posición de

cada una de las fotografías que se incorporen al proceso. Si las coordenadas son locales se deberá configurar previamente el software para no producir deformaciones en los resultados”.

#### **2.4. PROYECTOS DE SIEMBRA Y COSECHA DE AGUA**

La siembra de agua se define como la recarga hídrica del suelo, subsuelo y acuíferos por medio de actividades destinadas a retener, infiltrar, almacenar y regular agua de escorrentía proveniente de las precipitaciones. Como ejemplo de estas acciones están las construcciones de qochas, amunas, zanjas de infiltración y trabajos relacionados con la reforestación, protección de bofedales y revegetación. Por otro lado, la cosecha de agua es el proceso de recolección y almacenamiento del agua captada durante las actividades de siembra para uso consuntivo, tales como la agricultura, ganadería y uso poblacional. (Collazos Córdova, 2021) Estas prácticas tienen origen precolombino, que también se replicó en otras actividades como las amunas y los waru waru (acequias de intercepción de agua de escorrentía). Estos conocimientos ancestrales tomaron mayor importancia en los últimos años a fin de garantizar oferta hídrica para los años venideros, ello generado por la degradación ambiental en las cuencas andinas y amazónicas, además de la variación en el clima generado por el cambio climático.

El Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos (PRONAMACHCS), durante los años ochenta y noventa, promovió actividades que tuvieron efectos en la recarga hídrica. A partir de los noventa, entidades estatales y agencias de cooperación internacional promovieron estas actividades a lo largo del Perú.

### **III. DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **3.1. ELECCIÓN DEL TIPO DE PROYECTO, ZONA DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y CONSIDERACIONES PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

##### **3.1.1. Tipo de proyecto**

Los proyectos de siembra y cosecha de agua engloban una diversidad de intervenciones, el tipo de intervenciones que se analizaron corresponde a la creación de qochas para el aprovechamiento del agua de lluvia, que es una tipología muy demandada actualmente debido a la diversidad de proyectos que se han realizado por parte de la Unidad Ejecutora Fondo Sierra Azul (UEFSA,2022) y el otro tipo de intervención es la clausura de praderas y creación de micro reservorios, ambas actividades están dentro de un mismo proyecto denominado: “Mejoramiento del Servicio de Recarga Hídrica y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en 14 Departamentos”, el cual es realizado por el Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural (AGRORURAL, 2022).

##### **a. Creación de qochas para el aprovechamiento del agua de lluvias**

Este tipo de intervenciones consiste en realizar un dique de concreto, gavión o tierra que sirva de cierre y permita el almacenamiento del agua de lluvia en zonas con formaciones topográficas favorables al almacenamiento o represamiento.

El trabajo topográfico requerido en este tipo de proyectos pide detallar las dimensiones del vaso natural, los posibles cierres donde se puedan proyectar la construcción de diques de tierra o concreto y las zonas aguas abajo del dique a proyectar a fin de poder encausar la salida del agua en caso se requiera aliviar la cantidad de agua almacenada.

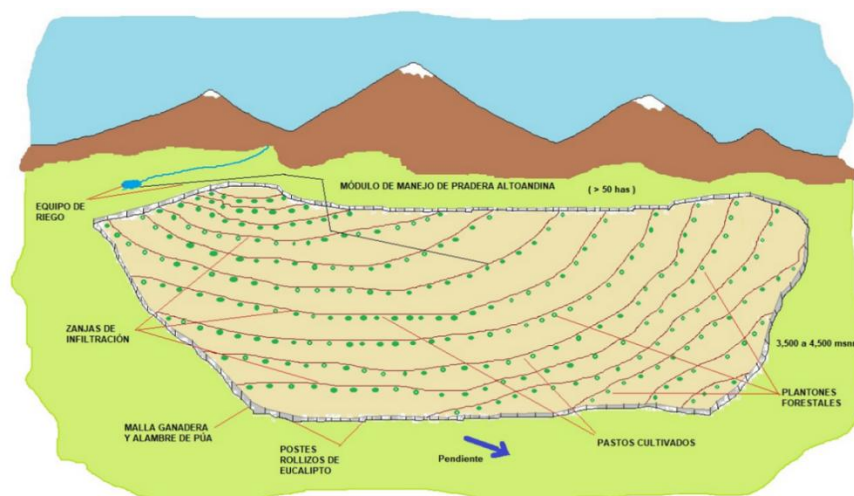


**Figura 2: Esquema de un proyecto de qocha.**

FUENTE: Plataforma internet de la Unidad Ejecutora Fondo Sierra Azul, 2017.

### b. Clausura de praderas

Las praderas como tipo de proyecto de Siembra y cosecha de Agua se vienen realizando desde los años 80, siendo iniciativas puntuales y aisladas sin ningún plan de acción nacional, pero no fue hasta este año que con el proyecto realizado por AGRORURAL denominado “Mejoramiento del Servicio de Recarga Hídrica y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en 14 Departamentos” donde se comenzó a realizar este tipo de proyectos a nivel nacional, que contempla entre sus acciones la realización a nivel nacional de 14 mil hectáreas de clausuras en 14 departamentos.



**Figura 3: Esquema de un proyecto de clausura de praderas**

FUENTE: Manejo de praderas Altoandinas, Taboada L., 2019.



### **c. Microreservorios**

Consisten en pequeños reservorios para capturar y almacenar agua de lluvia y agua de escorrentías provenientes de quebradas o manantiales. El sistema puede ser familiar o multifamiliar, se implementa en las cabeceras de las parcelas y/o predios de las familias, para regular el sistema de riego en el predio, particularmente en temporadas de estiaje. Pueden tener distinta capacidad de almacenamiento y están conformado por varios componentes como el canal de aducción, el desarenador, canal de ingreso, aliviadero, vaso del reservorio, tubería de salida, la caja de válvula y el cerco perimétrico.

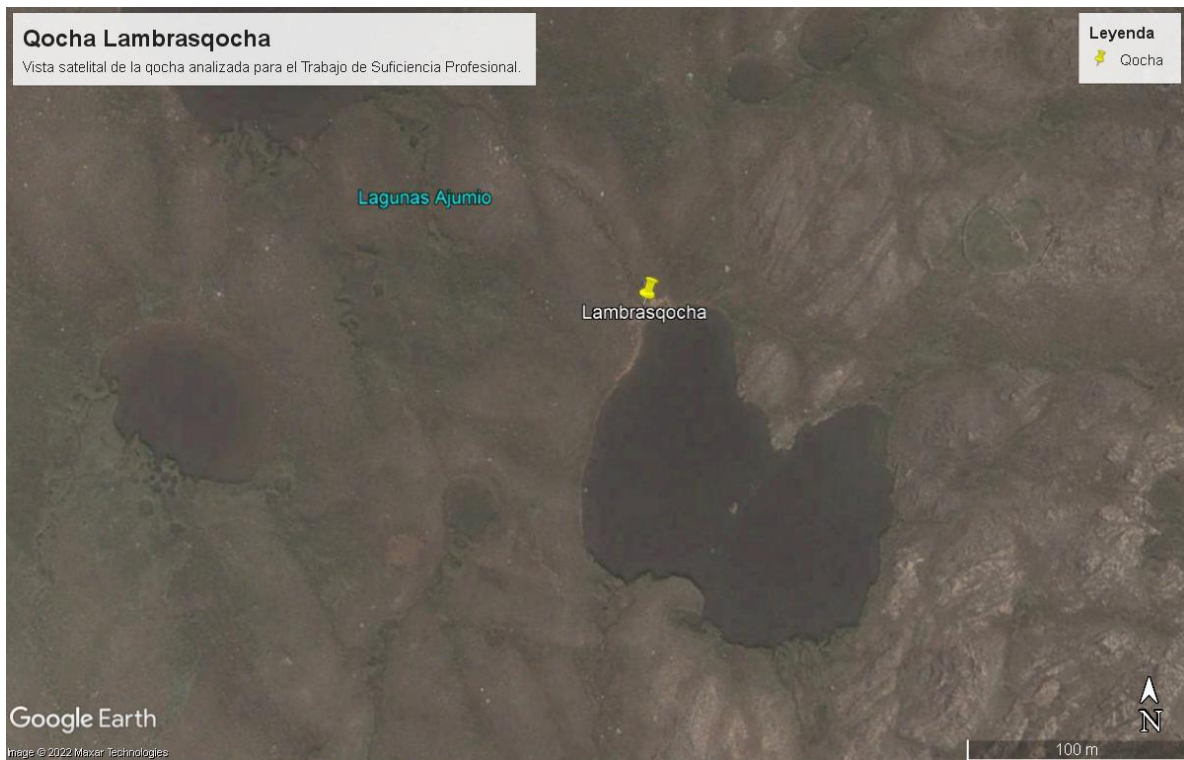
### **3.1.2. Zona de levantamiento topográfico**

**a. Levantamiento topográfico de una qocha.** El área donde se desarrolló el trabajo se ubica en la cabecera de cuenca, dentro de la provincia de Sucre, departamento de Ayacucho, en las coordenadas que se dan a continuación:

- **Ubicación de la qocha**

El ámbito de intervención del proyecto se encuentra bajo la siguiente administración política:

Región : Ayacucho  
Provincia : Sucre  
Distritos : San Salvador de Quije.  
Localidad : Pallca.



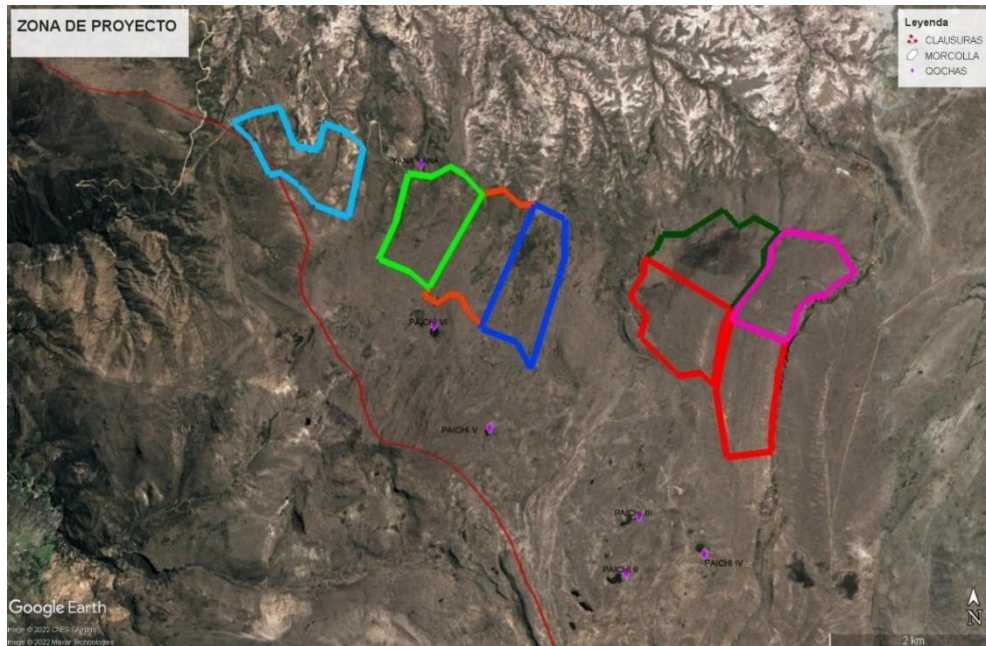
**Figura 4: Vista satelital de la qocha analizada del expediente técnico de inversión**

FUENTE: Expediente técnico “Construcción de captación de agua; en el (la) recarga hídrica para la unidad productora del sistema de riego de las pampas de Sulcabamba, Huampuchaca, distrito de San Salvador de Quije, provincia Sucre, departamento Ayacucho.

- **Ubicación de la clausura de pradera**

El ámbito de intervención del proyecto se encuentra bajo la siguiente administración política:

Región	: Ayacucho
Provincia	: Sucre
Distritos	: Morcolla.
Microcuenca	: Huancarama



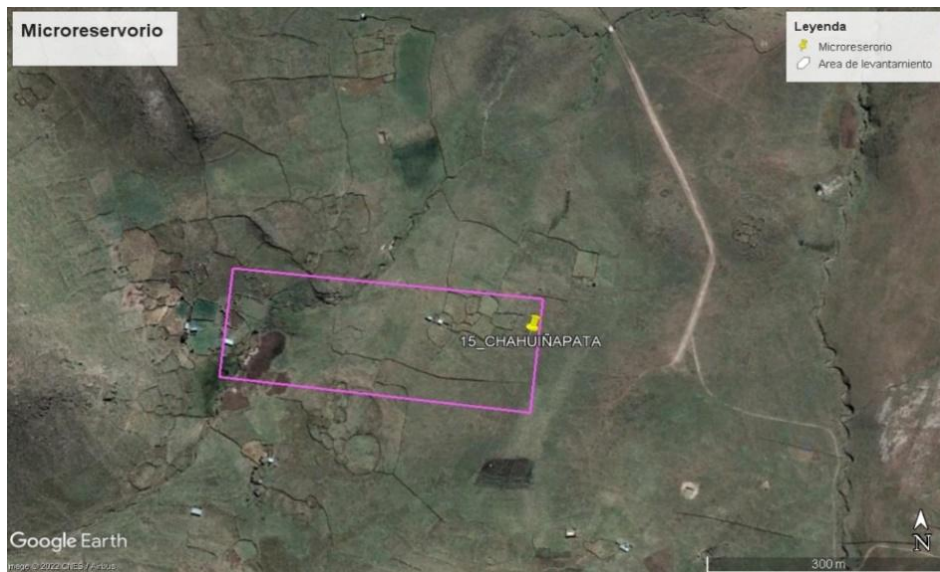
**Figura 5: Vista satelital de la zona del proyecto de clausura de praderas analizado de la ficha de detalle técnico**

FUENTE: Ficha de detalle técnico de recuperación de praderas del proyecto “Mejoramiento del servicio de recarga hídrica y aprovechamiento de agua de lluvia en 14 departamentos”, 2022.

- **Ubicación del micro reservorio**

El ámbito de intervención del proyecto se encuentra bajo la siguiente administración política:

Región : Cusco.  
 Provincia : Espinar.  
 Distritos : Coporaque.  
 Microcuenca : Quero.

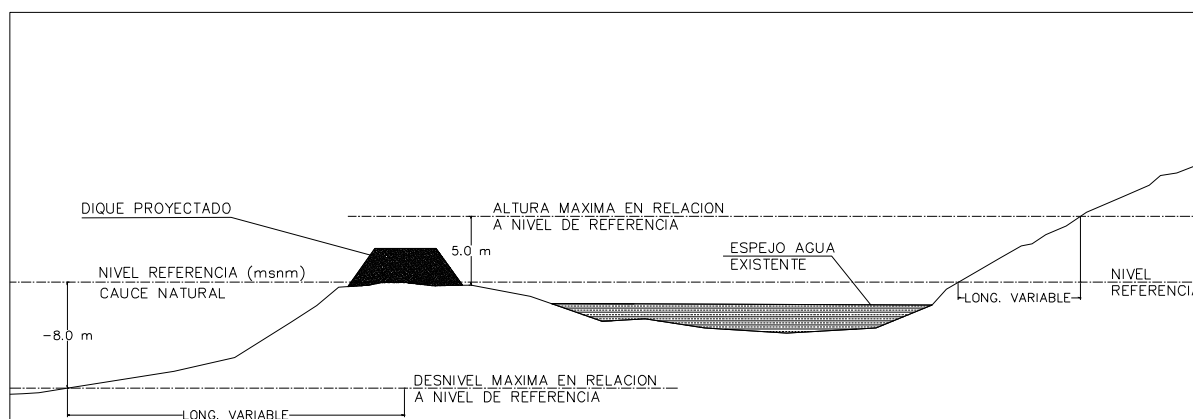


**Figura 6: Vista satelital de la zona del proyecto de microreservorio analizado de la ficha de detalle técnico**

FUENTE: Ficha de detalle técnico para la construcción de microreservorios y de infraestructura menor de riego parcelario de la microcuenca Quero – Espinar – Cusco, del proyecto “Mejoramiento del servicio de recarga hídrica y aprovechamiento de agua de lluvia en 14 departamentos”, 2022.

### **3.1.3. Consideraciones técnicas para el levantamiento topográfico**

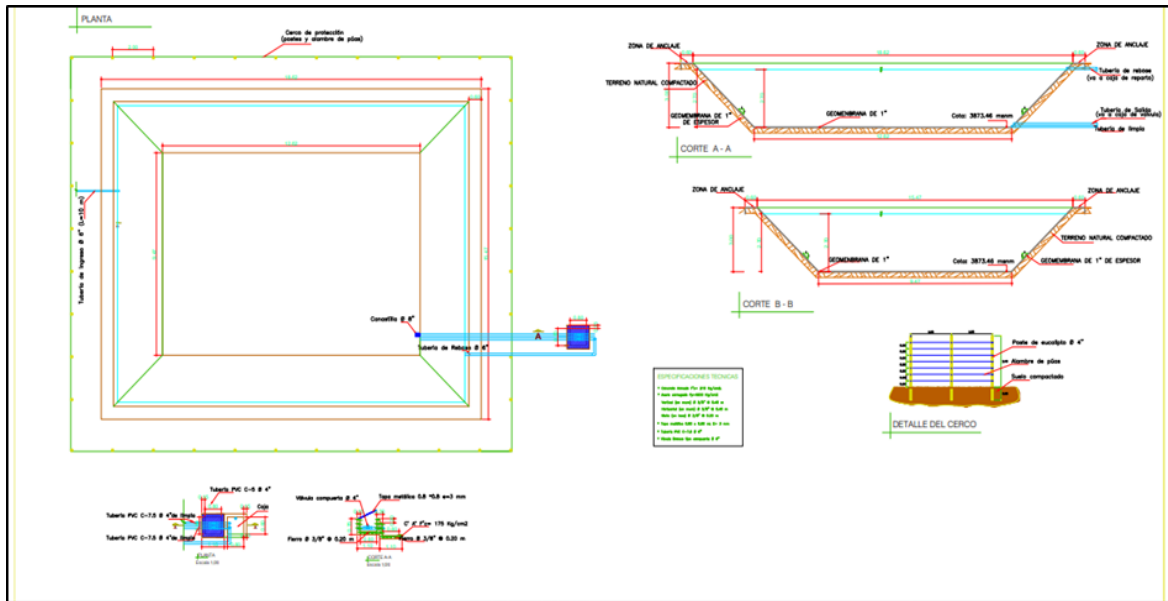
- a. Consideraciones técnicas para los proyectos de qochas.** Las consideraciones técnicas a utilizarse se basaron en los términos de referencia (**TDR**) de la UEFSA, debido a que esta es la entidad a nivel nacional que mayor cantidad de proyectos a realizado respecto a este tipo de intervenciones. El TDR de esta entidad solicita como mínimo una cantidad de 300 puntos, los cuales deben detallar la zona del vaso colector, los cierres y las posibles salidas de agua. La siguiente figura resume los datos y la información que se requiere para poder realizar los expedientes de estas intervenciones.



**Figura 7: Resumen gráfico de lo que se pide en los TDR de topografía**

FUENTE: Tomado de los Términos de Referencia de la Unidad Ejecutora Fondo Sierra Azul.

- b. Consideraciones técnicas para los proyectos de clausura de praderas.** El tipo de consideración técnica respecto a estos proyectos se basa en el TDR preparado por AGRORURAL, los cuales piden ubicar zonas con potencial para realizar clausuras de zonas que cumplan los requisitos de pendiente moderada, áreas mayores o iguales a 100 hectáreas y zonas con presencia de pastos silvestres.
  
- c. Consideraciones técnicas para los proyectos de microreservorios.** El tipo de consideración técnica respecto a estos proyectos se basa en el TDR preparado por AGRORURAL, los cuales piden realizar el levantamiento topográfico de toda la línea de conducción, las estructuras importantes a lo largo del recorrido, el detalle de la captación de agua y la zona proyectada del micro reservorio, para el entregable se pide el entregable con curvas de nivel cada 0.20 metros.



**Figura 8: Esquema de levantamiento topográfico de vaso natural**

FUENTE: Tomado de los Términos de referencia para servicio de formulador de elaboración de la “Ficha de detalle técnico para la construcción de microreservorios y de infraestructura menor de riego parcelario de la microcuenca Quero – Espinar – Cusco”

### 3.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

#### 3.2.1. Levantamiento topográfico con Estación total

- a. **Equipo utilizado.** Se utilizó una estación total marca TOPCON modelo OS – 105. En la Tabla 2, se puede apreciar las características del equipo.

- Características de la Estación Total TOPCON MODELO OS – 105:

**Tabla 1: Características de la Estación total Topcon modelo OS-105**

<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA ESTACION TOTAL TOPCON OS -105</b>	
<b>MEDICION DE ANGULOS</b>	
Precisión:	5"
Resolución Mínima:	1" /5"
IACS:	Sistema de Calibración Autónomo de Angulo
Compensación:	Compensador de Doble Eje
<b>MEDICION DE DISTANCIA</b>	
Rango Medición 01 Prisma EDM:	4000m
Precisión Medición Prisma EDM:	2mm+2ppm
Rango Medición Sin Prisma:	500m
Precisión Medición Sin Prisma:	3mm+2ppm (0.3-200m)
Tiempo de Medición: Fino:	0.9 segundos
Rápido:	0.7 segundos
Tracking:	0.3 segundos
<b>COMUNICACIÓN</b>	
Comunicación LongLink rover utilizando Bluetooth – Clase 1.	
USB:	2.0 Slot (Host+Slave)
RS-232C:	Serial
<b>GENERAL</b>	
Pantalla / Teclado:	Una, LCD, Windows Touchscreen /Alfanumerico
Duración Batería:	Más de 18 horas
Protección contra polvo/agua:	IP65
Conexión Wireless:	Bluetooth – Clase 1
Rango Operación:	(-)30C° a +60C°

FUENTE: Tomado de Aydtopografía, 2022 (<https://aydtopografia.com.pe/portal/productos/estaciones-totales/topcon-os-105>)



**Figura 9: Estación Total TOPCON OS – 105**

FUENTE: Tomado de Aydtopografia, 2022

<https://aydtopografia.com.pe/portal/productos/estaciones-totales/topcon-os-105>

- b. Metodología usada.** Este método de levantamiento topográfico es realizado de forma convencional y consiste en orientar la estación total mediante 2 puntos de control geodésico. La estación total usada en el proyecto fue de la marca TOPCON modelo OS-105, los puntos de control con dos coordenadas conocidas, estas se obtuvieron con un equipo receptor GPS navegador, logrando orientar la estación total en un punto en el terreno desde donde se realizó la lectura de puntos y su obtención de coordenadas a partir de una serie de cálculos que realiza el equipo.

Para el caso del levantamiento de qochas, se suele realizar el estacionamiento del equipo, estos proyectos por su naturaleza suelen tener una zona del vaso natural, donde se almacena el agua, y una zona de salida de agua, lugar donde se plantea el cierre a fin de represar el agua del vaso natural, siendo este lugar el que se recomienda para realizar el estacionamiento a fin de poder realizar el levantamiento topográfico de la parte aguas arriba y aguas debajo de la zona donde se proyectara el cierre propio del proyecto, este lugar permite visualizar la zona de interés sin ser necesario los cambios de estación.

En el caso de levantamiento de proyectos de clausura de praderas, se sigue la misma



metodología de la orientación de la estación total con dos puntos conocidos, pero se debe tomar en consideración los componentes a plantear dentro del proyecto que son cercos perimétricos, puertas de acceso, zanjas de infiltración y siembra de pastos, para el caso de clausura de praderas estas por su gran tamaño y extensión (superior a 100 hectáreas para el proyecto "...") se necesitaron realizar varios cambios de estación, y cuidar que las distancias en el terreno no superan las distancias de operación del equipo.

Para los proyectos de micro reservorios denominado", se tiene como componentes del proyecto las captaciones de agua, líneas de conducción y zonas con potencial para reservar agua, siendo necesario tener en consideración la ubicación de la captación, lugar donde se debe realizar un levantamiento detallado a fin de plantear el tipo de captación, a partir de este punto se deberá conducir el agua, siendo necesario el levantamiento de toda la línea de conducción, hasta la zona del micro reservorio, dentro de este recorrido se suele realizar varios cambios de estación y el recojo de información detallada en caso de encontrar lugares donde se plateen estructuras como pase aéreos, curvas cerradas, cauces naturales, caminos y otros casos que necesitan mayor detalle para su trabajo en gabinete.



**Figura 10: Inicio del levantamiento topográfico con Estación Total TOPCON OS-105**

Nota. Fotografía del equipamiento y personal de campo.

### 3.2.2. Levantamiento topográfico con GNSS/GNS- diferencial

a. **Equipo utilizado.** Se utilizó un equipo GNSS-Diferencial marca South, modelo Galaxy G-1 PLUS IMU. Se detallan en la Tabla 2, las características del equipo.

- Características del equipo GNSS- Diferencial, modelo SOUTH G-1 PLUS IMU.

**Tabla 2: Características del GNSS DIFERENCIAL MODELO SOUTH G-1 PLUS IMU**

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL GNSS DIFERENCIAL SOUTH GALAXY G-1 PLUS IMU	
Canales	336, 692 (opcional)
Constelaciones	GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO, SBAS, QZSS
MSS L-Band	Trimble RTX
Tasa de Salida de Posicionamiento	1Hz-50Hz
Tiempo de Inicialización	< 10s
UHF RTK Horizontal	UHF RTK Horizontal
UHF RTK Vertical	±10mm + 1ppm
Network RTK Horizontal	±8mm + 0.5ppm
Network RTK Vertical	±15mm + 0.5ppm
RTX Horizontal	±2cm
RTX Vertical	±5cm
Estático Y Fast Estático Horizontal	±2.5mm + 0.5ppm
Estático Y Fast Estático Vertical	±5mm + 0.5ppm
Tiempo de Inicialización RTK	2-8s
Sistema Operativo	Linux
Web UI	Si
WiFi	Si
Bluetooth	Si
Guía de Voz	Si
Almacenamiento de Datos	8GB interna; hasta 32GB externa
Radio	Emisor y Receptor Incorporado
Radio	Rango de Trabajo Típico 1-8 km
Sensor de Inclinación	±30°
Burbuja Electrónica	Si
Resistencia	> 14 Horas (Modo Estático), > 10 horas (Modo Base UHF Interno), > 12 horas (Modo Rover)
Función OTG (Descarga de Datos en Campo)	Si
Otras Funciones	Estación Móvil de Referencia, Repetidor, Router, CSD

FUENTE: Tomado de Topoequipos, 202 (<https://www.topoequiposperu.com/especificaciones-galaxy-g1-plus>)



**Figura 11: GNSS Diferencial, modelo SOTUH G-1 PLUS IMU**

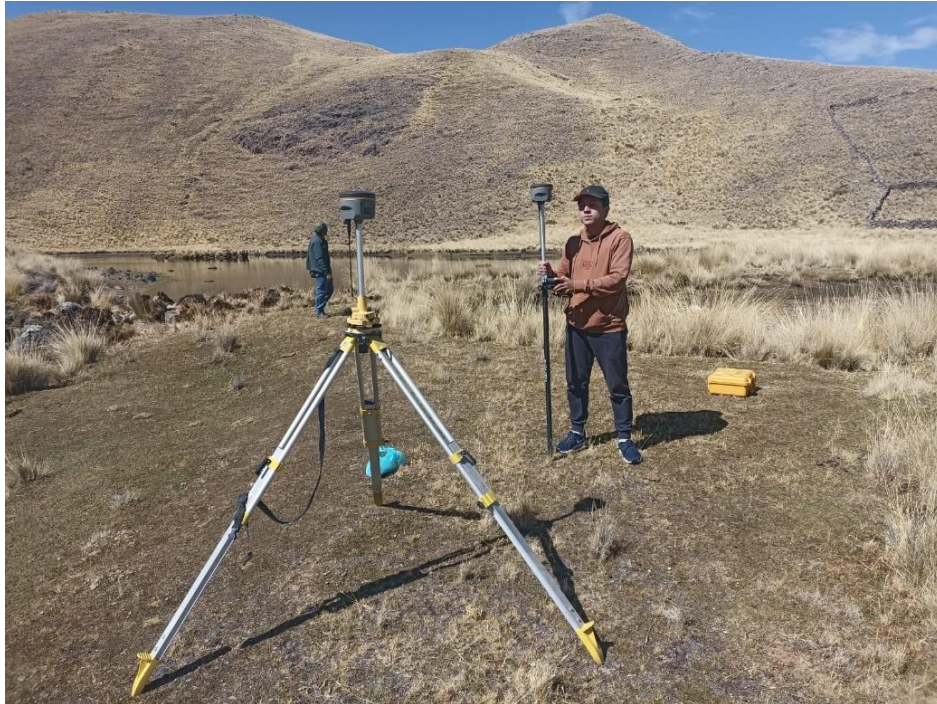
FUENTE: Tomado de Topoequipos, 2002

(<https://www.topoequiposperu.com/especificaciones-galaxy-g1-plus>)

- b. Método de posicionamiento Global por satélite en tiempo real (modo RTK radio interno).** Es una técnica de levantamiento geodésico GNSS en la cual se calcula las coordenadas de un punto en tiempo real mientras se lleva a cabo el levantamiento, corrigiendo los errores en el mismo instante de la toma de datos. El levantamiento necesita de dos equipos que cumplen la función de base, la cual sirve como una estación de referencia y un rover, el cual se desplaza a lo largo de toda el área marcando los puntos de interés para el proyecto.

Este tipo de trabajo requiere de personal capacitado para poder instalar los equipos y realizar el levantamiento de puntos.

El trabajo en campo requirió que el personal tenga que realizar el recorrido por toda el área de interés levantando los detalles del área de la qocha, incidiendo en la toma de puntos en las zonas claves para el proyecto, como es la zona donde se proyectara el dique, los diques existentes que suelen presentarse comúnmente en estas zonas y que son realizados de manera artesanal por los propios pobladores, y en caso existiera las estructuras de toma existentes.



**Figura 12: Instalación del GNSS diferencial para el trabajo de levantamiento topográfico en una qocha**

Nota. Fotografía de equipos usados e instalados en campo.



**Figura 13: Marcado de puntos alrededor de la qocha**

Nota. Trabajo en campo del proyecto en estudio.

### **3.2.3. Levantamiento topográfico con dron mediante fotografías aéreas y puntos de control**

- a. Equipos utilizados.** Se utilizó un dron marca DJI, modelo PHANTOM 4 PRO V2.0, junto al equipo GNSS Diferencial detallado en el punto anterior. Las características del dron usado se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3: Especificaciones técnicas del dron DJI PHANTON 4 PRO**

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL DJI PHANTOM 4 PRO V2.0	
Peso (baterías y hélices incluidas)	1375 g
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m/s, Modo P: 5 m/s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m/s, Modo P: 3 m/s
Máxima velocidad	Modo S: 72 kph, Modo A: 58 kph, Modo P: 50 kph
Angulo de inclinación máxima	Modo S: 42°, Modo A: 35°, Modo P: 25°
Techo de servicio máximo sobre el nivel del mar	6000 m
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10 m/s
Máximo tiempo de vuelo	Aprox. 30 minutos
Rango de Temperatura de funcionamiento	0° a 40° C
Sistemas de posicionamiento satelital	GPS/GLONASS
Rango de precisión de desplazamiento	Vertical: +/- 0.1 metros (con posicionamiento visual) Vertical: +/- 0.5 metros (con posicionamiento GPS) Horizontal: +/- 0.3 metros (con posicionamiento visual) Horizontal: +/- 1.5 metros (con posicionamiento GPS)
CÁMARA	
Sensor	Pixeles efectivos CMOS de 1 pulgada: 20 M
Lente	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (formato equivalente a 35 mm)
Rango ISO	Foto: 100-3200 (Auto) Foto: 100-12800 (Manual)
Velocidad de obturación mecánica	8-1/2000 s
Velocidad de obturación electrónica	8-1/2000 s
Tamaño de imagen	Relación de aspecto 3:2 : 5472x3648 Relación de aspecto 4:3 : 4864x3648 Relación de aspecto 16:9 : 5472x3078
Sistemas de archivos compatibles	FAT32, exFAT
Foto	JPEG,DNG (RAW),JPEG +DNG
Rango de Temperatura de funcionamiento	0°a 40° C



**Figura 14: Dron Phantom 4 PRO**

FUENTE: Tomado de Dji drone Perú, 2022 (<http://djidroneperu.com/drones/166-drone-dji-phantom-4-pro-tienda-peru.html>)

**b. Descripción de la metodología usada.** El levantamiento con dron al ser un método indirecto de levantamiento topográfico requiere de ciertos pasos a realizarse dentro de los cuales se cuenta con cuatro actividades bien definidas en campo, las cuales son: el marcado de puntos de control, la toma de coordenadas de estos puntos, elaboración del plan de vuelo, el vuelo fotogramétrico y el procesamiento de la información en gabinete.

**b.1. Marcado de puntos de control.** Consiste en realizar el marcado de puntos de control a lo largo de toda la zona de interés, la cantidad de puntos que se marcaron tienen que ver con el área y la forma del proyecto como se menciona en su guía de levantamiento fotogramétrico. (Soluciones geográficas, 2021). Para este trabajo se marcaron puntos en la zona de interés dependiendo de la tipología del proyecto, extensión y forma del terreno, se utilizó pintura y yeso para el marcado de los puntos, siendo el yeso el que mejor resultado trae ya que facilita su marcado, se lleva de manera fácil para ser esparcido en forma de una equis o cruz; da buenos resultados en zona con cobertura vegetal, es práctico, fácil de conseguir y de costo accesible.



**Figura 15: Marcado de los puntos de control**

Nota. Fotografía de trabajo realizado en campo

**b.2. Toma de coordenadas.** Los puntos dejados a lo largo del área deben de contar con una coordenada que permita en el postproceso realizado en gabinete, el marcado de estos puntos se puede realizar tanto con una estación total como con un equipos GNSS diferencial, el primero no es muy práctico debido a que responde su orientación y ubicación a dos puntos que le brinden información de sus coordenadas, siendo estos puntos en la zona del proyecto inexistentes, lo cual lo hace solo recomendable en casos donde se tenga información de puntos de control que sirvan para la toma exacta de puntos. En el caso del GNSS Diferencial este es muy práctico y facilita la toma de puntos, siendo la opción más usada en este tipo de levantamientos topográficos y la que se usó en los levantamientos. Existen otro tipo de equipos como son los GPS submétricos que también podrían utilizarse, pero cuyo rango de error va acarrear errores considerables a la hora del procesamiento.





**Figura 16: Posicionamiento satelital de puntos de control**

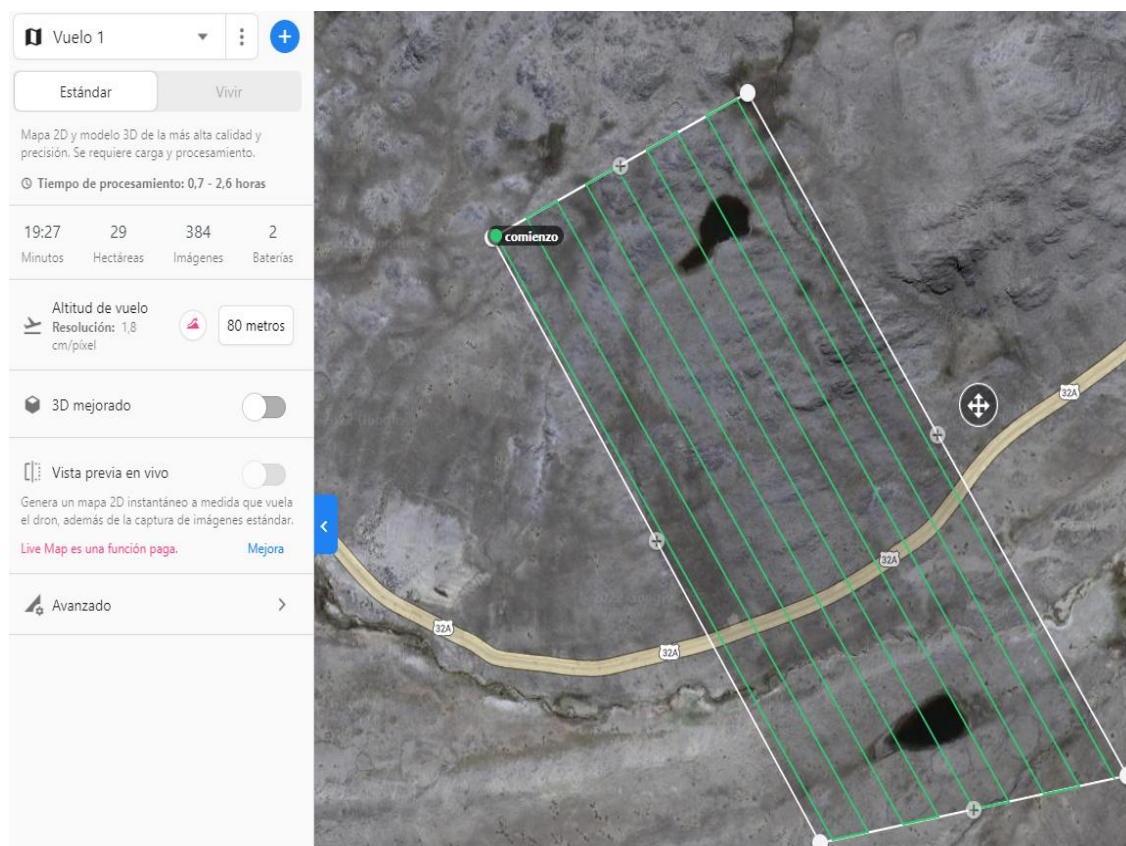
Nota. Fotografía del trabajo realizado en campo.

**c. Plan de vuelo.** Consiste en realizar en planificar el levantamiento de información de la zona de interés a través de una programación de vuelo, recorrido desde el cual se tomarán fotografías aéreas para su posterior post proceso, para los proyectos se utilizó el aplicativo DRONE DEPLOY que tiene una versión gratuita como una versión de paga, en el proyecto solo se utilizó la versión gratuita debido a que cuenta con las herramientas suficientes para la planificación del vuelo.

Se programó el plan de vuelo en toda la zona a sobrevolar cuidando la altura de vuelo que regula el tamaño del PIXEL O GSD adecuado, cuyo propósito es permitir discriminar los detalles necesarios al momento del postproceso, también se configura el traslape necesario entre las fotografías que servirá para el armado de la ortofoto y la vinculación entre fotografías a través de puntos en común. Los parámetros utilizados dependieron del tipo de proyecto, siendo diferente el plan para cada tipo, estos parámetros utilizados y recomendados se resumen en la Tabla 4.

**Tabla 4: Configuración del plan de vuelo para cada tipo de proyecto realizado**

Tipo De Proyecto	Altura De Vuelo Recomendada	Tamaño De GSD. (Pixel)	Traslape Horizontal	Traslape Vertical
Qochas	100 metros	3 a 4 cm	75	65
Clausuras	150 a 200 metros	5 a 6 cm	70	70
Microreservorios	100 metros	3 a 4 cm	75	75



**Figura 17: Plan de vuelo de la zona de interés**

FUENTE: Elaboración de plan de vuelo ejecutado.

**a.1. Vuelo fotogramétrico.** El vuelo fotogramétrico se realizó luego de haberse llevado a cabo el marcado de puntos dentro de la zona de interés, para el vuelo en todos los casos se realizó en horas de la mañana dentro de las 08:00 y 11:00 a.m. y por las tardes de 1:00 p.m. hasta las 4:00 p.m., se tuvo preferencia por el horario de la mañana debido a que se tiene menor velocidad de viento en ese horario, menos cantidad de aves territoriales que podrían interferir con el vuelo, menor reflectividad de la superficie que crea fotos con ruido, poca presencia de sombras en las fotografías y baja probabilidad de lluvias, solo se realizó el vuelo en el horario de la tarde en

casos excepcionales y previa evaluación de las condiciones de viento y presencia de lluvias.

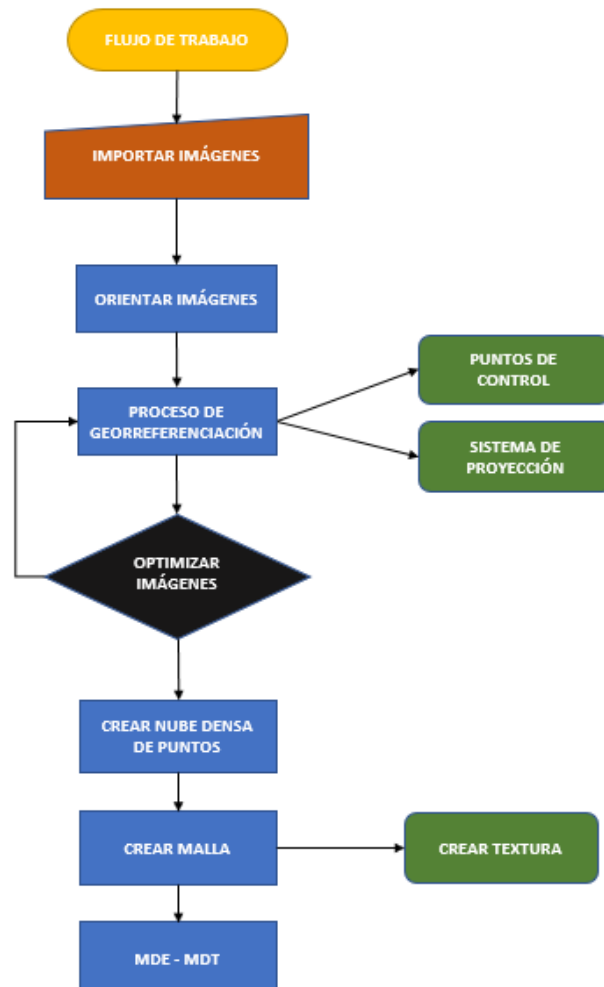


**Figura 18: Vuelo realizado zona de interés**

Nota. Fotografía del vuelo realizado en la zona

**d. Procesamiento de la información.** El procesamiento de las fotografías se realiza con un software de procesamiento de imágenes, existen gran variedad actualmente siendo los más comerciales el PIX 4D; el cual ofrece una variedad de opciones de acuerdo al tipo de proyecto que se esté trabajando o lo que se quiera lograr con el procesamiento de imágenes, el otro programa es el AGISOFT METASHAPE; este programa al igual que el anterior mencionado es uno de los más usados por su practicidad y facilidad de manejo. En el mercado existen gran variedad de ofertas disponibles, algunas con servidores en la nube que realizan el procesamiento de las imágenes, empresas que se encargan del procesamiento y cobran por el proceso y una diversidad de ofertas que se amplia y busca disminuir el tiempo del proceso básicamente.

Para el proyecto se usó el AGISOFT METASHAPE, desde donde se realizaron una serie de procedimientos que se detallaran en la Figura 19, y se describen a continuación.



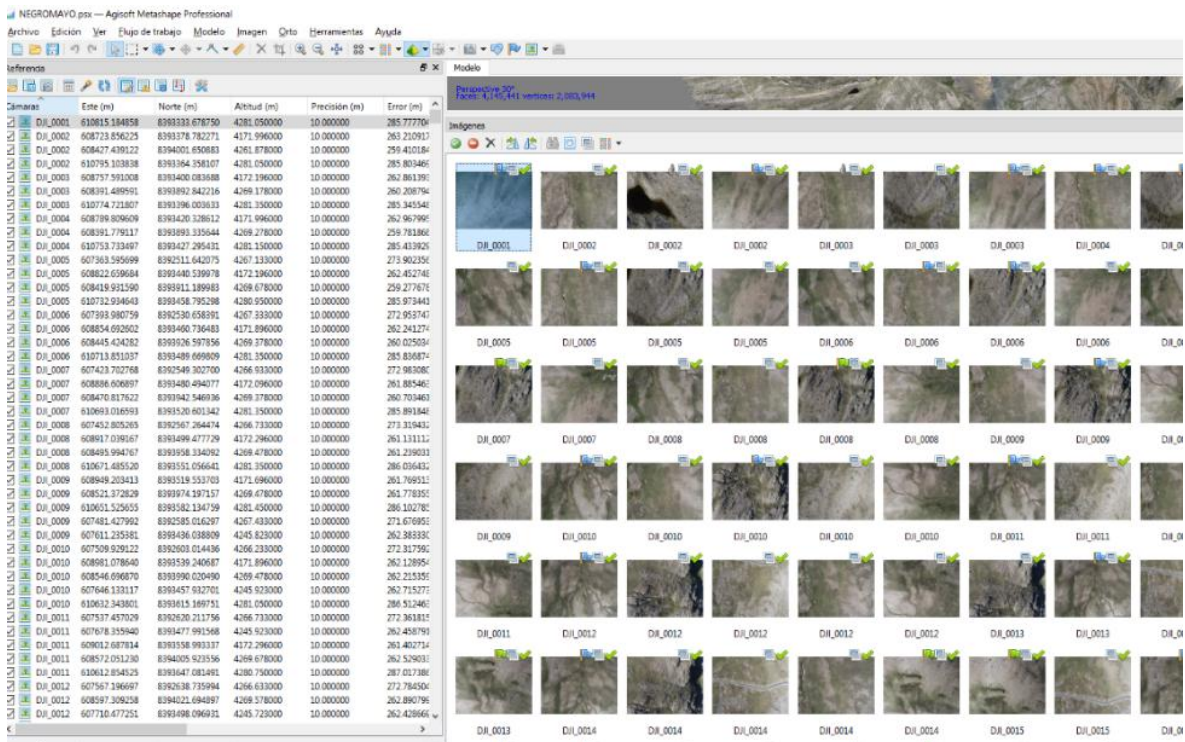
**Figura 19: Secuencia de procesamiento de imágenes en Agisoft Metashape**

Nota. Postproceso ejecutado de área de interes

#### **d.1. Procesamiento de la información con agisoft metashape**

- **Importación de imágenes y calibración.**

Para comenzar el procesamiento de fotografías obtenidas mediante un drone, el primer paso a seguir es importar nuestras imágenes, estas se mantienen en estricto orden de vuelo en una carpeta de trabajo codificada. Procedimos a cargar nuestras fotografías, luego se procede a calibrar la cámara que para nuestro caso cuenta con una metadata la cual contiene información implícita de la cámara con la que se obtuvieron las fotografías.



**Figura 20: Fotografías del plan de vuelo ejecutado con importación de las imágenes al software Agisoft Metashape**

Nota. Fotografías de zona de interés

- **Proceso de georreferenciación**

La georreferenciación de las imágenes en el software consiste en asignarle la referencia que se va utilizar para el proyecto, en nuestro caso todos los levantamientos deben presentarse en coordenadas UTM con datum WGS-84, al tener las fotografías una metadata, el programa reconoce por defecto las coordenadas de cada fotografía, pero esta puede ser llevada al sistema que se requiera mediante una transformación que el programa permite, siendo llevada al sistema en el cual se tienen los puntos de control cuya coordenada es conocida y se obtuvieron en campo con el uso del GNSS-Diferencial.

Cámaras	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)
DJI_0001	610815.184858	8393333.678750	4281.050000	10.000000	285.777704
DJI_0002	608723.856225	8393378.782271	4171.996000	10.000000	263.210917
DJI_0002	608427.439122	8394001.650883	4261.878000	10.000000	259.410184
DJI_0002	610795.103838	8393364.358107	4281.050000	10.000000	285.803465

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Precisión (m)	Error (m)
Pt1	607422.985000	8393124.947000	4377.719000	0.005000	0.195096
Pt2	607570.830000	8392956.353000	4332.207000	0.005000	0.113600
Pt3	607886.851000	8392737.281000	4324.162000	0.005000	0.217341
Pt4	607505.075000	8392733.203000	4342.619000	0.005000	0.131264
Pt5	607819.505000	8393058.218000	4320.761000	0.005000	0.140039
Pt6	608480.469000	8393255.899000	4282.784000	0.005000	1.011458
Pt7	608339.209000	8393377.866000	4294.186000	0.005000	0.629755
Pt8	608159.935000	8393471.009000	4318.093000	0.005000	0.404526
Pt9	607846.009000	8393450.238000	4355.977000	0.005000	0.561275
Pt10	607730.764000	8393707.168000	4357.010000	0.005000	0.602165
Pt11	607655.729000	8393871.464000	4361.892000	0.005000	0.328186
Pt12	607493.216000	8394184.352000	4379.996000	0.005000	0.102615
Pt13	607820.750000	8394152.283000	4370.301000	0.005000	0.189731
Pt14	607965.402000	8393907.193000	4365.352000	0.005000	0.184212
Pt16	608374.503000	8393987.008000	4402.816000	0.005000	0.274680
Pt17	608476.079000	8393975.393000	4398.145000	0.005000	0.126035
Pt18	608635.818000	8393216.663000	4291.947000	0.005000	0.437205
Pt19	608576.467000	8392960.890000	4348.111000	0.005000	0.573620
Pt20	608764.144000	8392759.458000	4385.515000	0.005000	0.100480
Pt21	608956.369000	8392724.501000	4415.924000	0.005000	0.611260
Pt22	608975.371000	8393015.923000	4390.167000	0.005000	0.457964
Pt23	608964.047000	8393187.980000	4346.167000	0.005000	0.435998
Pt24	609169.719000	8393712.162000	4249.511000	0.005000	0.778911
Pt25	609065.615000	8393874.558000	4251.082000	0.005000	0.574853
Pt26	609372.108000	8394456.944000	4223.970000	0.005000	0.132698
Pt27	609564.739000	8394637.809000	4212.670000	0.005000	0.182889
Pt28	609929.897000	8394754.713000	4201.505000	0.005000	0.133648
Pt29	610003.112000	8394426.969000	4218.429000	0.005000	0.145730
Pt30	609649.467000	8394436.121000	4221.647000	0.005000	0.081685
Pt31	609483.364000	8394124.169000	4237.212000	0.005000	0.423613
Pt32	609243.182000	8394167.215000	4233.676000	0.005000	0.271889
Pt36	608760.828000	8393523.428000	4263.636000	0.005000	0.957272
Pt37	608643.954000	8393698.800000	4287.383000	0.005000	0.689232
Pt42	609873.840000	8392918.018000	4466.499000	0.005000	1.188334
Pt50	610849.052000	8393394.106000	4416.993000	0.005000	0.538989
Pt52	610900.544000	8393283.884000	4428.238000	0.005000	0.591043
Pt54	611245.865000	8393409.930000	4387.214000	0.005000	0.358007
Pt56	611175.921000	8393616.536000	4372.364000	0.005000	0.118866

Medidas de distar	Distancia (m)	Precisión (m)	Error (m)
<b>Error total</b>			
Medidas de d...			
Medidas de d...			
Espacio de trabajo			
Referencia			

**Figura 21: Importación de puntos de control**

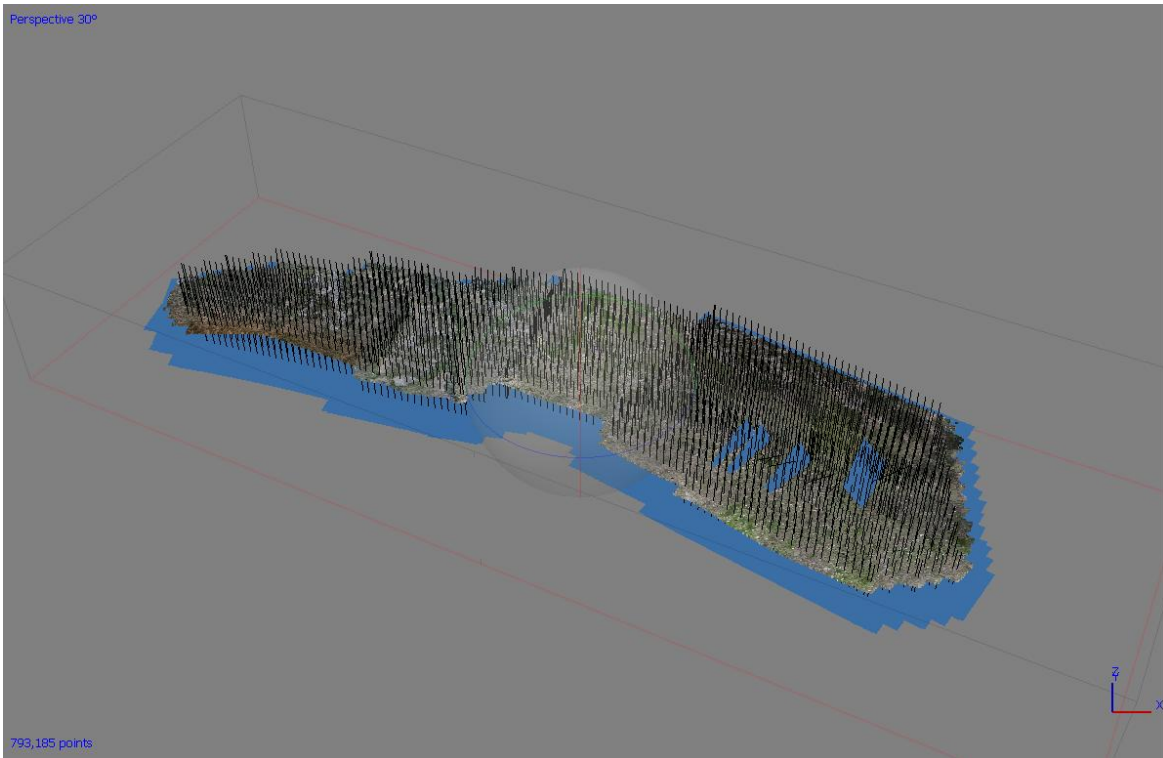
Nota. Relación de puntos de control de área de interés.

- **Orientación de imágenes**

Luego de tener las imágenes importadas, la cámara calibrada y las fotos geolocalizadas vamos a comenzar el postproceso orientando las imágenes de acuerdo a los puntos de control que se tomaron en campo, esto permitirá realizar un ajuste mucho mayor tanto en el plano horizontal como en el vertical, para esto se carga la información de las coordenadas tomadas de cada punto y se procede a vincular cada punto con las fotografías que hayan capturado ese punto dentro de la foto, razón por la cual es necesario que se lleve a cabo un buen marcado en campo que facilite la ubicación del punto en las fotografías.

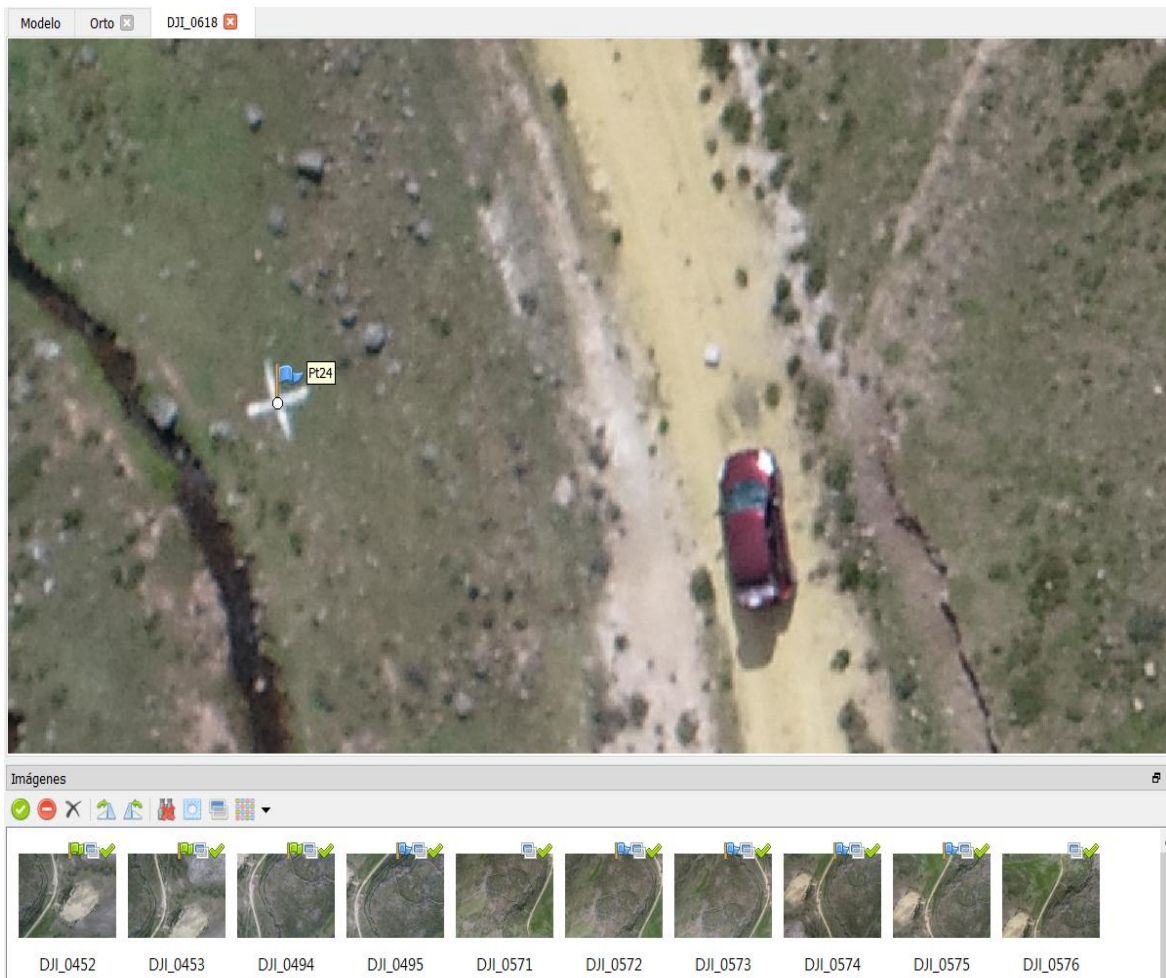
Todas aquellas fotos que tengan el punto se irán corrigiendo y se ajustaran a la coordenada, reduciendo el error inicial que se tenía por fotografía, este proceso se repite con todas las fotografías y luego de realizado todo el proceso con todos los

puntos de control se procede a orientar todas las fotografías, tanto las que llevan puntos de control dentro de la foto como aquellas que no, a fin de ajustar todo el modelo a las coordenadas de los puntos de control.



**Figura 22: Alineación de las fotografías**

FUENTE: Postproceso de datos del proyecto de interés.



**Figura 23: Asignación de puntos de control para orientar las imágenes**

FUENTE: Postproceso del vuelo ejecutado

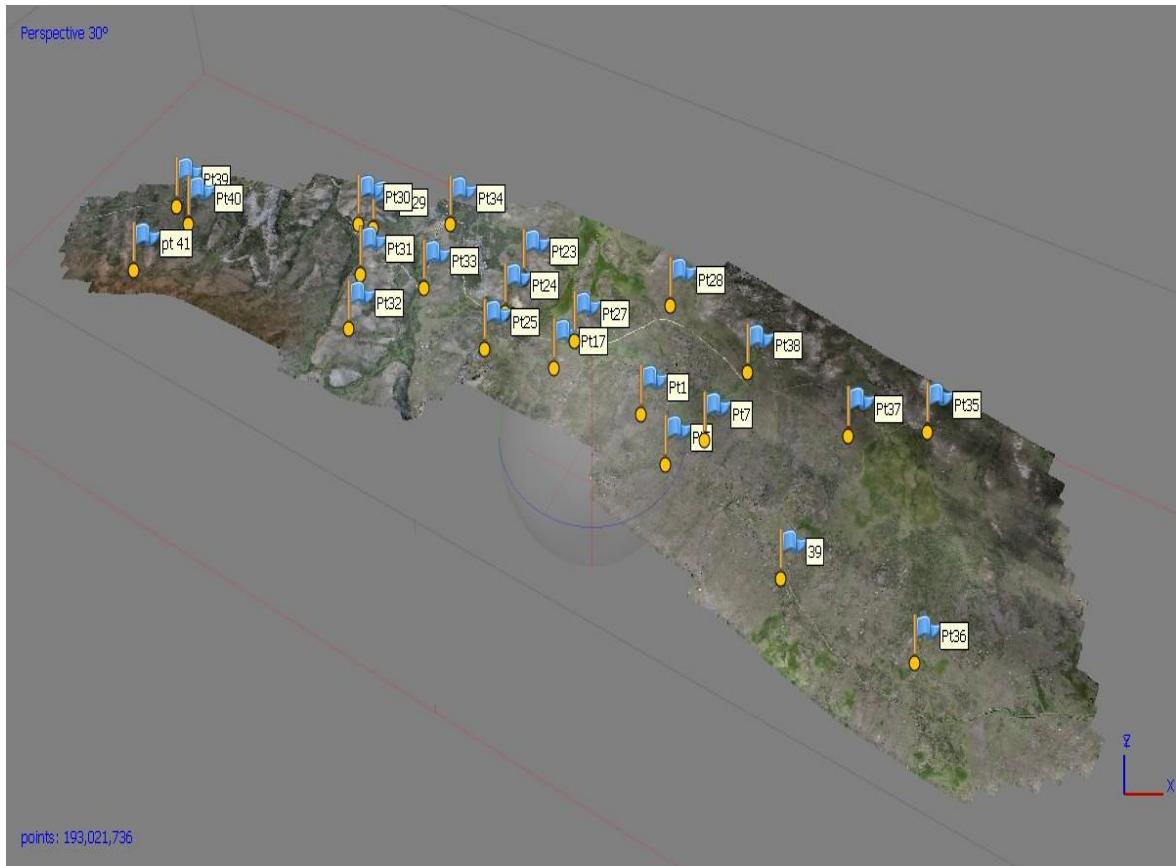
- **Crear nube de puntos densa**

Teniendo nuestro proyecto orientado georreferenciado se procedió a desarrollar todo un flujo de trabajo, el siguiente paso fue la creación de la nube de puntos densa, en una calidad media. La calidad del producto tiene que ver directamente con la discriminación de los puntos que se realizan por fotografía, este filtrado que realiza el software, permite discriminar los puntos bajo diferentes consideraciones que se pueden utilizar después para poder clasificarlos como se nota en las Figuras N° 24 y 25, donde se tuvo que discriminar pircas existentes y los puntos de terreno.

Es importante tener en consideración que el proceso de generación de puntos densa demanda gran cantidad de los recursos del computador, razón por la cual es necesario contar con espacio dentro de la carpeta donde se tiene el proyecto debido al alto

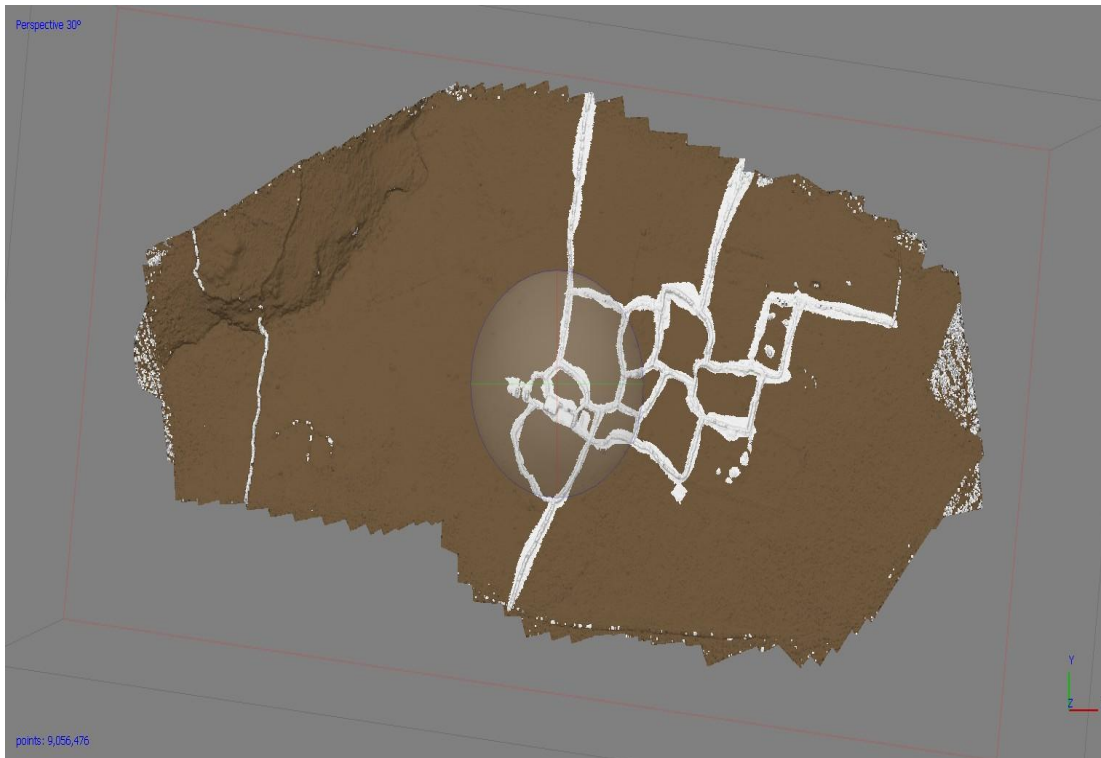


espacio que se necesita y una memoria RAM mayor a los 16 GB para evitar que el proceso se vea interrumpido y no tome demasiado tiempo.



**Figura 24: Vista perfil de la nube densa de puntos**

FUENTE: postproceso de proyecto de vuelo de zona de interes.



**Figura 25: Clasificación de puntos luego del proceso de generación de nube de puntos densa**

Nota. Proyecto de micro reservorio. Fuente: postproceso del ámbito de estudio.

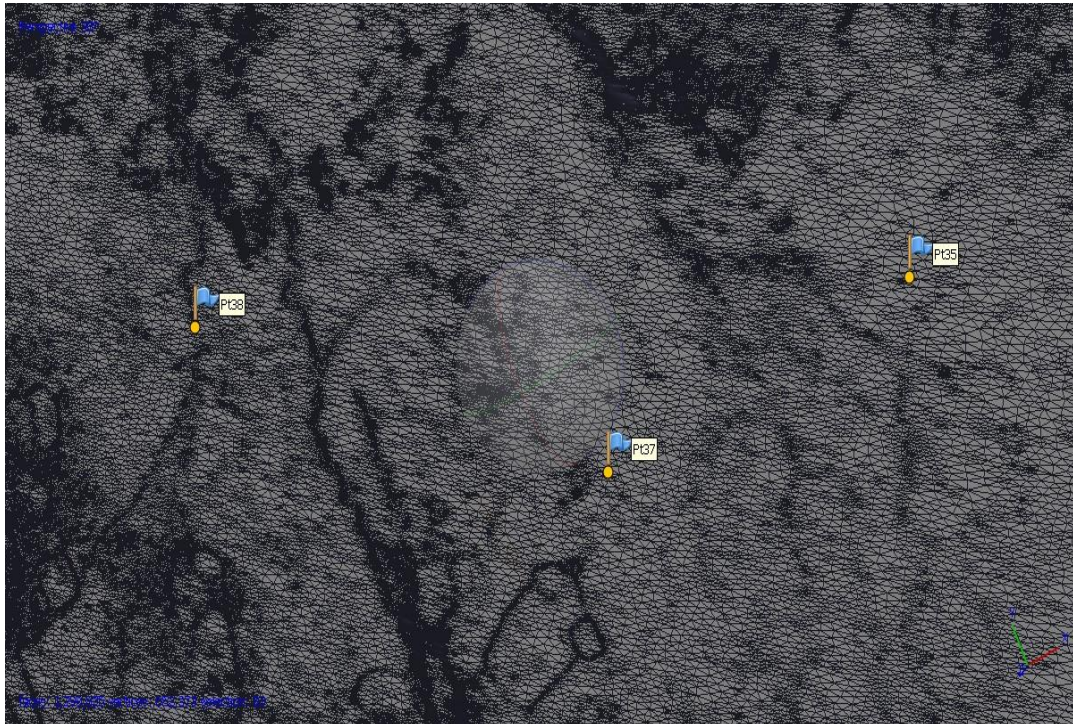
- **Crear malla**

Seguidamente de generar la nube de puntos densa procedemos a crear la malla que nos servirá de base para generar un modelo de elevación digital (DEM). De igual forma que en los procesos anteriores seleccionamos la calidad media para construir la malla, seleccionamos el número de caras que se deseamos, el tipo de superficie y la fuente de los datos desde los cuales se crearan la malla, que en este caso es la nube densa de puntos y seleccionando el tipo de interpolación, esto nos permitirá obtener una malla de triángulos promedio que parte de la nube de puntos densa (Ver Figura 26).

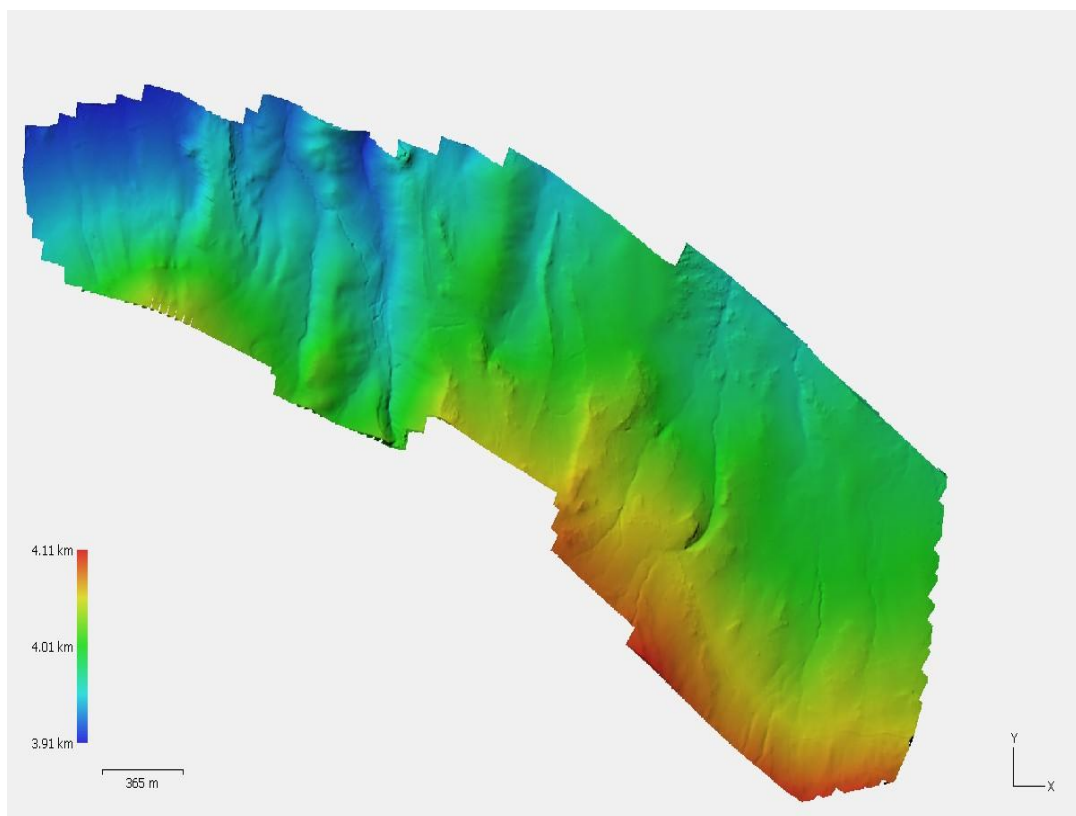
- **Crear modelo digital de elevación**

El modelo digital de elevación es el producto con mayor interés en el procesamiento de imágenes para topografía, ya que a partir de esta imagen ráster es posible generar modelos digitales de terreno, curvas de nivel, entre otros. Este se crea a partir de la malla que procesamos anteriormente y es donde asignamos la resolución que necesitamos en nuestro DEM (Ver Figura 27); para nuestro proyecto se usó una

resolución de 0.20 metros de tamaño de pixel, a fin de poder eliminar el ruido que existe por pequeñas piedras y presencia de algunos pastizales.



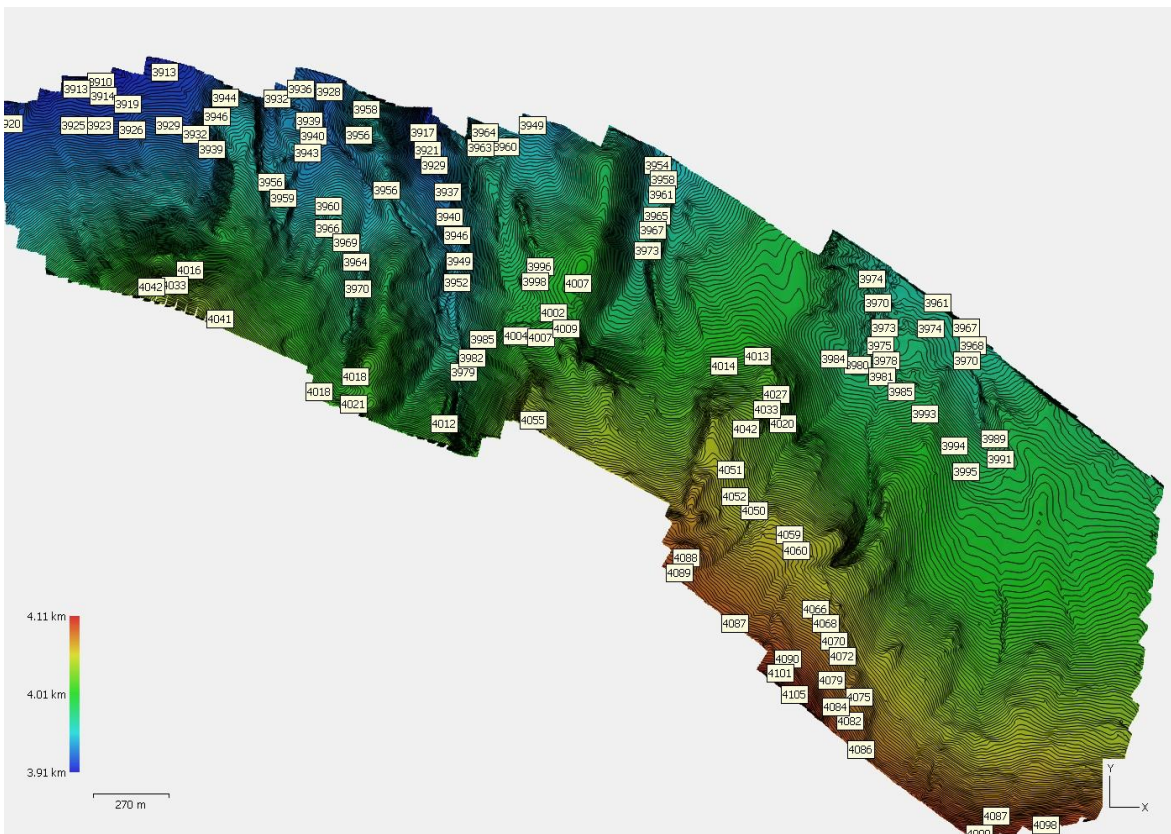
**Figura 26: Creación de la malla del proyecto de vuelo de zona de intereses**



**Figura 27: Resultado MDE del proyecto de vuelo de zona de interés**

- **Crear curvas de nivel**

Teniendo el modelo de elevación digital (DEM), podemos generar las curvas de nivel, que es el producto que se requiere en los distintos términos de referencia de los proyectos realizados. Estas curvas se generan en el programa como una polilínea 3D, dichas polilíneas pueden ser exportada en formato shape, kml, kmz y formato DXF, siendo esta última la que usaremos. como se aprecia en la Figura 28. Una vez exportado el archivo DXF se utilizó el software Autocad civil 3D para generar una superficie con curvas de nivel, que es el formato que se solicita como producto del servicio.



**Figura 28: Curvas de nivel generadas y superpuestas al DEM**

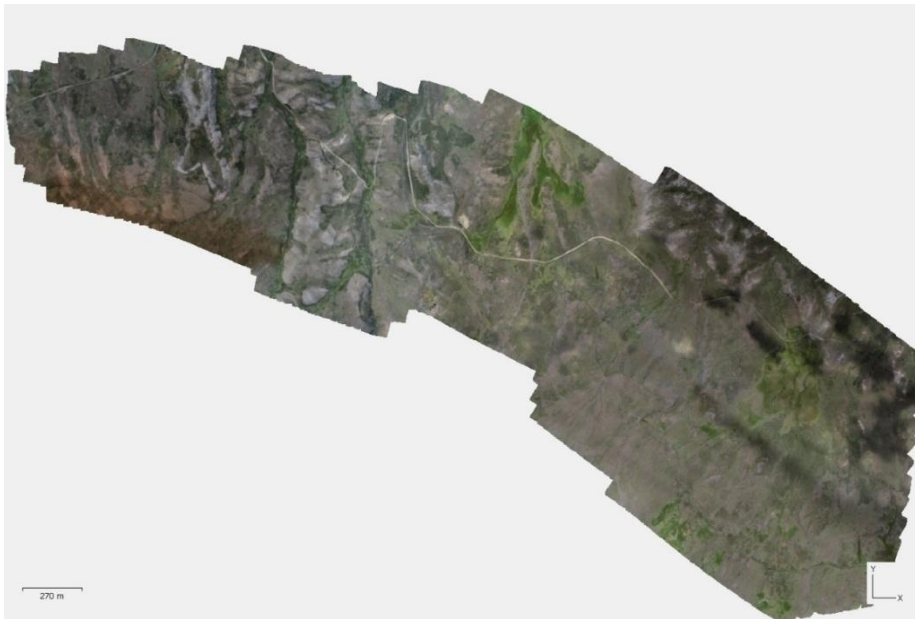
Nota. Del proyecto objeto de estudio

- **Generación de ortofoto**

La generación de la ortofoto viene a ser una opción, no siendo necesaria como producto en los trabajos realizados, pero sin embargo ayuda mucho en caso de diseños ya que se puede visualizar la zona donde se plantea el proyecto con las consecuentes facilidades y mejoras que esto trae al diseñador, siendo de mucha ayuda

al momento de la elaboración del proyecto.

Para realizar el ortomosaico se debe indicar la proyección que se quiere; esta viene a ser la misma bajo la cual se trabajó el proyecto, y los parámetros de superficie a partir de los cuales se van a unir las fotografías para formar el ortomosaico; que es la malla que se generó.



**Figura 29** Ortofoto generada del proyecto de clausura de praderas.  
**Proyecto de interés**



**Figura 30.** Curvas de nivel superpuestas a la ortofoto generada en el proyecto de clausura de praderas

### 3.2.4. Levantamiento topográfico con dron RTK

**a. Equipos utilizados.** Para este tipo de levantamiento se usó un dron de la marca DJI, modelo Phantom 4 RTK, este equipo necesita una estación base que le permita corregir su posición, la base usada fue el GNSS diferencial usado en el método anterior.

**Tabla 4: Especificaciones técnicas del dron Phantom 4 RTK**

<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL DJI PHANTOM 4 RTK</b>	
Peso (baterías y hélices incluidas)	1391 g
Tamaño diagonal (hélices excluidas)	350 mm
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m/s, Modo P: 5 m/s
Velocidad máxima de descenso	Modo S: 4 m/s, Modo P: 3 m/s
Máxima velocidad	Modo S: 72 kph, Modo A: 58 kph, Modo P: 50 kph
Angulo de inclinación máxima	Modo S: 42°, Modo A: 35°, Modo P: 25°
Techo de servicio máximo sobre el nivel del mar	6000 m
Resistencia máxima a la velocidad del viento	10 m/s
Máximo tiempo de vuelo	Aprox. 30 minutos
Rango de Temperatura de funcionamiento	0° a 40° C
Frecuencia de operación	2.400 GHz a 2.483 GHz (Europa, Japón, Corea) 5.725 GHz a 5.850 GHz (Estados Unidos, China)
Rango de precisión de desplazamiento	RTK habilitado y funcionando correctamente : Vertical : $\pm 0,1$ m ; Horizontal : $\pm 0,1$ m RTK desactivado Vertical $\pm 0,1$ m (con posicionamiento visual) ; $\pm 0,5$ m (con posicionamiento GNSS) Horizontal : $\pm 0,3$ m (con posicionamiento visual) ; $\pm 1,5$ m (con posicionamiento GNSS)
<i>Desplazamiento de la posición de la imagen</i>	La posición del centro de la cámara es relativa al centro de fase de la antena D-RTK incorporada debajo del eje del cuerpo de la aeronave: (36, 0 y 192 mm) ya aplicado a las coordenadas de la imagen en los datos Exif. Los ejes x, y y z positivos del cuerpo de la aeronave apuntan hacia adelante, hacia la derecha y hacia abajo de la aeronave, respectivamente.

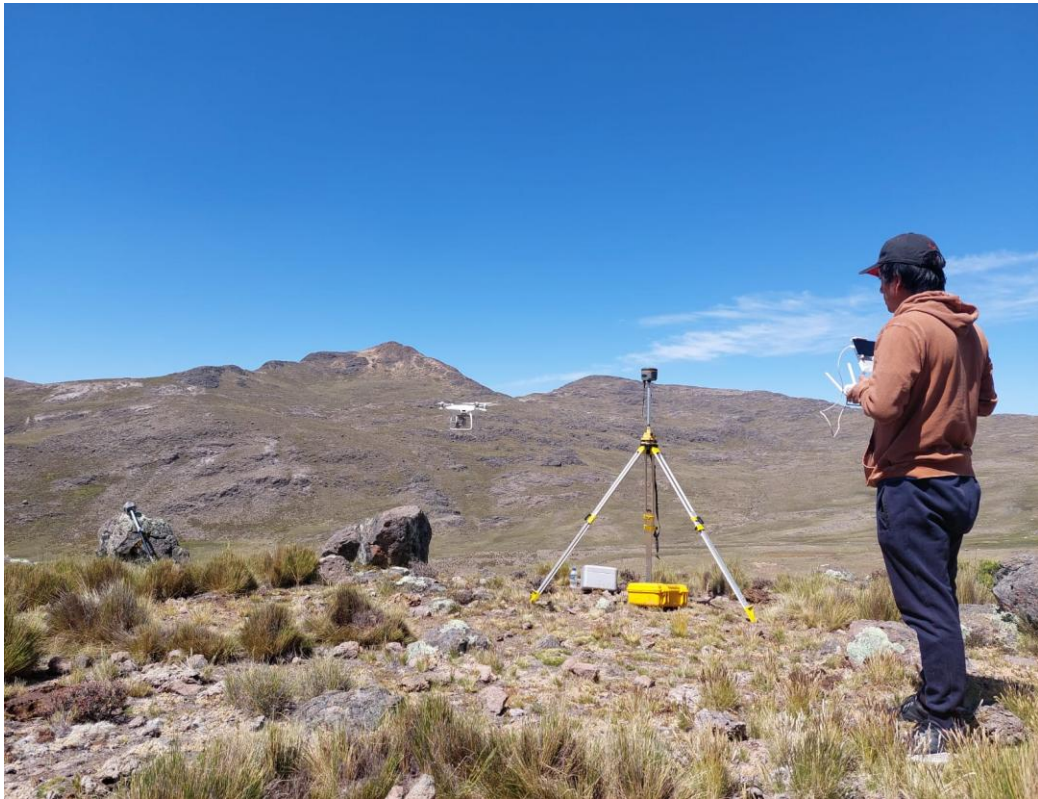


**Figura 31: Dron Phantom 4 RTK**

FUENTE: Tomado de Djiperu, 2022 (<https://djiperusanisidro.com/phantom-4-rtk/?gclid=CjwKCAjwkaSaBhA4EiwA>)

**b. Descripción de la metodología usada.** *El método de levantamiento topográfico usando un dron RTK, responde a la necesidad de disminuir los tiempos y mejorar las precisiones en cuanto al método anterior que utilizaba puntos de control para rectificado y ajuste de la posición de las fotografías en el procesado de la información. Este método no necesita de punto de control y cuenta con una base de referencia que en tiempo real va corrigiendo la ubicación de las fotografías, no necesitando puntos de control, en casos como este lo que se llega a realizar o poner son puntos de fotocontrol con la finalidad de comparar luego del proceso de las imágenes la precisión que arroja el modelo respecto al punto marcado.*

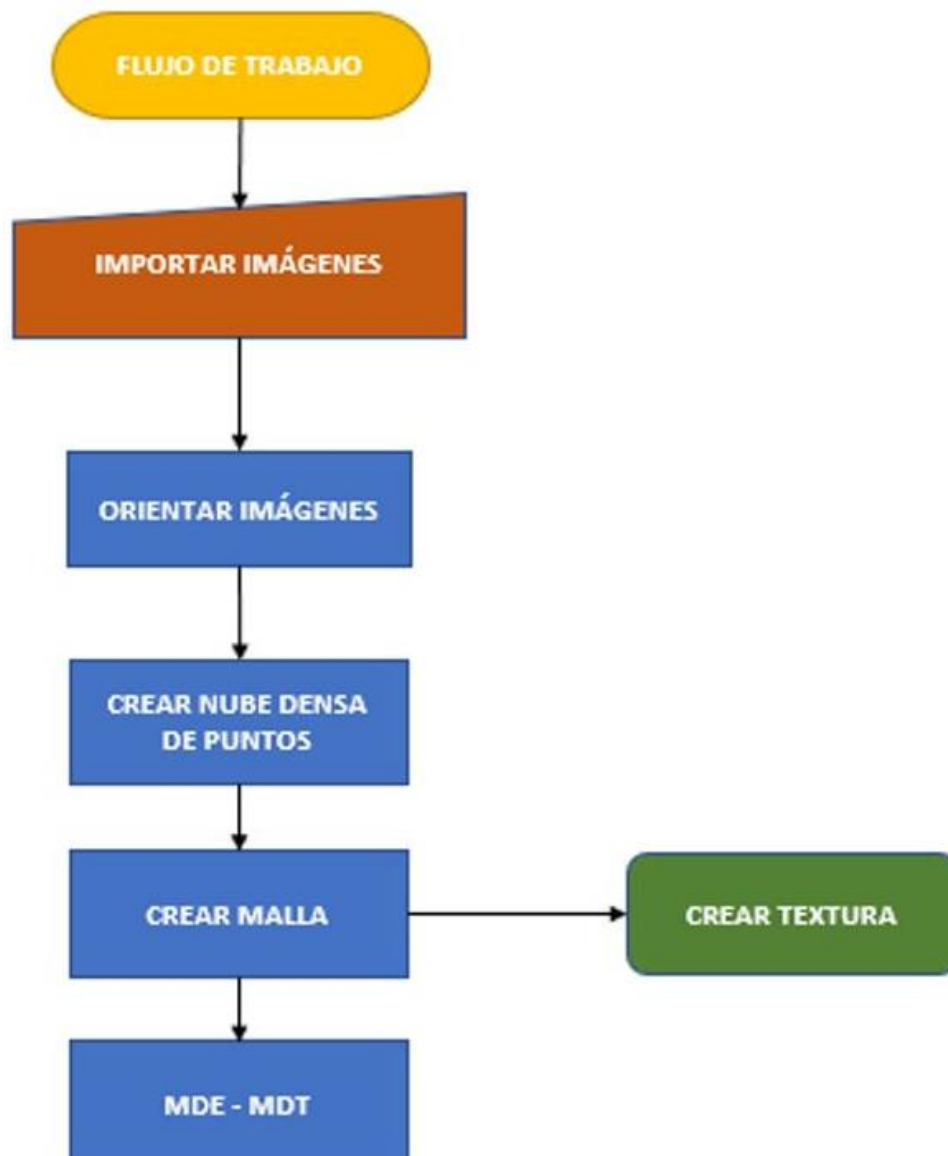
Para el proyecto se usó una base GNSS modelo SOUTH, que corrigió en tiempo real la ubicación de las fotografías obtenidas por el dron, un dron modelo Phantom 4 RTK y se siguió el mismo procedimiento descrito en la Figura 33, donde se obvia el paso de los puntos de control, por lo cual ya no se detallará ese paso en el procesamiento.



**Figura 32: Vuelo de dron con puntos de control geodésicos, modo RTK**

FUENTE: Ejecución del trabajo realizado en campo.





**Figura 33: Secuencia de procesamiento de fotografías con el aplicativo AGISOFT METASHAPE con imágenes geotiquetados**

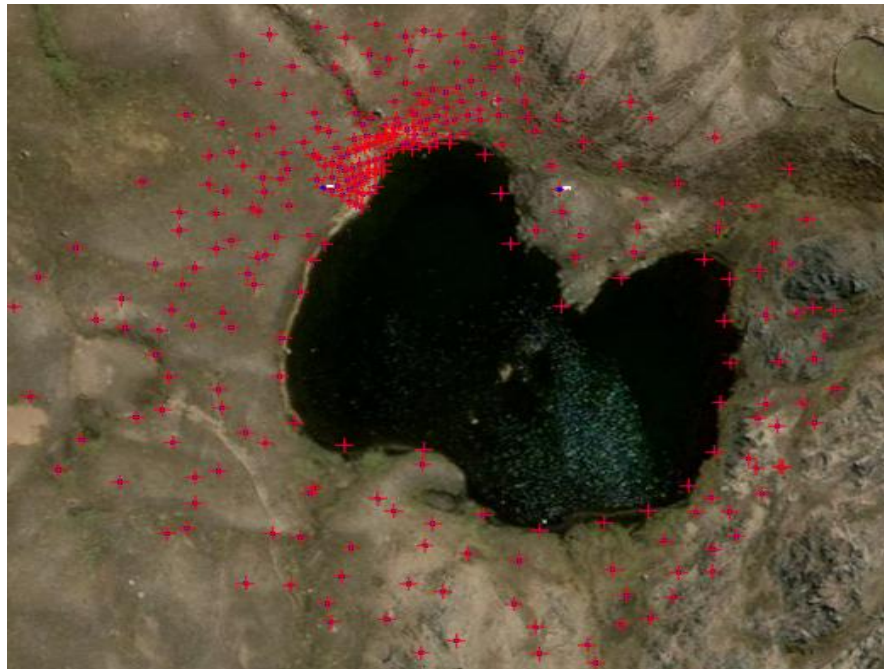
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS OBTENIDOS

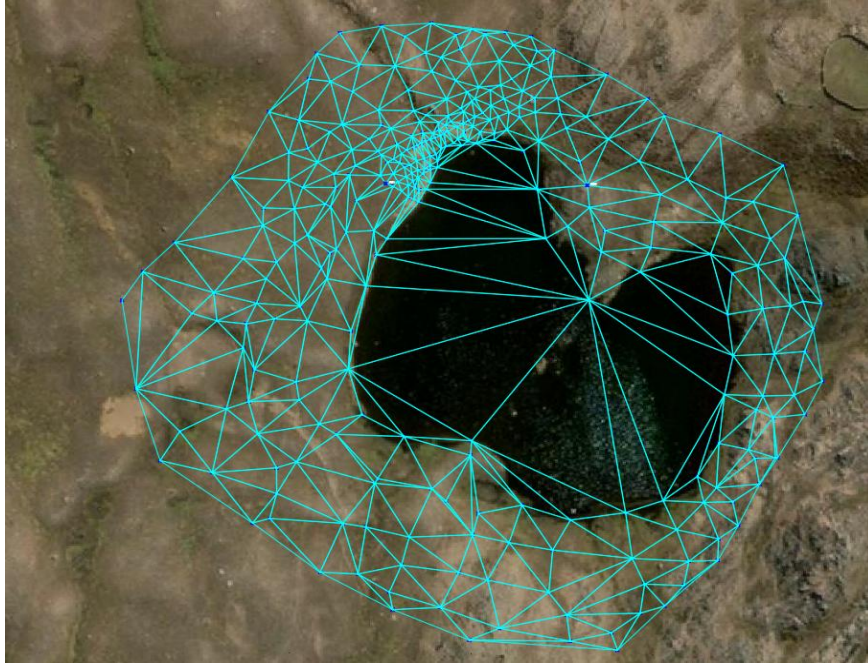
#### 4.1.1. Resultados obtenidos con estación total

Los resultados se muestran a través de la cantidad de puntos y del modelo digital de terreno MDT obtenido para cada tipo de proyecto.

- Para el caso de la qocha en este trabajo se puede notar en la Figura 34 la cantidad de 300 puntos tomados y distribuidos alrededor de la qocha, siendo mayor la cantidad de puntos en la zona donde se proyectó el dique. En la Figura 35 se muestra el modelo digital del terreno en base a las triangulaciones obtenidas por los puntos y en la Figura 36 se muestra la calidad de las curvas de nivel generadas cada 0.20 metros.



**Figura 34: Puntos topográficos levantados con una estación total alrededor de una qocha**



**Figura 35: Triangulación reticular de una superficie generada con un levantamiento topográfico con estación total en una qocha**

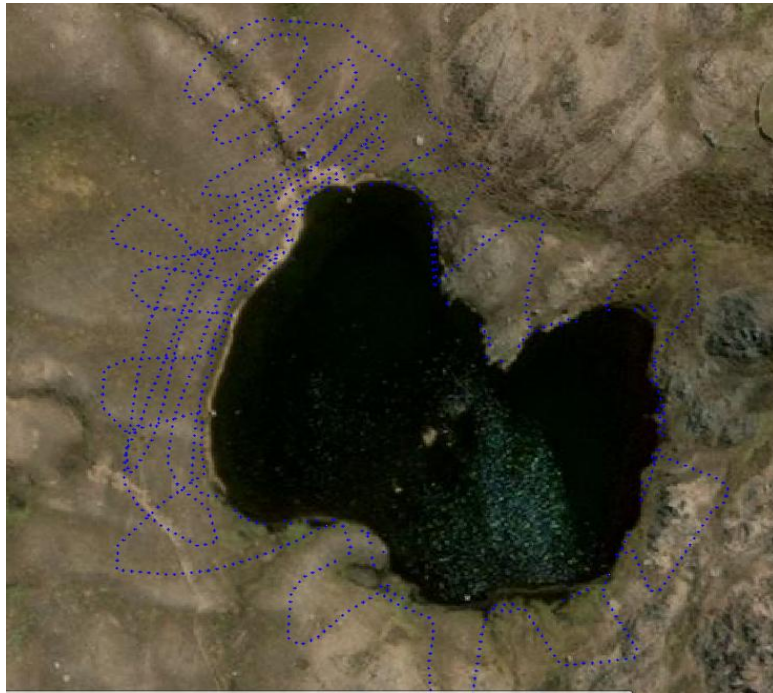


**Figura 36: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con estación total en una qocha**

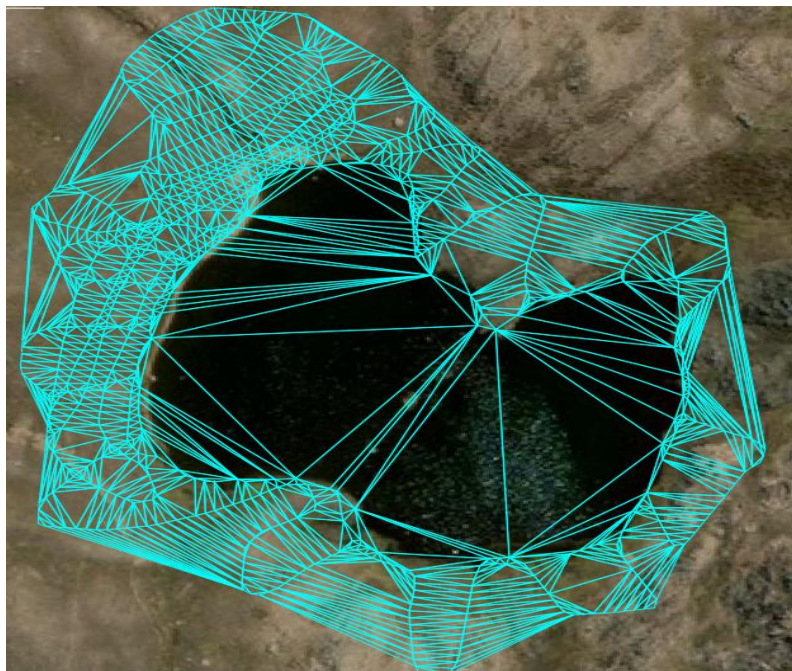
- En los proyectos de clausura de praderas no se realizó el levantamiento con estación total debido a que el proyecto contemplaba el levantamiento de 100 hectáreas por cada clausura y se contemplaba dentro del proyecto realizar 8 clausuras, razón por la cual se optó por utilizar otro método siendo poco práctico el levantamiento con estación total por el tamaño del proyecto, la extensión y el tiempo que se tenía para la entrega del producto.
- En el caso de los proyectos relacionados con los microreservorios resulto poco práctico utilizar una estación total debido a que se tenían líneas de conducción y captaciones que iban a requerir varios cambios de estación, y por la cantidad de microreservorios que contemplaba el proyecto se optó por utilizar otro tipo de equipo, eso en suma que no se tenía personal para realizar el trabajo.

#### **4.1.2. Resultados obtenidos con el GNSS diferencial**

- El resultado de este tipo de levantamiento en una gocha se muestra en la Figura 37 se toma en consideración que los puntos tomados por el rover fueron tomados de manera rápida, y en algunos casos se programó el equipo para que tome puntos de acuerdo al tiempo y distancia, razón por la cual se tiene una gran cantidad de puntos, la triangulación se muestra en la Figura 38 y se tiene muy buena relación en la zona del dique mas no así en la zona circundante al vaso que está alejada de la zona del dique, lo mismo que se muestra en las curvas de nivel cada 0.20 metros de la Figura 39, cuya mejor relación con la imagen satelital está dentro de la zona del dique.



**Figura 37: Puntos topográficos levantados con un GNSS Diferencial alrededor de una qocha**

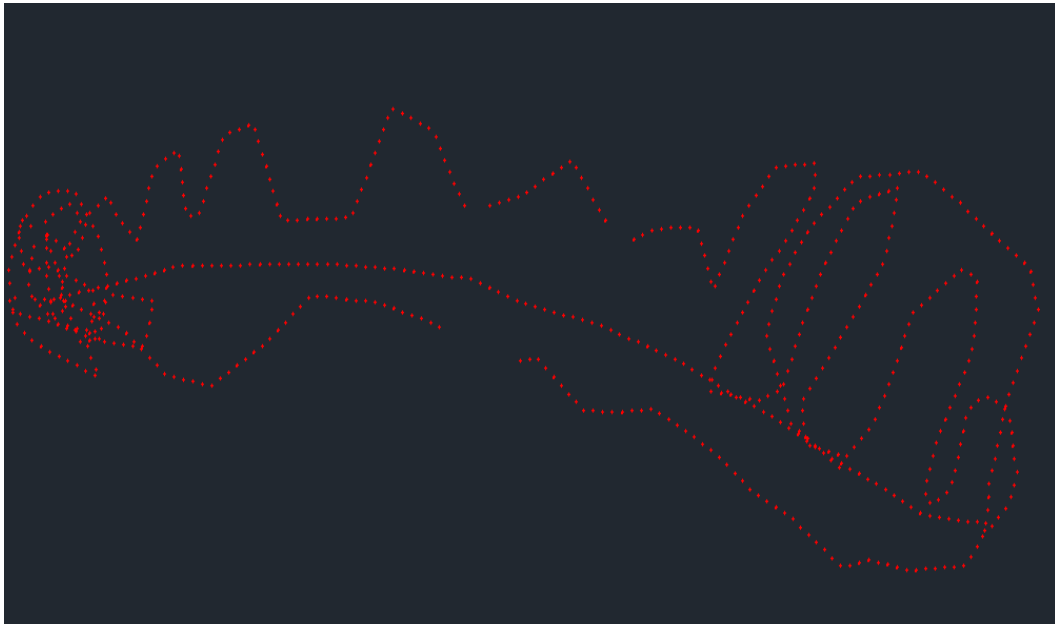


**Figura 38: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con GNSS diferencial en una qocha**

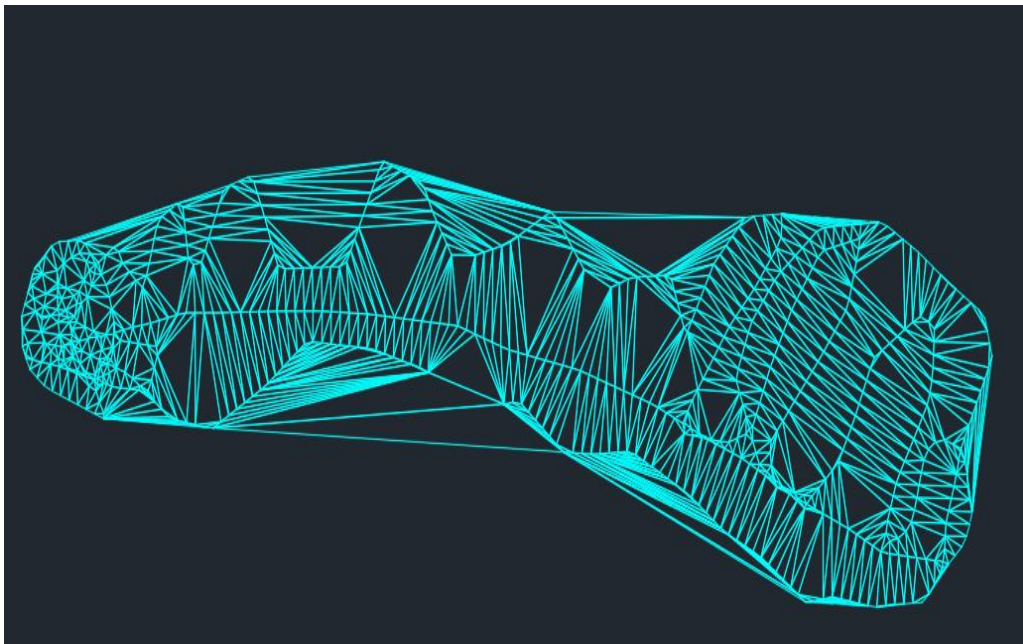


**Figura 39: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un GNSS diferencial en una qocha**

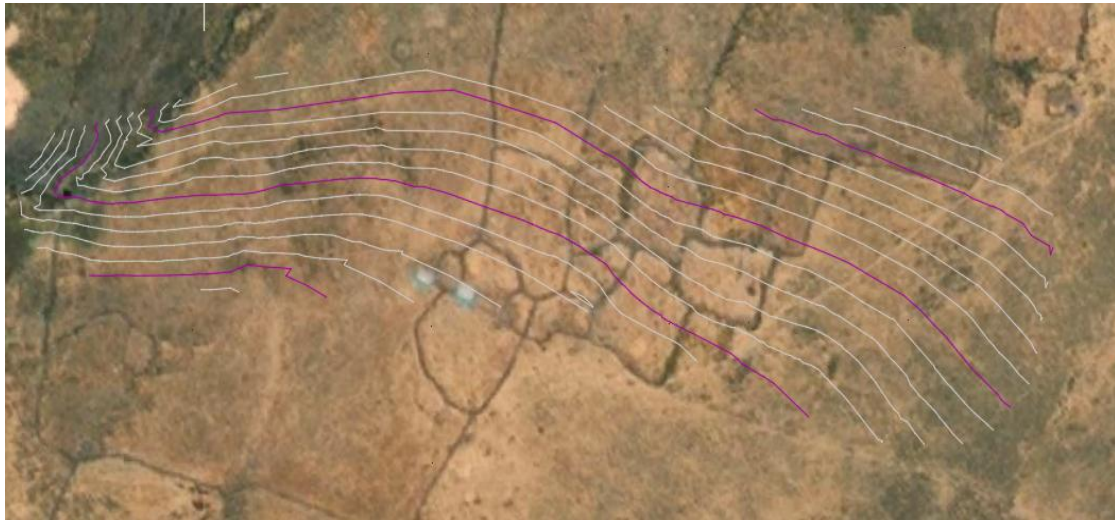
En el caso de los levantamientos de clausura de praderas debido a la extensión del proyecto cuyas áreas de clausura eran como mínimo de 100 hectáreas no se pudo completar con esta metodología y solo se recogió información de algunos puntos con fines comparativos y de control de calidad. En el caso de los micro reservorios se muestra en la Figura 40, la gran cantidad de puntos por área, siendo más denso los puntos tomados alrededor de la zona del micro reservorio proyectado, la línea de conducción proyectada y la zona de la captación de agua, esta cantidad de puntos da como resultado una triangulación densa como se muestra en la Figura 41 y finalmente en las curvas de nivel cada 1 metro que se ven en la Figura 42 se puede encontrar gran correlación con la imagen satelital.



**Figura 40: Puntos topográficos levantados con un GNSS Diferencial para un micro reservorio**



**Figura 41: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con GNSS diferencial para un micro reservorio**



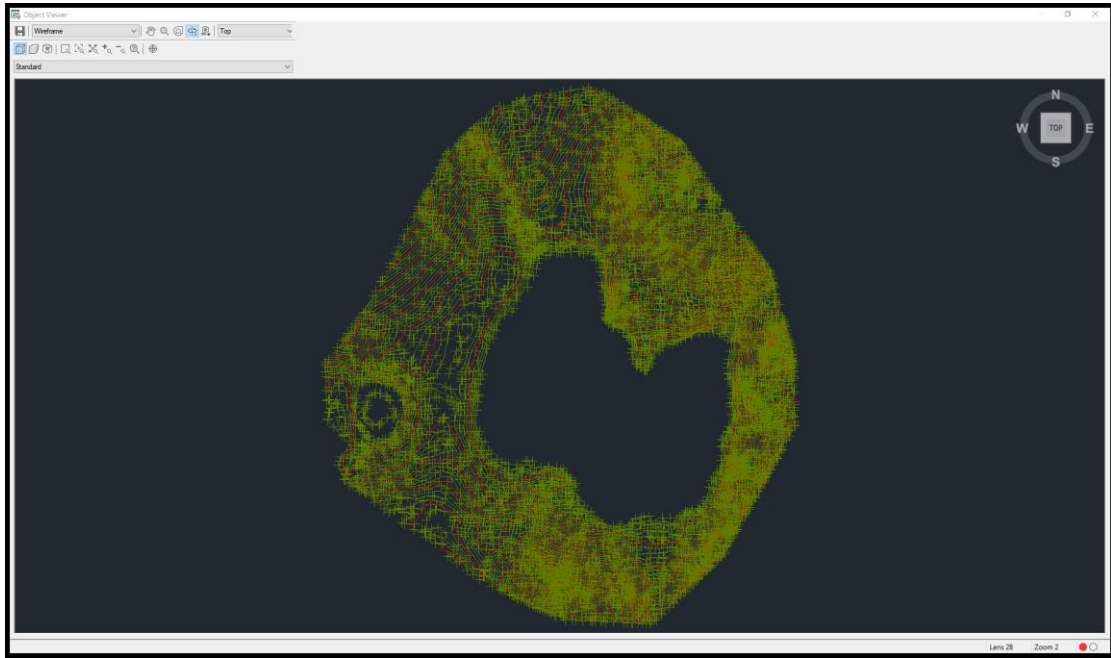
**Figura 42: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un GNSS diferencial en un microreservorio**

#### **4.1.3. Resultados obtenidos en levantamientos topográficos con drones y puntos de control**

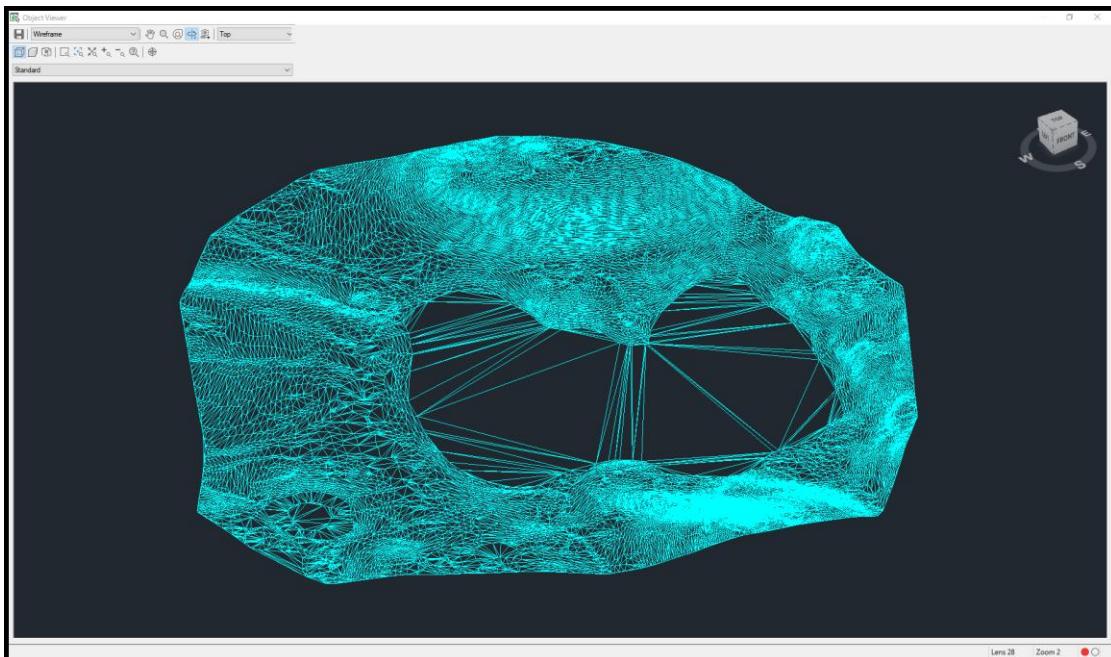
El levantamiento con esta metodología es uniforme en los tres tipos de proyectos, siendo la diferencia puntual la cantidad de puntos de control que se necesitan para realizar una correcta orientación y ajuste del DEM, en los tres casos el número de puntos tiende a ser muy alta razón por la cual se le limita a un estimado de puntos por área a representar, los cuales se distribuyen de manera uniforme. La Figura 43, Figura 46 y Figura 49 muestra la cantidad de puntos.

La Figura 44, Figura 47 y Figura 50 muestran la densidad de triangulaciones en la zona de los proyectos respectivos. Y por último, la Figura 45, Figura 48 y Figura 51 muestran las curvas de nivel generadas cada 0.20 metros en qochas y microreservorios, y cada 1 metro en praderas y microreservorios.

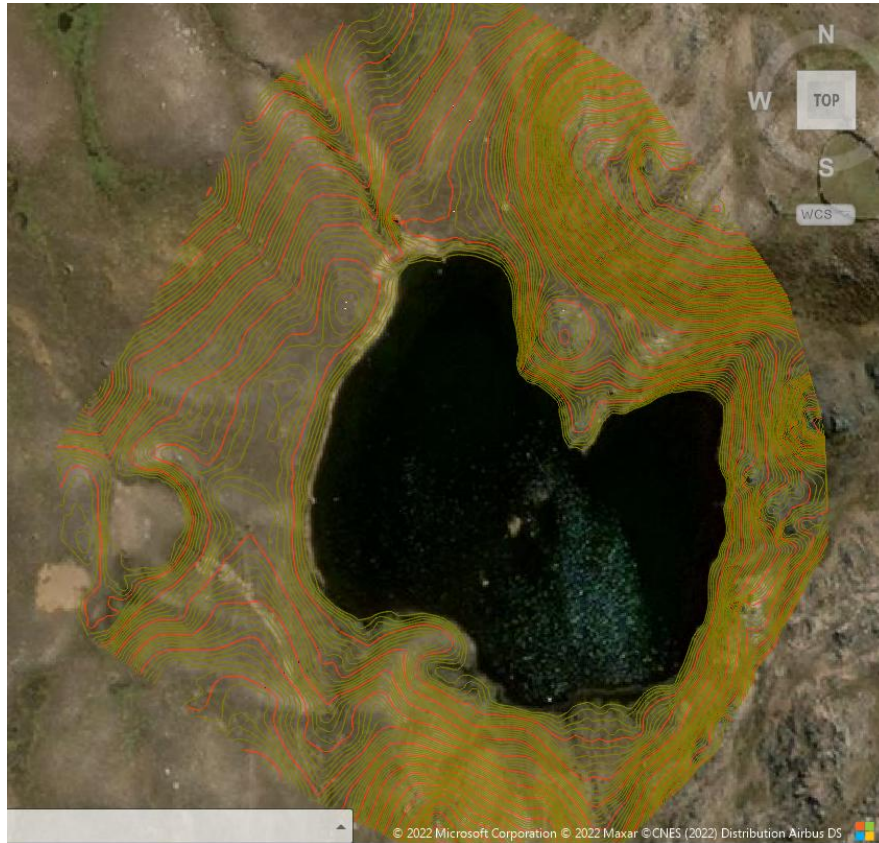




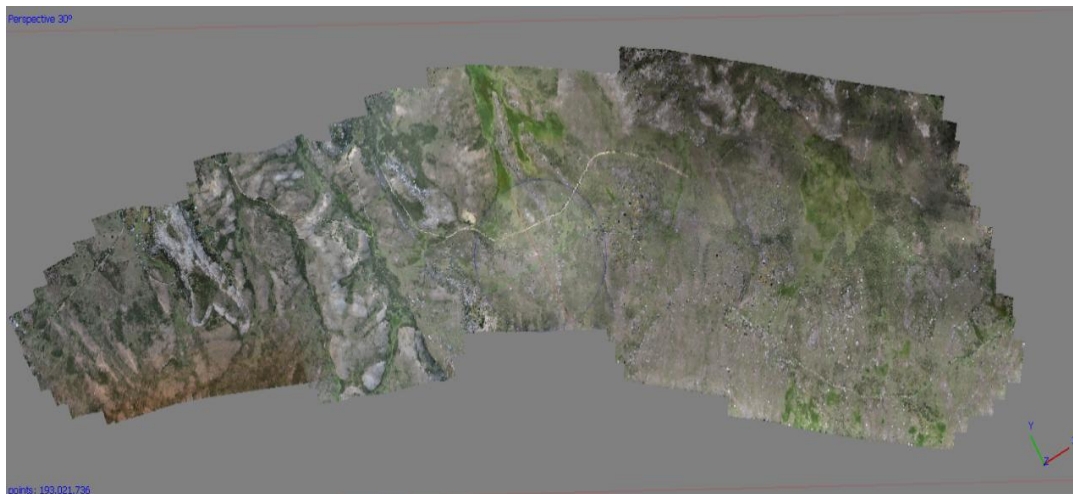
**Figura 43: Puntos sobre la superficie generados a partir de un DEM creado con un levantamiento con drones, para una qocha**



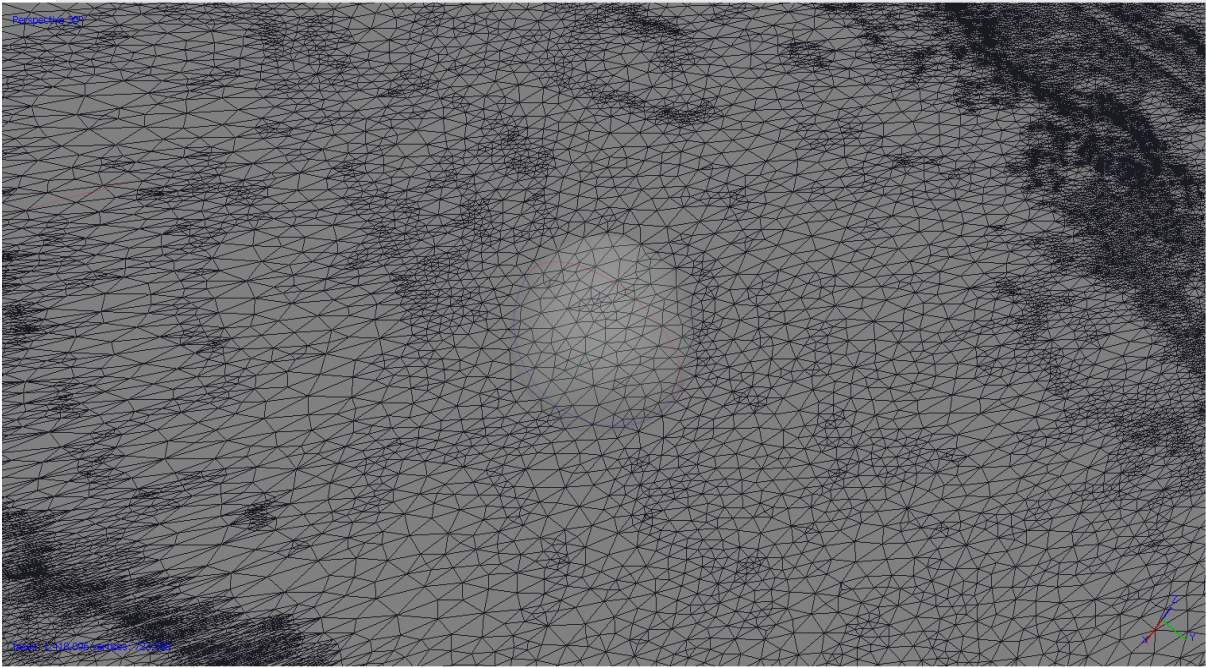
**Figura 44: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con dron para una qocha**



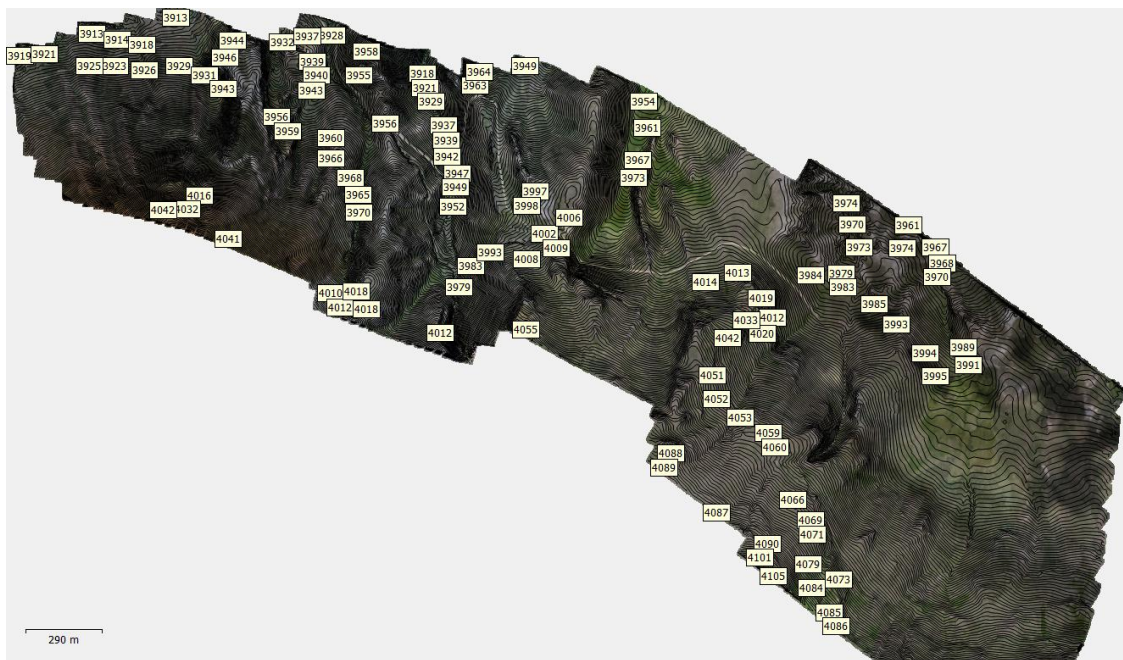
**Figura 45: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un dron en un qocha**



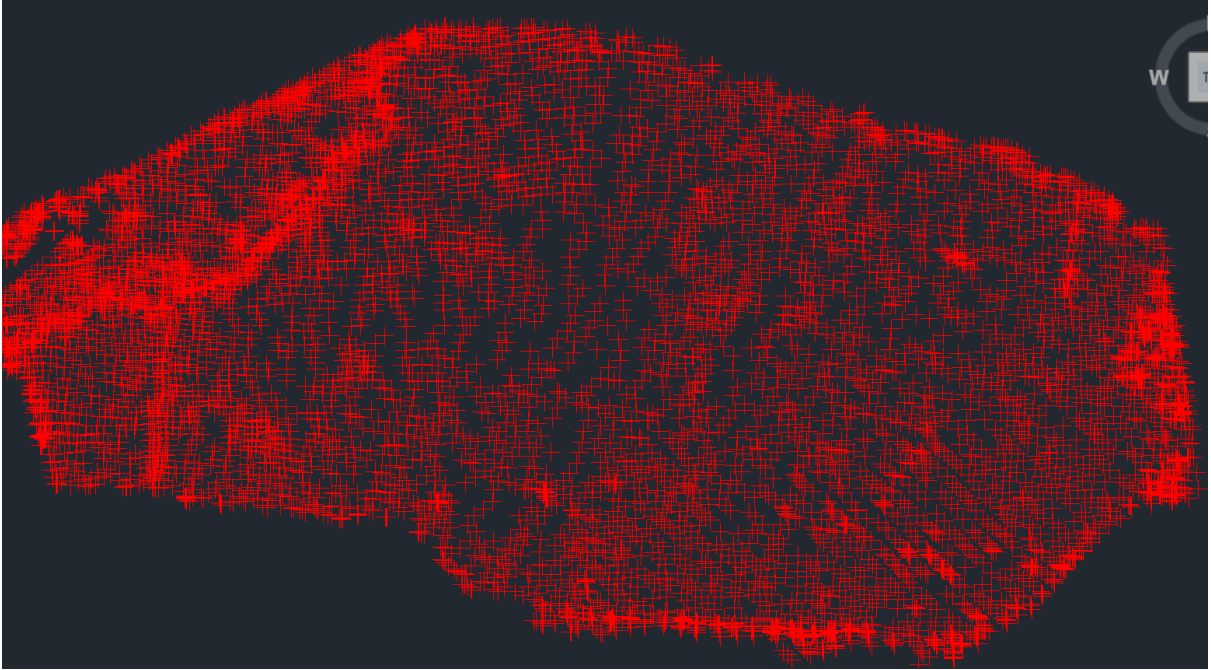
**Figura 46: Puntos sobre la superficie generados a partir de un DEM creado con un levantamiento con drones, para un proyecto de clausura de praderas, visualizados en el programa Agisoft Metashape**



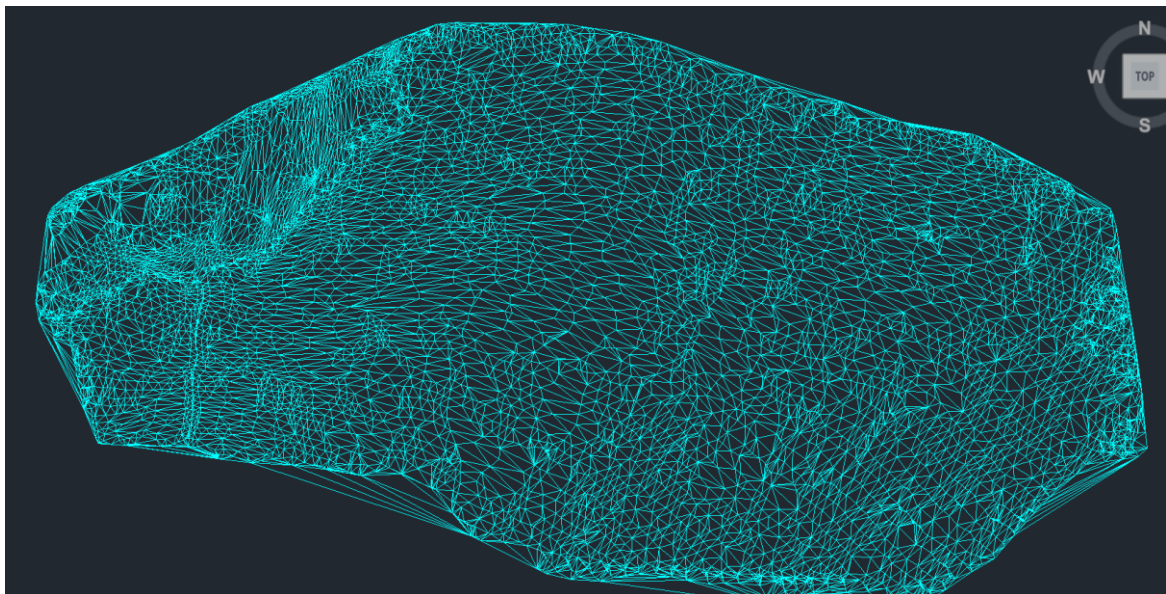
**Figura 47: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con Drones para un proyecto de clausura de praderas, en el software Agisoft Metashape**



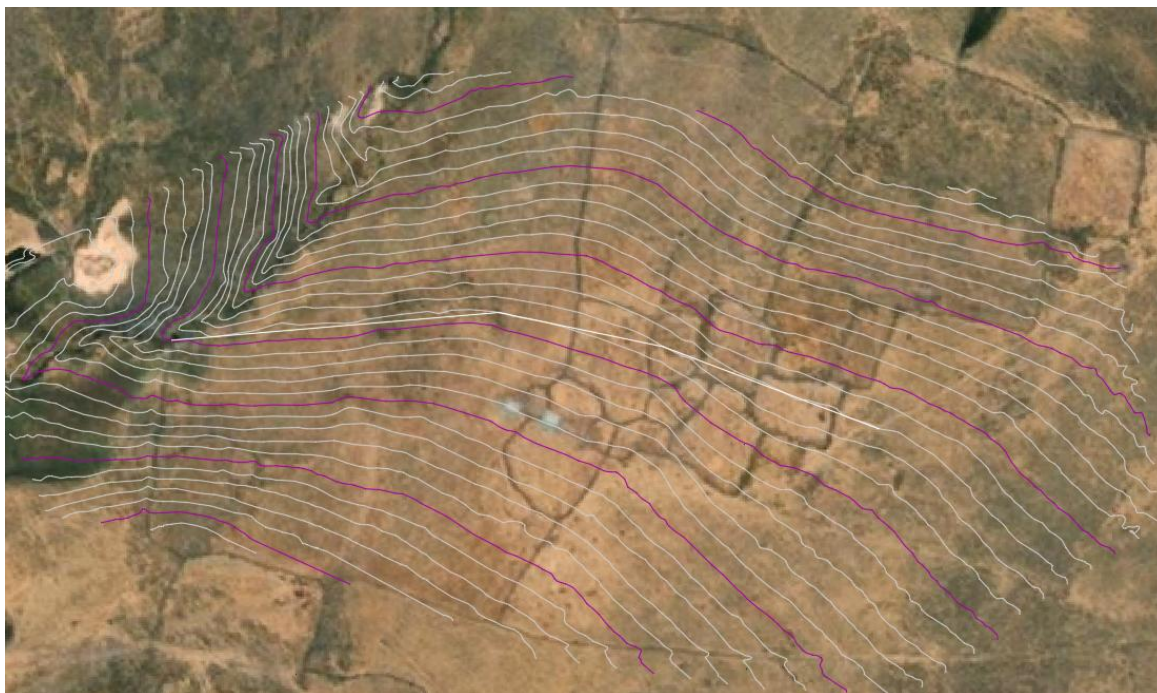
**Figura 48: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un dron en n proyecto de clausura de praderas**



**Figura 49: Puntos sobre la superficie generados a partir de un DEM creado con un levantamiento con dron, para un microreservorio**



**Figura 50: Triangulación de una superficie generada con un levantamiento topográfico con dron para un micro reservorio**



**Figura 51: Curvas de nivel generadas a partir de un levantamiento topográfico con un dron en un qocha**

#### **4.1.4. Resultado de levantamiento topográfico con dron RTK**

El levantamiento con el dron RTK se realizó en las 3 tipologías de proyectos, siendo los resultados similares en densidad de puntos, en triangulaciones y en curvas de nivel respecto al método anterior, siendo la única diferencia el uso de los puntos de control y los tiempos de trabajo en campo.

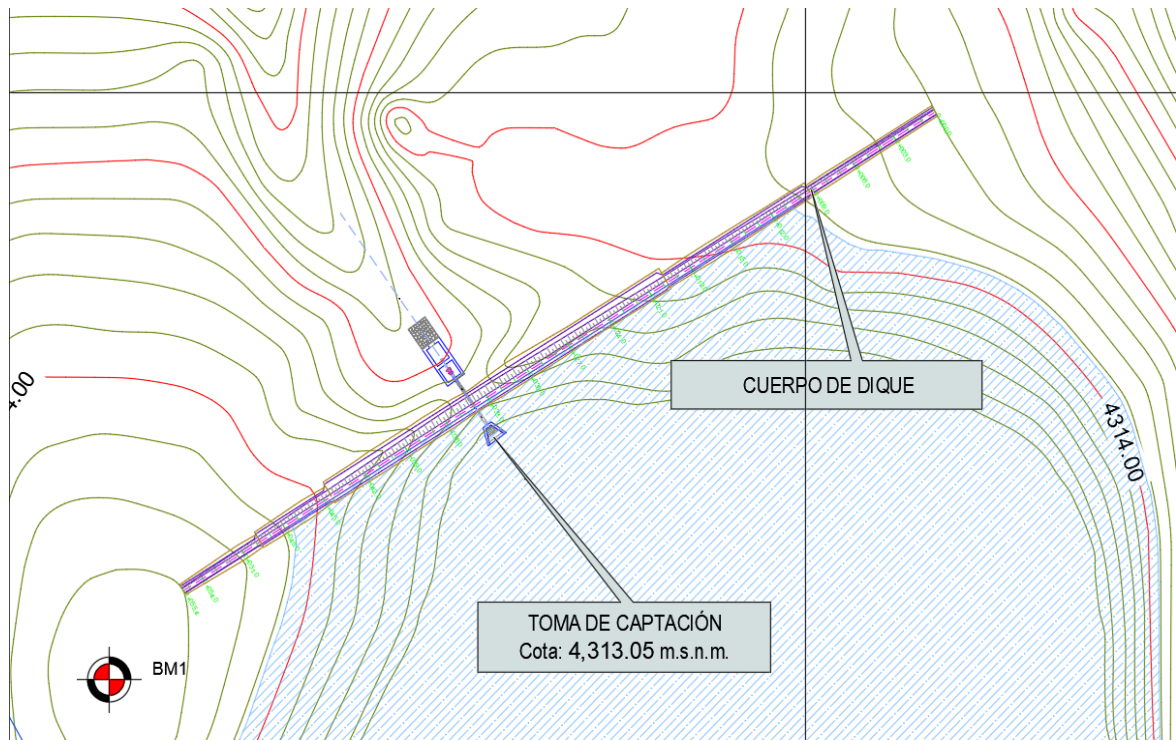
## **4.2. Comparación de metodología en base a los productos obtenidos**

### **4.2.1. Comparativo del levantamiento topográfico de qochas**

#### **a. Comparación por cálculo de movimiento de tierras**

En el caso de las qochas se realizó un comparativo de los 3 tipos de levantamiento en base a la información que se obtiene de la topografía y que son de importancia para el proyecto, el primero viene a ser el comparativo de los volúmenes de movimiento de tierra, y el segundo tiene que ver con el volumen de almacenamiento de agua de lluvia. Para lograr esta comparación se utilizó un alineamiento común a los 3 tipos de levantamiento y se analizó los resultados obtenidos.

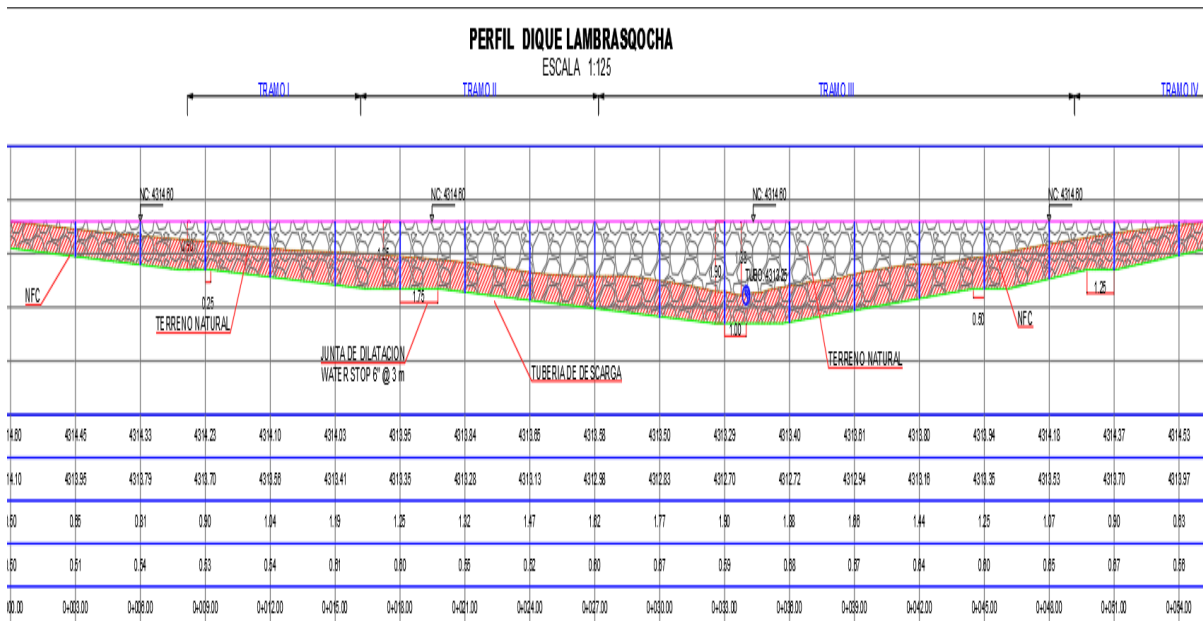
Para el caso del movimiento de tierras, los resultados obtenidos con el procesamiento de la superficie, se realizó luego de plantear un corredor que representa un dique planteado para el proyecto y en base a ese dique y sus dimensiones se calcula este movimiento de tierras, la muestra el corredor del dique planteado.



**Figura 52: Vista en planta del dique planteado en la qocha**

FUENTE: Expediente Técnico “construcción de captación de agua: en el (la) recarga hídrica para la unidad productora del sistema de riego de Las Pampas de Sulcabamba , Huampuchaca, distrito de San Salvador de Quije, provincia Sucre, departamento Ayacucho”, 2021.

La Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, muestran los volúmenes de corte que se realizara en el sitio para poder realizar la construcción de un dique de concreto, entre estos datos se tiene que el volumen de movimiento de tierras es inferior en el caso del levantamiento topográfico con estación total con un volumen de acumulado de corte de 26.13 metros cúbicos, seguido por el movimiento de tierras que sale del levantamiento con un GNSS Diferencial con 27.63 metros cúbicos y finalmente con 31.75 metros cúbicos se tiene el volumen de movimiento de tierras del levantamiento topográfico con drones.



**Figura 53: Perfil del dique planteado en la qocha**

FUENTE: Expediente Técnico “construcción de captación de agua: en el (la) recarga hídrica para la unidad productora del sistema de riego de Las Pampas de Sulcabamba , Huampuchaca, distrito de San Salvador de Quije, provincia Sucre, departamento Ayacucho”, 2021.

Según estos volúmenes se deja notar que se tienen volúmenes cercanos de movimiento de tierra entre los levantamientos topográficos con GNSS y Estación total. Y en el caso del levantamiento con drones, este volumen varió respecto a lo obtenido con los métodos anteriores en un 15%, siendo esta diferencia considerable.

**Tabla 5: Movimiento de tierras calculado para un proyecto de qochas a partir de un levantamiento topográfico con estación total**

<b>CUADRO DE VOLUMEN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS CORTE EN CIMENTACION</b>			
<b>PROG.</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>	<b>VOL. ACUMULADO (m<sup>3</sup>)</b>
0+000.00	0.27	0	0
0+003.00	0.27	0.81	0.81
0+006.00	0.3	0.85	1.66
0+009.00	0.29	0.89	2.55
0+012.00	0.48	1.16	3.7
0+015.00	0.55	1.54	5.24
0+018.00	0.5	1.57	6.81
0+021.00	0.66	1.75	8.56
0+024.00	0.67	2	10.56
0+027.00	0.6	1.91	12.48
0+030.00	0.52	1.69	14.16
0+033.00	0.56	1.62	15.78
0+036.00	0.48	1.56	17.35
0+039.00	0.41	1.33	18.68
0+042.00	0.55	1.43	20.1
0+045.00	0.49	1.55	21.66
0+048.00	0.58	1.6	23.26
0+051.00	0.39	1.45	24.71
0+054.00	0.3	1.03	25.74
0+055.40	0.26	0.39	26.13

FUENTE: Datos



**Tabla 6: Movimiento de tierras calculado para un proyecto de qochas a partir de un levantamiento topográfico con GNSS diferencial**

<b>CUADRO DE VOLUMEN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS CORTE EN CIMENTACION</b>			
<b>PROG.</b>	<b>AREA (m2)</b>	<b>VOLUMEN (m3)</b>	<b>VOL. ACUMULADO (m3)</b>
0+000.00	0.25	0	0
0+003.00	0.26	0.76	0.76
0+006.00	0.27	0.8	1.55
0+009.00	0.26	0.8	2.35
0+012.00	0.39	0.97	3.33
0+015.00	0.44	1.25	4.58
0+018.00	0.45	1.34	5.92
0+021.00	0.63	1.62	7.54
0+024.00	0.6	1.85	9.39
0+027.00	0.64	1.86	11.24
0+030.00	0.8	2.16	13.41
0+033.00	0.68	2.22	15.63
0+036.00	0.69	2.05	17.68
0+039.00	0.72	2.11	19.79
0+042.00	0.73	2.17	21.96
0+045.00	0.47	1.8	23.76
0+048.00	0.5	1.44	25.2
0+051.00	0.33	1.24	26.45
0+054.00	0.24	0.87	27.31
0+055.40	0.2	0.31	27.63

FUENTE: Datos del proyecto objeto de trabajo de campo

**Tabla 7: Movimiento de tierras calculado para un proyecto de qochas a partir de un levantamiento topográfico con drones**

<b>TABLA DE VOLUMEN DE MOVIMIENTO DE TIERRAS CORTE EN CIMENTACION.</b>			
<b>PROG.</b>	<b>AREA (m2)</b>	<b>VOLUMEN (m3)</b>	<b>VOL. ACUMULADO (m3)</b>
0+000.00	0.27	0	0
0+003.00	0.27	0.81	0.81
0+006.00	0.3	0.85	1.66
0+009.00	0.29	0.88	2.54
0+012.00	0.45	1.1	3.64
0+015.00	0.53	1.46	5.1
0+018.00	0.52	1.58	6.68
0+021.00	0.7	1.84	8.52
0+024.00	0.67	2.06	10.58
0+027.00	0.75	2.13	12.71
0+030.00	0.92	2.51	15.21
0+033.00	0.74	2.48	17.7
0+036.00	0.86	2.39	20.09
0+039.00	0.87	2.6	22.69
0+042.00	0.8	2.51	25.2
0+045.00	0.52	1.98	27.18
0+048.00	0.56	1.62	28.8
0+051.00	0.41	1.46	30.26
0+054.00	0.31	1.09	31.35
0+055.40	0.26	0.4	31.75

FUENTE: Datos del proyecto objeto de trabajo de campo

**b. Comparación por cálculo de volumen almacenado**

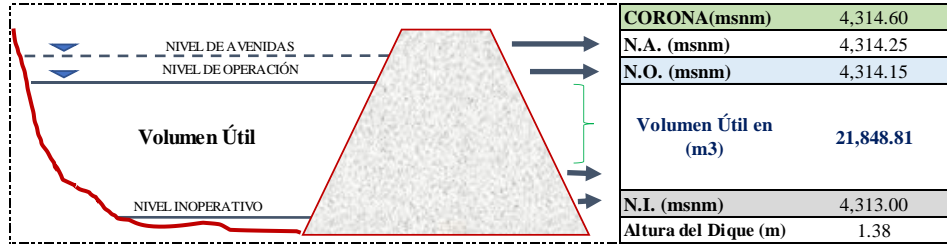
El análisis por cuantificación de volumen almacenado se realizó con la curva área volumen, la cual nos permite tener una relación entre la altura versus el volumen almacenado acumulado, esto nos permitió evaluar el embalse y a la vez muestra la importancia de la topografía en la zona circundante al vaso colector o lugar de almacenamiento, los resultados se muestran en la Figura 54, Figura 55 y Figura 56.

**CURVA DE ALMACENAMIENTO DEL EMBALSE**

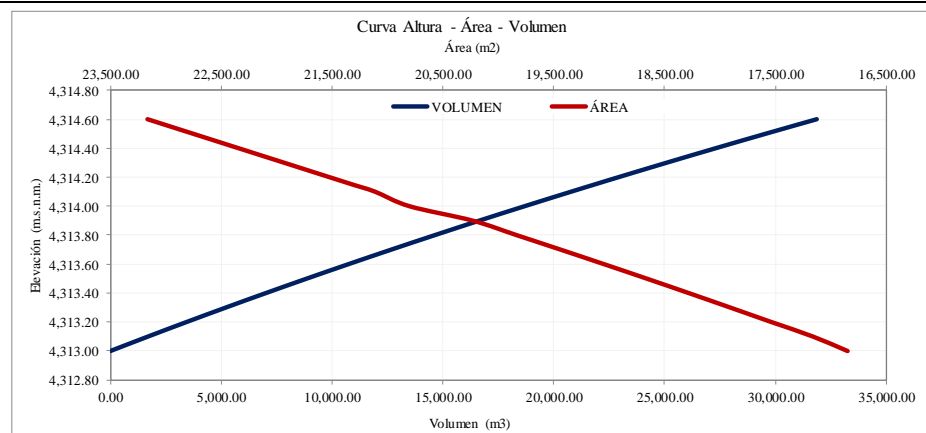
Lambrasqocha

$$\text{Vol} = \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) * H$$

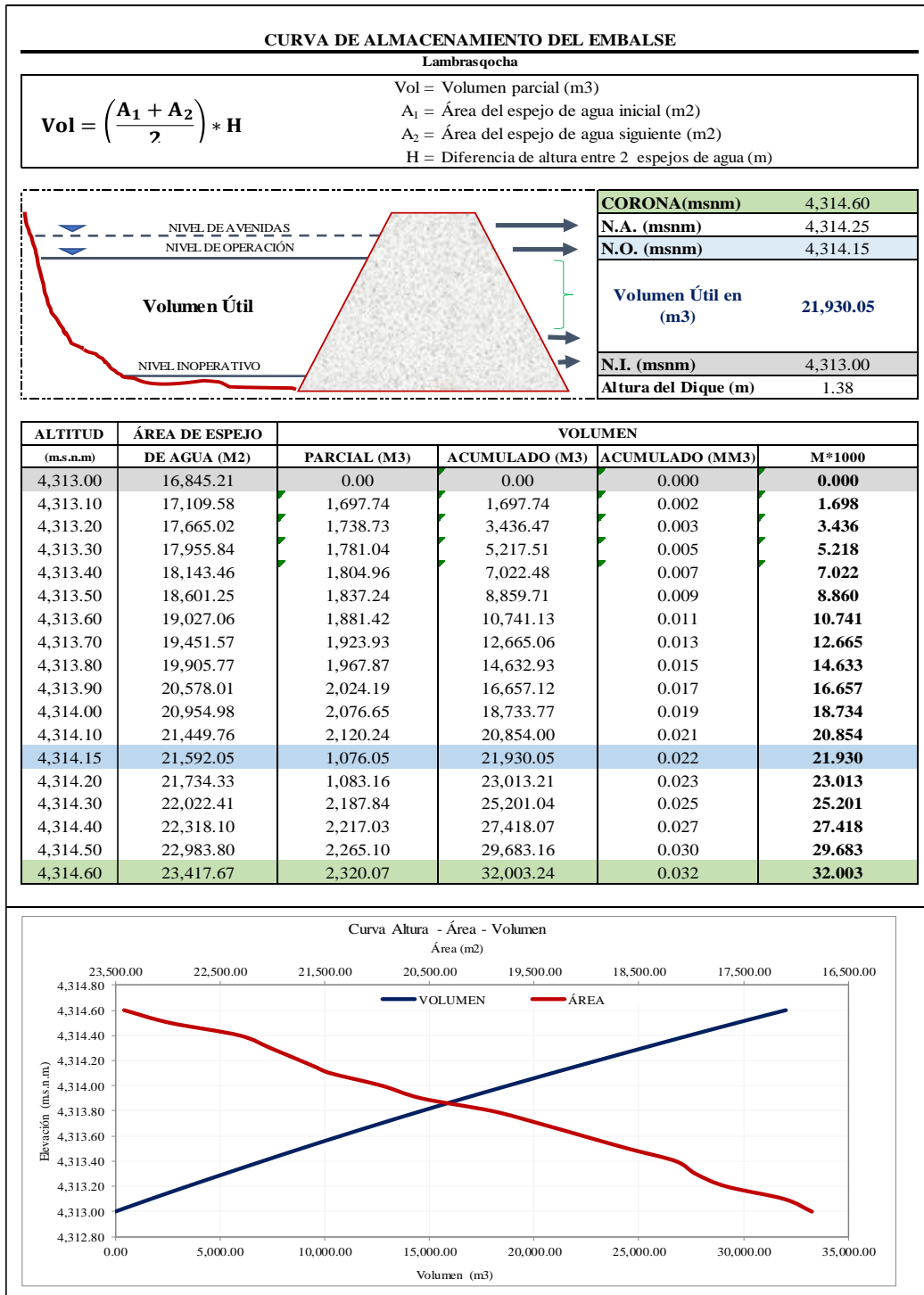
Vol = Volumen parcial (m3)  
 A<sub>1</sub> = Área del espejo de agua inicial (m2)  
 A<sub>2</sub> = Área del espejo de agua siguiente (m2)  
 H = Diferencia de altura entre 2 espejos de agua (m)



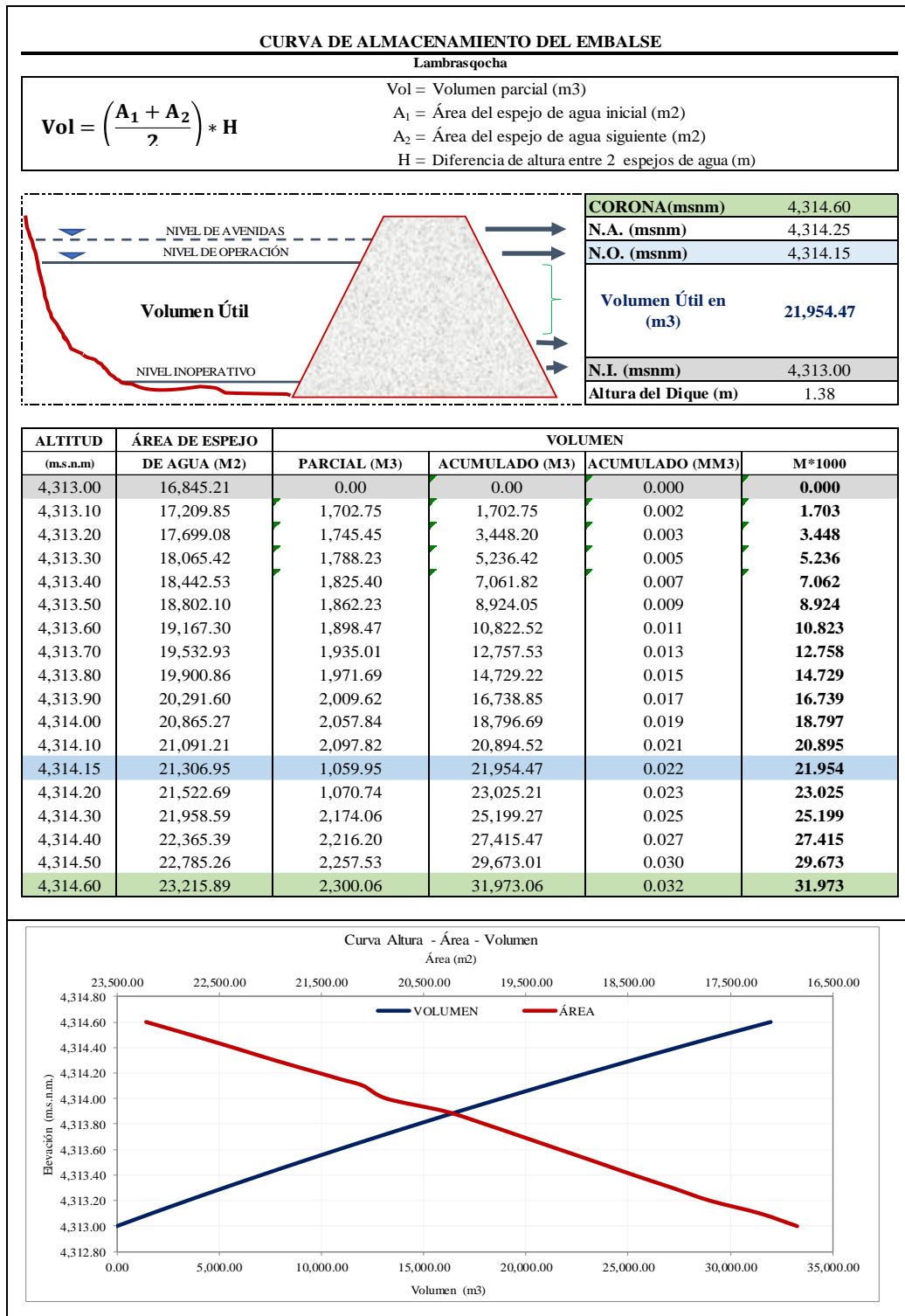
ALTITUD (ms.nm)	ÁREA DE ESPEJO DE AGUA (M2)	VOLUMEN			
		PARCIAL (M3)	ACUMULADO (M3)	ACUMULADO (MM3)	M*1000
4,313.00	16,845.21	0.00	0.00	0.000	0.000
4,313.10	17,157.93	1,700.16	1,700.16	0.002	1.700
4,313.20	17,533.02	1,734.55	3,434.70	0.003	3.435
4,313.30	17,904.84	1,771.89	5,206.60	0.005	5.207
4,313.40	18,280.04	1,809.24	7,015.84	0.007	7.016
4,313.50	18,661.02	1,847.05	8,862.89	0.009	8.863
4,313.60	19,047.62	1,885.43	10,748.33	0.011	10.748
4,313.70	19,438.99	1,924.33	12,672.66	0.013	12.673
4,313.80	19,835.92	1,963.75	14,636.40	0.015	14.636
4,313.90	20,233.00	2,003.45	16,639.85	0.017	16.640
4,314.00	20,805.76	2,051.94	18,691.79	0.019	18.692
4,314.10	21,115.97	2,096.09	20,787.87	0.021	20.788
4,314.15	21,321.49	1,060.94	21,848.81	0.022	21.849
4,314.20	21,527.02	1,071.21	22,920.02	0.023	22.920
4,314.30	21,938.07	2,173.25	25,093.28	0.025	25.093
4,314.40	22,349.12	2,214.36	27,307.64	0.027	27.308
4,314.50	22,760.17	2,255.46	29,563.10	0.030	29.563
4,314.60	23,171.22	2,296.57	31,859.67	0.032	31.860



**Figura 54: Volumen de embalse de la qocha, obtenido del levantamiento topográfico con estación total**



**Figura 55: Volumen de embalse de la qocha obtenido del levantamiento topográfico con GNSS diferencial**



**Figura 56: Volumen de embalse de la qocha obtenido del levantamiento topográfico con un drones**

En los tres casos presentados se tiene que los volúmenes almacenados no difieren mucho, pero si se analizan las figuras se puede notar que las líneas rojas que relacionan el área con la altura del embalse tienden a tener variaciones, demostrando que el área en cada altura y en cada método difiere uno del otro, sin embargo, al ser un volumen de embalse superior a los 20 000 metros cúbicos, la diferencia que se tiene entre los datos calculados no llega a ser mayor ni en una unidad porcentual.

#### **4.2.2. Comparativo de levantamientos topográficos en clausura de praderas**

En el caso de las praderas se debe acotar que por el tamaño de las áreas que tiene el proyecto analizado (superior a las 400 hectáreas), no se logró concretar más que para fines explicativos de la labor que se realizó, las consideraciones que se tomaron en cuenta, los tiempos que tomo realizar el trabajo, el área que se levantó y producto que se obtuvo. No pudiéndose comparar con otro método.

#### **4.2.3. Comparación de levantamiento topográficos en micro reservorios**

Para el caso de los micro reservorios se realizó la comparación de los levantamientos topográficos con GNSS y drones, a partir del cálculo del movimiento de tierras, esto se realizó en la zona del micro reservorio planteado, en ambos casos se utilizó las mismas alineaciones a fin de poder cuantificar de manera adecuada la comparación, se utilizó el mismo nivel del fondo del reservorio, las mismas pendientes y la misma corona, variando solo la superficie donde se plantea el micro reservorio.

El volumen del reservorio planteado es de 1000 metros cúbicos, y las dimensiones se muestran en la Figura 57, así como el diseño que tendrá.

## DISEÑO HIDRÁULICO DE RESERVORIO

### 1. DATOS:

	Cantidad	Und
* Altura Mayor del Agua (h)	2.60	m
* Borde Libre (Bl)	0.40	m
* Talud (Z)	2.00	
* Pendiente (Transversal al Largo del Fondo)	2.00	%
* Caudal de Entrada (Qe)	2.00	l/s
* Tiempo de Embalse (Te)	24.00	h
* Ø Tubería de Descarga	3.00	pulg
* Ancho de Corona (Obtenido del Cálculo Estructural)	2.00	m
* Largo del Fondo (l)	17.00	m
* Ancho del Fondo (a)	13.00	m

### 2. CÁLCULOS HIDRÁULICOS:

	Cantidad	Und
* Volumen Neto de Diseño (Vn)	173.00	m <sup>3</sup>
* Área del Fondo (Af)	221.00	m <sup>2</sup>
* Largo del Espejo de Agua (L)	27.40	m
* Ancho del Espejo de Agua (B)	23.40	m
* Área del Espejo de agua (A)	641.16	m <sup>2</sup>
* Largo de Borde Superior (Lt)	29.00	m
* Ancho del Borde Superior (Bt)	25.00	m
* Área del Borde Superior (At)	725.00	m <sup>2</sup>
* Altura Menor del Agua (h')	2.33	m
* Área a la Altura que se llega con la Pendiente (Ap)	254.67	m <sup>2</sup>
* Reducción de Volumen por Pendiente (Vp)	32.18	m <sup>3</sup>
* Volumen Neto Calculado (Vnc)	1,041.26	m <sup>3</sup>
* Volumen Neto Total (Incluido Borde Libre)	1,314.10	m <sup>3</sup>
* Tiempo de Embalse Calculado (Tec)	144h 44min 07seg	
* Caudal Máximo de Descarga (Qd)	21.17	l/s
* Tiempo Mínimo de Descarga (Tm)	13h 40min 23seg	

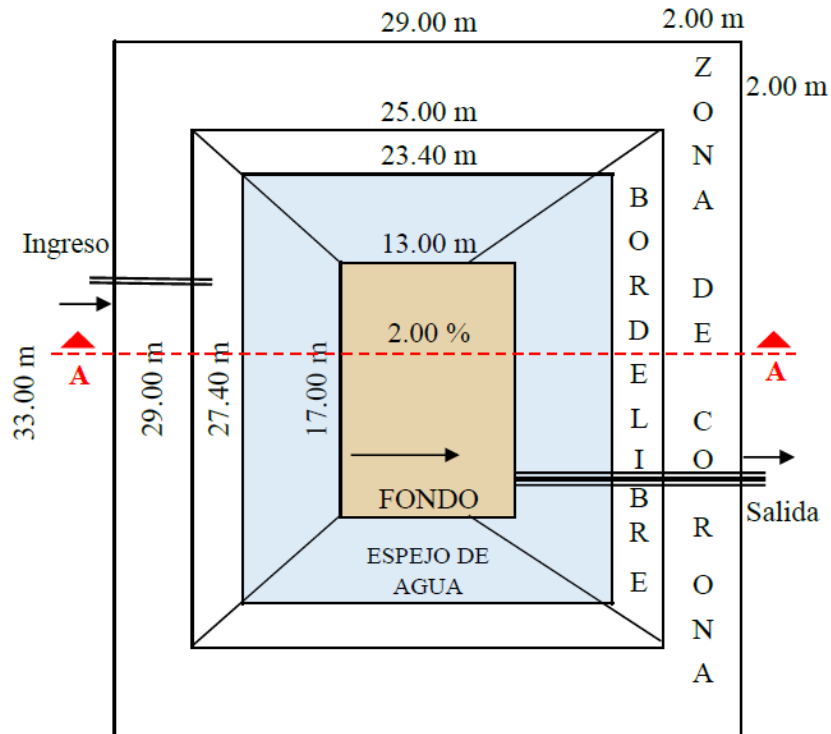
### 2. CÁLCULOS DE LA CORONA:

	Cantidad	Und
* Largo de la Corona (Parte Externa)	33.00	m
* Ancho de la Corona (Parte Externa)	29.00	m

**Figura 57: Cálculos del diseño hidráulico usados en el micro reservorio planteado**

FUENTE: Ficha de detalle técnico para la construcción de micro reservorios y de infraestructura menor de riego parcelario de la microcuenca Quero – Espinar – Cusco, del proyecto “Mejoramiento del servicio de recarga hídrica y aprovechamiento de agua de lluvia en 14 departamentos”, 2022.

## DISEÑO HIDRÁULICO DE RESERVORIO



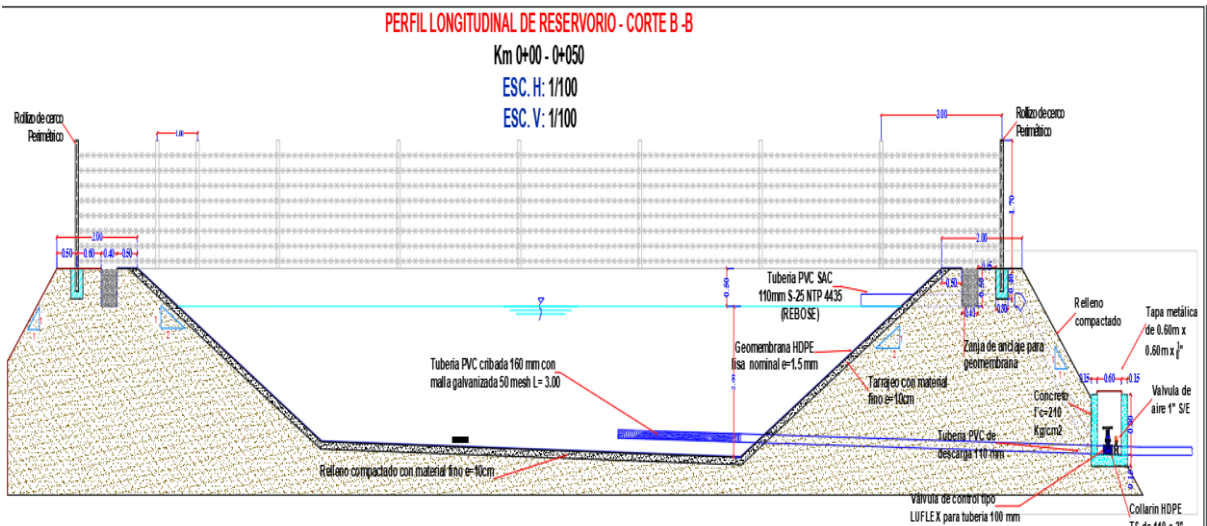
### VISTA EN PLANTA

**Figura 58: Descripción de las partes del micro reservorio planteado en el proyecto**

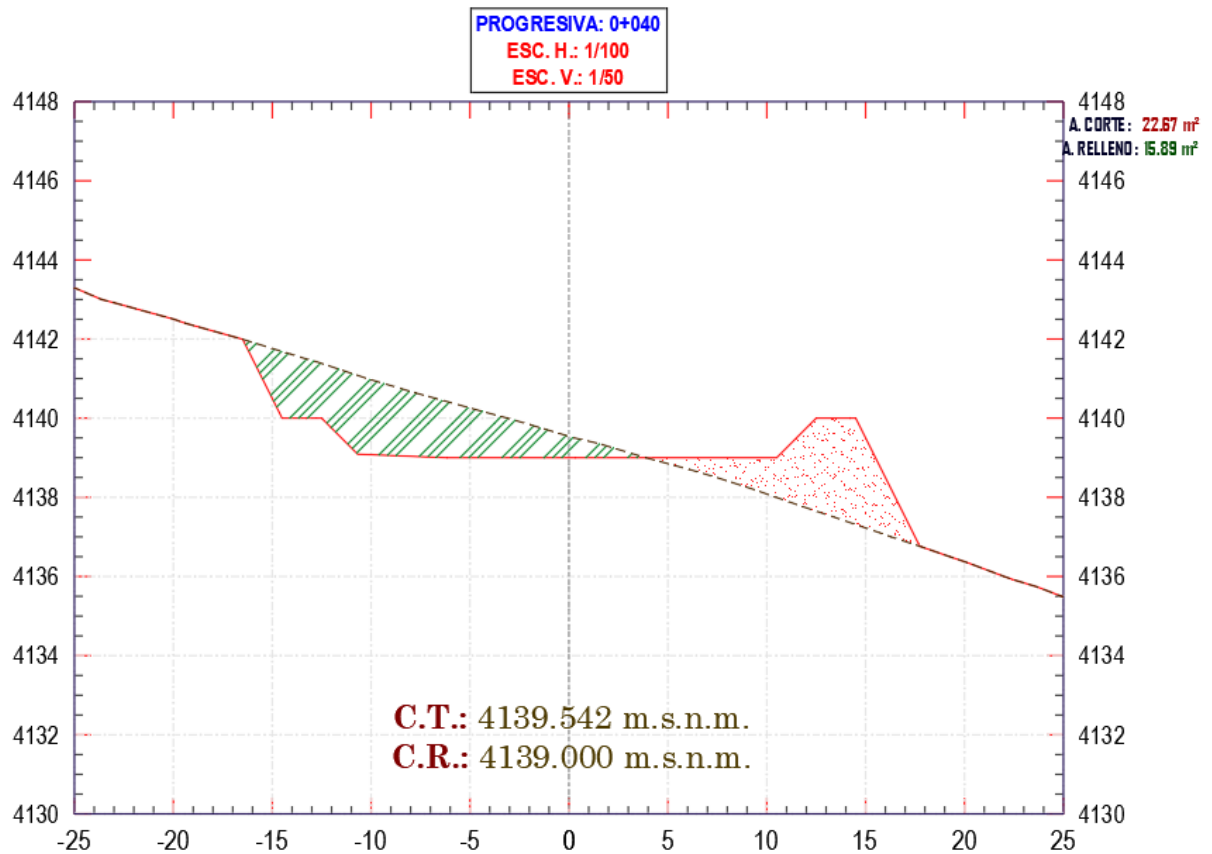
FUENTE: Ficha de detalle técnico para la construcción de micro reservorios y de infraestructura menor de riego parcelario de la microcuenca Quero – Espinar – Cusco, del proyecto “Mejoramiento del servicio de recarga hídrica y aprovechamiento de agua de lluvia en 14 departamentos”, 2022.

De los movimientos de tierra, se obtuvieron los datos de la Tabla 8 y Tabla 9, que muestran un volumen de corte y relleno acumulado en el micro reservorio planteado, estas áreas corresponden como se muestra en la figura al volumen de corte necesario para darle forma a la explanación y el volumen de relleno que viene a ser el que se utiliza para lograr darle forma al talud de diseño.





**Figura 59: Perfil del micro reservorio diseñado**



**Figura 60: Perfil del cálculo de corte y relleno del microreservorio planteado**

**Tabla 8: Cálculo de los movimientos de tierra realizados en base a un levantamiento topográfico con un GNSS diferencial en un proyecto de micro reservorio**

TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROG.	Á.C. (m <sup>2</sup> )	Á.R. (m <sup>2</sup> )	V.C. (m <sup>3</sup> )	V.R. (m <sup>3</sup> )	V.C.A. (m <sup>3</sup> )	V.R.A. (m <sup>3</sup> )
0+000	0	0	0	0	0	0
0+020	47.054	13.588	470.539	135.885	470.539	135.885
0+040	21.822	16.431	688.761	300.191	1,159.30	436.076
0+056	0	0	174.578	131.445	1,333.88	567.521

**Tabla 9: Cálculo de los movimientos de tierra realizados en base a un levantamiento topográfico con un GNSS dron en un proyecto de micro reservorio**

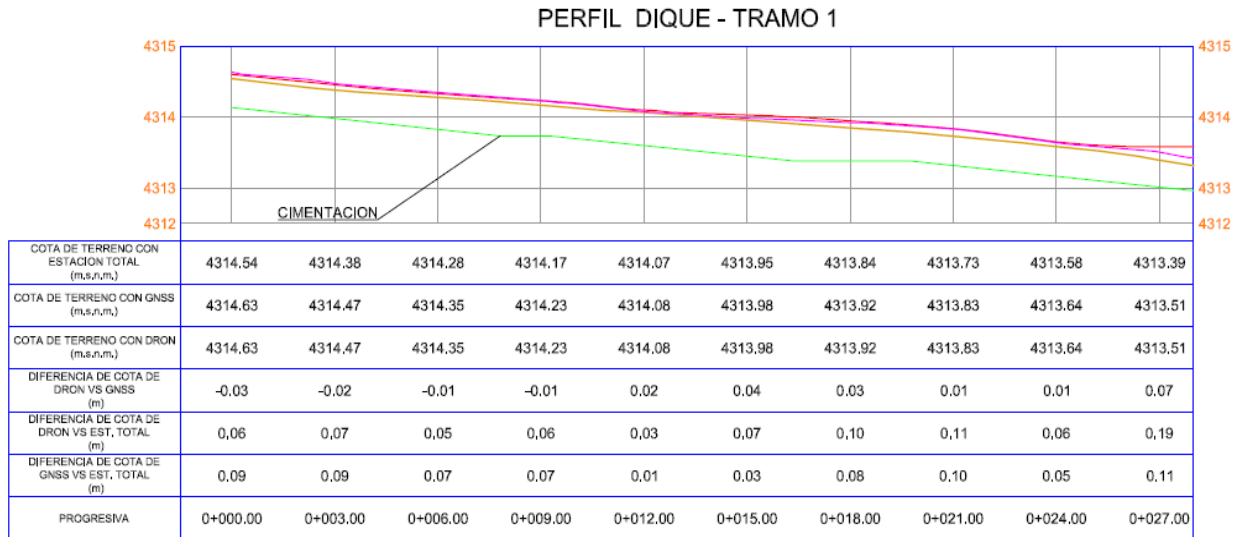
TABLA DE MOVIMIENTO DE TIERRAS						
PROG.	Á.C. (m <sup>2</sup> )	Á.R. (m <sup>2</sup> )	V.C. (m <sup>3</sup> )	V.R. (m <sup>3</sup> )	V.C.A. (m <sup>3</sup> )	V.R.A. (m <sup>3</sup> )
0+000	0	0	0	0	0	0
0+020	49.081	12.799	490.809	127.991	490.809	127.991
0+040	22.67	15.886	717.51	286.853	1,208.32	414.844
0+056	0	0	181.361	127.089	1,389.68	541.933

FUENTE: proyecto de micro reservorio.

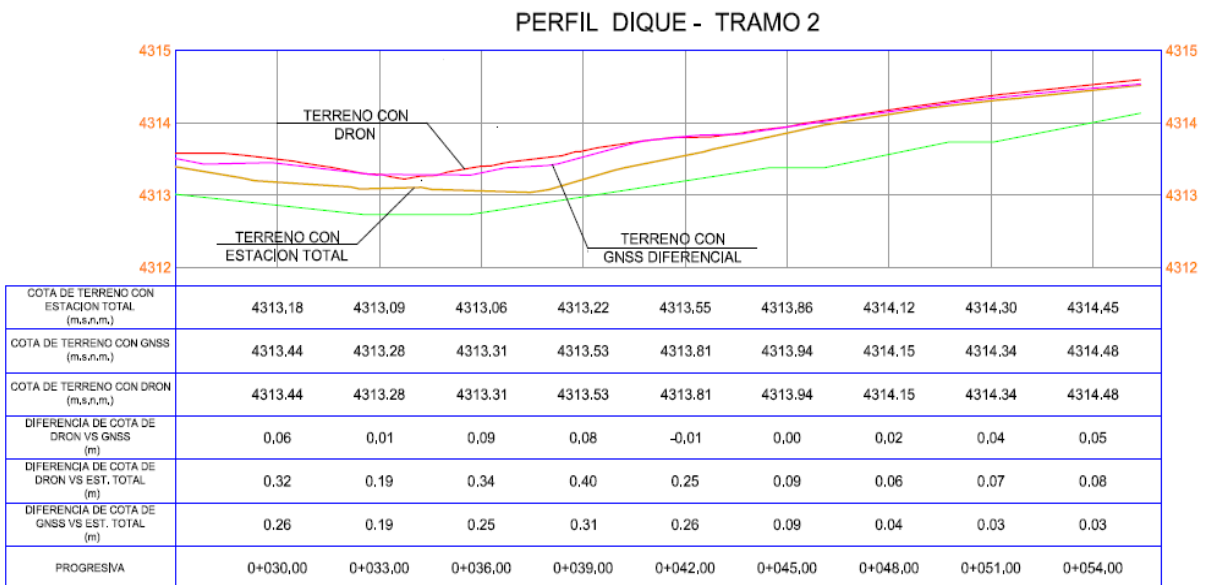
Los resultados en volumen de corte arrojan una diferencia de 55.8 metros cúbicos entre ambos cálculos, siendo mayor el cálculo del levantamiento con drones, que en porcentaje representa el 4 por ciento respecto del volumen de corte calculado. En volumen de relleno la diferencia es de 25.58 metros cúbicos, que en porcentaje representa el 4.7 por ciento respecto a volumen de relleno calculado con levantamiento con drones.

#### **4.2.4. Comparación de perfiles longitudinales generados con los 3 levantamientos topográficos**

Se realizó la comparación de los perfiles para el caso de la qocha y el micro reservorio, en el perfil de la qocha mostrado en la Figura 61 y Figura 62, se puede ver gráficamente la variación existente entre los 3 levantamientos, la diferencia de medición de cotas entre cada levantamiento frente a los otros métodos.



**Figura 61: Tramo 1 del perfil longitudinal de comparación de superficies levantadas con estación total, GNSS y dron**



**Figura 62: Tramo 2 del perfil longitudinal de comparación de superficies levantadas con estación total, GNSS y dron**

Los resultados numéricos se analizaron y se visualizan en la Tabla 10, estos datos se analizaron de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$\text{Error de cota} = |\text{Cota(Dron)} - \text{Cota(Est. Total)}| \dots \dots (1)$$

$$\text{Error medio} = u = \frac{\sum_{i=0}^n \text{Error de cota}}{N} \dots \dots (2)$$

Donde:

N = Cantidad de puntos

$$Desviacion\ estandar = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (Error\ de\ cota - u)^2}{N-1}} \dots\dots\dots(3)$$

**Tabla 10: Comparación de cotas de los levantamientos realizados**

N°	Progresiva	Cota de terreno con dron	Cota de terreno con est. Total	Cota de terreno con GNSS	Diferencia de cota dron vs GNSS	Diferencia de cota dron vs est. Total	Diferencia de cota GNSS vs est. Total
0	0+00.00	4,314.60	4,314.54	4,314.63	-0.03	0.06	0.09
1	0+03.00	4,314.45	4,314.38	4,314.47	-0.02	0.07	0.09
2	0+06.00	4,314.33	4,314.28	4,314.35	-0.02	0.05	0.07
3	0+09.00	4,314.23	4,314.17	4,314.23	-0.01	0.06	0.07
4	0+12.00	4,314.10	4,314.07	4,314.08	0.02	0.03	0.01
5	0+15.00	4,314.03	4,313.96	4,313.98	0.04	0.07	0.03
6	0+18.00	4,313.95	4,313.84	4,313.92	0.03	0.10	0.08
7	0+21.00	4,313.84	4,313.73	4,313.83	0.01	0.11	0.10
8	0+24.00	4,313.65	4,313.58	4,313.64	0.01	0.06	0.06
9	0+27.00	4,313.58	4,313.39	4,313.51	0.07	0.19	0.11
10	0+30.00	4,313.50	4,313.18	4,313.44	0.06	0.32	0.26
11	0+33.00	4,313.29	4,313.09	4,313.28	0.01	0.19	0.19
12	0+36.00	4,313.40	4,313.06	4,313.31	0.09	0.34	0.25
13	0+39.00	4,313.61	4,313.22	4,313.53	0.08	0.40	0.31
14	0+42.00	4,313.80	4,313.55	4,313.81	-0.01	0.25	0.26
15	0+45.00	4,313.94	4,313.86	4,313.94	0.00	0.09	0.09
16	0+48.00	4,314.18	4,314.12	4,314.15	0.02	0.06	0.04
17	0+51.00	4,314.37	4,314.30	4,314.34	0.03	0.07	0.03
18	0+54.00	4,314.53	4,314.45	4,314.48	0.05	0.08	0.03
19	0+55.40	4,314.60	4,314.52	4,314.54	0.06	0.08	0.02

Obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 11, el error de cota entre los métodos de levantamiento topográfico nos muestra que el método del dron respecto al GNSS tiene menores diferencias, cabe resaltar que analizando las imágenes de densidad de puntos en la zona del dique que es donde se plantea el alineamiento, se tiene que el resultado es congruente con el trabajo realizado. Los datos arrojados entre la comparación entre el dron y la estación total difieren en gran medida, esto se explica debido a la poca densidad de puntos tomados en general en toda la zona del levantamiento con estación total, y por último el análisis entre los métodos GNSS y estación total arroja una diferencia considerable, teniendo en cuenta que estos métodos deberían ser muy próximos, razón por la cual debería analizarse bajo otras modalidades como es el caso de los volúmenes analizados en el punto 4.2.1. debido a que los puntos sobre el alineamiento son puntos creados a partir del perfil no siendo necesariamente puntos tomados con el equipo sino un resultado de la triangulación y del perfil dibujado en el programa Civil 3D.

**Tabla 11: Análisis de cotas de los levantamientos realizados**

N	DRON VS GNSS	DRON VS EST. TOTAL	GNSS VS EST. TOTAL
1.00	0.034	0.059	0.093
2.00	0.019	0.075	0.094
3.00	0.015	0.054	0.069
4.00	0.005	0.062	0.067
5.00	0.02	0.033	0.013
6.00	0.044	0.072	0.028
7.00	0.026	0.102	0.076
8.00	0.005	0.108	0.103
9.00	0.009	0.064	0.055
10.00	0.074	0.187	0.113
11.00	0.056	0.317	0.261
12.00	0.006	0.193	0.187
13.00	0.092	0.341	0.249
14.00	0.084	0.396	0.312
15.00	0.008	0.254	0.262
16.00	0.001	0.087	0.086
17.00	0.023	0.061	0.038
18.00	0.035	0.07	0.035
19.00	0.05	0.078	0.028
20.00	0.062	0.077	0.015
Error medio (u)	0.0334	0.1345	0.1092
Desviación estándar (s)	0.02800827	0.10882652	0.09277227

#### 4.2.5. Comparación de personal y recursos utilizados

Se presenta en la Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14 la cantidad de personal utilizado en cada tipología de proyecto, los ayudantes realizaron labores propias del método como realizar el marcado de puntos, movilizarse con los prismas, marcado de puntos de control, puntos BM, y toda labor referente al método empleado.

**Tabla 12: Personal utilizado con cada uno de los métodos en el levantamiento topográfico de una qocha**

Método usado	Jefe de brigada	Operador de equipo	Ayudantes	Labor de los ayudantes	Tiempo del trabajo (horas)
ESTACION TOTAL	1	1	3	Realizar el desplazan. con los prismas y marcado de los BM.	1.5
GNSS DIFERENCIAL	1	1	1	Realizar el desplazan. con el Rover y marcado de los BM.	1.00
DRON CON PUNTOS DE CONTROL	1	2 (piloto y operador de GNSS diferencial)	1	Realizar el marcado de los puntos de control con yeso o pintura.	0.45
DRON RTK	1	1		Se puede obviar el ayudante.	0.5

**Tabla 13: Personal utilizado con cada uno de los métodos en el levantamiento topográfico de un proyecto de clausura de praderas**

Método usado	Jefe de brigada	Operados de equipo	Ayudantes	Labor de los ayudantes	Tiempo del trabajo (horas)
DRON CON PUNTOS DE CONTROL	1	2 (piloto y operador de GNSS diferencial)	2	Realizar el marcado de los puntos de control con yeso o pintura.	8

**Tabla 14: Personal utilizado con cada uno de los métodos en el levantamiento topográfico de un proyecto de micro reservorios**

Método usado	Jefe de brigada	Operados de equipo	Ayudantes	Labor de los ayudantes	Tiempo del trabajo (horas)
GNSS DIFERENCIAL	1	1	1	Realizar el desplazamiento con el Rover y marcado de los BM.	1
DRON CON PUNTOS DE CONTROL	1	2 (piloto y operador de GNSS diferencial)	1	Realizar el marcado de los puntos de control con yeso o pintura.	0.45

## V. CONCLUSIONES

- El análisis realizado demuestra que los cálculos obtenidos tanto en análisis de los puntos por alineamiento como en volumen difiere un método del otro, no necesariamente debido a errores o medidas incorrectas sino a la forma del análisis. El método topográfico convencional con estación total frente al método geodésico mediante equipos receptores GNSS-diferenciales arrojan volúmenes de movimientos de tierra similares, no así cuando se realiza el análisis por alineamiento, donde los resultados son parecidos. Esto se debe a que los métodos de colección de puntos del terreno se realizan de manera aleatoria y a criterio del operador, no siendo necesariamente iguales los criterios en la colección de puntos. En la comparación entre la estación total y el dron GNSS, el análisis de volumen de movimiento de tierra muestra una diferencia notable que rodea el 15 por ciento, razón por la cual y viendo el análisis de la densidad de puntos y el análisis del alineamiento, se concluye que los puntos tomados en campo son muy pocos para poder concluir que el método difiere del otro, este se hace en base al alineamiento que muestra buena correlación al inicio y solo a partir de las progresivas 0+18.00 a la 0+42.00 empieza a tener variaciones considerables, siendo esto atribuible a la baja cantidad de puntos.
- Los tiempos empleados por cada labor dan cuenta de que el método más eficiente viene a ser el método fotogramétrico mediante uso de RPA-drones con RTK, ese método no solo se realiza en menor tiempo, sino que emplea menor personal, comparado con los otros métodos, haciendo más rápido el levantamiento. Le sigue el método con puntos de control el cual muestra tiempos parecidos, siendo solamente una pequeña diferencia el tiempo que dura establecer o marcar los puntos de control, siendo esto muy rápido para levantamientos en qochas, ya que sólo se requiere de cuatro puntos para obtener un resultado óptimo en la mayoría de casos, los otros dos métodos conllevan realizar el recorrido completo y en caso de ser zonas con inaccesibilidad estos métodos requieren de mayor tiempo.

- Los pasos seguidos en el procesamiento de datos fotogramétricos son detallados de tal forma que es fácil realizar el método descrito, no siendo necesario en el proceso una clasificación extrema de puntos más que en casos donde se encuentren pequeños obstáculos como rocas muy grandes o pircas, que por la configuración de la zona donde se ubica la ubicación de los proyectos de siembra y cosecha de agua suele no darse.
- Finalmente si comparamos coordenadas de un método con otro suelen existir diferencias, aunque esto se atribuye a la poca densidad de puntos, ya que el método está ampliamente probado existen resultados de procesamientos donde se señala la fiabilidad de los datos (ver anexos), lo cual se comprueba al comparar el método GNSS-diferencial con el método fotogramétrico mediante RPA-drones, cuyo error tiende a ser bajo uno respecto del otro, esto se debe en primer lugar a la intervención de una gran cantidad de puntos, se debe también al uso de equipos GNSS-diferenciales de precisión al fijar los puntos de control para el procesamiento de las imágenes fotográficas de drones, así mismo la precisión lograda se justifica también debido a la cercanía de los puntos colocados mediante equipos GNSS-diferenciales; es decir, por estar muy cercanos al lugar del alineamiento analizado, sin embargo este sí varía en el caso del análisis del volumen ya que la cantidad de datos del procesamiento fotogramétrico con drones es superior en densidad.
- En base a los análisis expuestos y los cálculos realizados se concluye que, para los levantamientos topográficos en proyectos de siembra y cosecha de agua, el uso de RPA-drones viene a ser de mucha utilidad y con logro de eficiencia y practicidad, con optimización de tiempo y costos; es decir, en menor tiempo, menor número de personal en campo y a un menor costo. Los resultados obtenidos muestran buena correlación con la forma del terreno y ayuda visualmente a realizar los diseños, además permite el levantamiento de grandes áreas como son los casos de los proyectos de praderas.
- En cuanto a la implementación y aplicación con eficiencia de estas tecnologías, resulta accesible el equipamiento (diversidad de equipos y costos) y el logro de las destrezas necesarias en procesamiento y manejo de software es de fácil acceso y



entendimiento para un profesional egresado de una carrera de ingeniería que tiene los conocimientos básicos de Topografía con estaciones totales, Geodesia con GNSS/GPS, Fotogrametría con RPA, Teledetección y SIG.

## VI. RECOMENDACIONES

- A partir de resultados logrados luego de una comparación de los métodos seleccionados para los levantamientos topográficos de qochas se recomienda de la aplicación del método fotogramétrico con RPA-drones como el más indicado por alcanzar mejores resultados. En segundo lugar de no optar por este método y uso de esta tecnología optar por la aplicación de los métodos geodésicos (Topografía Satelital), mediante el uso de los equipos receptores GNSS/GPS-diferenciales de precisión. Y en tercer lugar de no ser posible el uso de GNSS y de disponer del uso de estaciones totales optar por la aplicación de métodos topográficos convencionales propiamente dichos, cabe indicar que ello significa que se va requerir coleccionar una mayor cantidad de puntos en la zona de dique, siendo 300 puntos una cantidad insuficiente.
- La aplicación de esta tecnología de levantamientos topográficos con RPA-drones, implica el desarrollo de todo un conjunto de operaciones en campo es el cumplimiento de todo un protocolo propio de la navegación aérea en este caso con equipos RPA, se recomienda contar además con la protección y precauciones necesarias por tratarse de vuelos a realizarse en lugares especiales como son en cabeceras de cuenca, tener los cuidados como: elegir los horarios adecuados a fin de evitar problemas de sombras o reflejo de la luz solar, que impidan el procesamiento de las imágenes en el computador. Llevar consigo dron de repuesto, una cantidad de baterías y cargadores de batería, memorias micro SD para almacenar la información captada para evitar el riesgo de tener información en una sola memoria por razones de seguridad.
- Para los proyectos que conllevan grandes áreas de levantamiento topográfico como es el caso de las clausuras de praderas es recomendable realizar los levantamientos mediante el uso de RPA-drones, siendo para estos casos los drones con GNSS RTK (GPS con apertura y ajuste en tiempo real), los que mejor se presta para dichos

trabajos.

- Finalmente la aplicación de métodos de levantamientos con uso de tecnologías con RPA-drones es recomendable como una mejor alternativa para levantamientos topográficos ya que suele traer mejores resultados con optimización tiempo y de costos, así como una mejor calidad de los productos entregables o solicitados, mayor productividad en campo con reducción de labores de campo para el personal de apoyo, logrando producir igualmente o similar productos topográficos fiables y precisos como los obtenidos con estaciones totales y los equipos geodésicos GNSS diferenciales.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Collazos, M. (2021). Análisis y crítica de inversiones de siembra y cosecha de agua en el departamento de Huancavelica año 2020. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Deudor, R. (2021). Análisis comparativo de la eficiencia del levantamiento topográfico con el uso de drones respecto al método tradicional. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Gonzales, R. (2019, 05 de julio). Drones. Aplicaciones en ingeniería civil y geociencias. *Revista Intercadencia* 44 (6): 326-331.
- Instituto Geográfico Nacional del Perú. (2021). Especificaciones técnicas para generación de ortoimágenes.
- Instituto Geográfico Nacional del Perú. (2021). Especificaciones Técnicas para la producción de Cartografía Básica Escala 1:1 000.
- Jimenez, N., Magaña, A. y Soriano, E. (2019). Análisis comparativo entre levantamientos topográficos con estación total como método directo y el uso de drones y GPS como métodos indirectos. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador].
- Lerma, J. (2002). *Fotogrametría Moderna: Analítica y digital*. Valencia, España: Editorial U.P.V
- Mendoza, D. (2019). Evaluación de la precisión planimétrica y altimétrica en un levantamiento fotogramétrico realizado por una aeronave pilotada remotamente. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Taboada, L. (2020). *Manejo de Praderas Altoandinas*. Recuperado de <https://www.agrorural.gob.pe/documentos-compartidos/file/manejo-de-praderas/#:~:text=El%20manejo%20de%20praderas%20es,entre%20siembra%20de%20pastos%20cultivados.>

## **VIII. ANEXOS**

# LEVANTAMIENTO CON DRON EN QOCHAS

Informe de procesamiento del levantamiento de un proyecto de QOCHAS

1 October 2022



# Datos del levantamiento

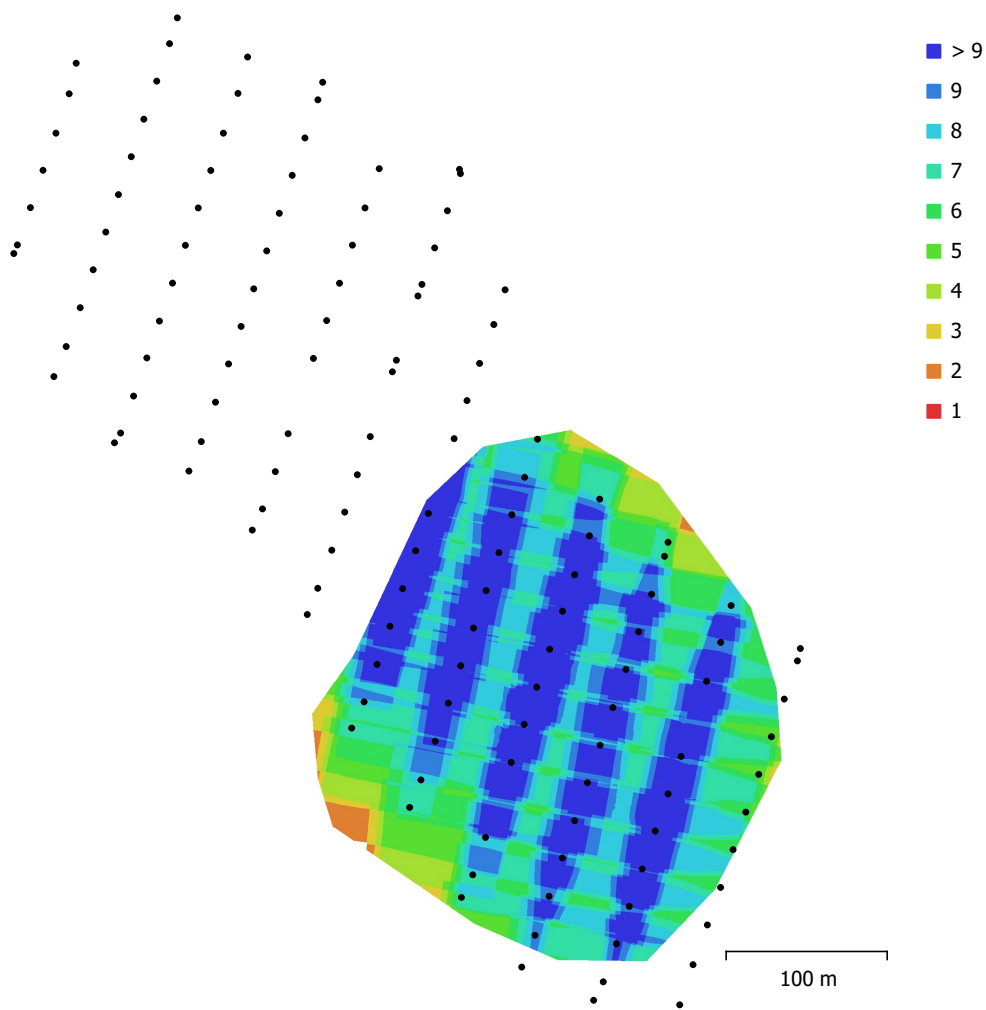


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 135

Altitud media de vuelo: 107 m

Resolución en terreno: 2.72 cm/pix

Superficie cubierta: 0.0677 km<sup>2</sup>

Posiciones de cámara: 135

Puntos de enlace: 105,446

Proyecciones: 523,671

Error de reproyección: 0.68 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

# Calibración de cámara

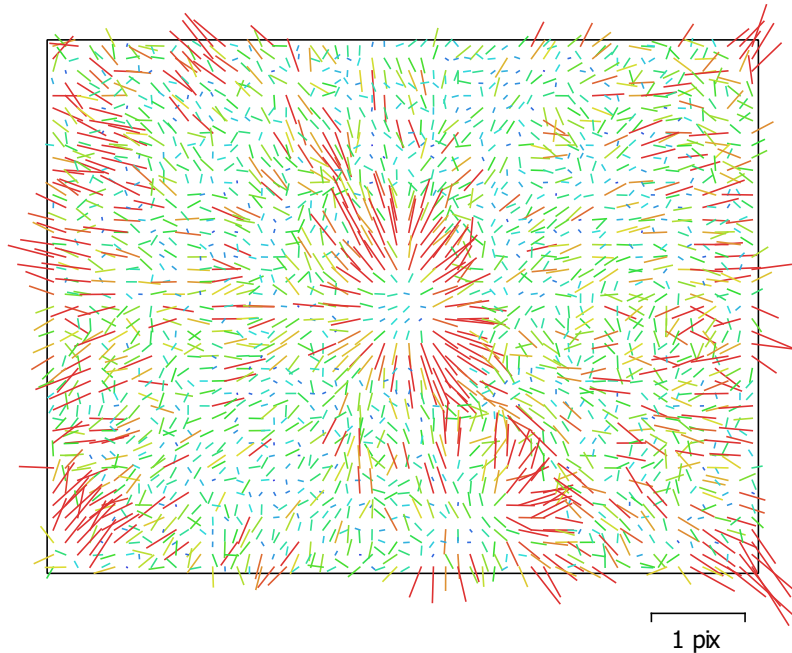


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310 (8.8mm).

## FC6310 (8.8mm)

135 imágenes

Tipo  
**Cuadro**

Resolución  
**4864 x 3648**

Distancia focal  
**8.8 mm**

Tamaño de píxel  
**2.61 x 2.61 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3608.71</b>	2.1	1.00	0.20	-0.55	-0.01	-0.20	0.34	-0.57	-0.40
<b>Cx</b>	<b>-38.4507</b>	0.051		1.00	-0.09	-0.01	-0.04	0.07	0.23	-0.08
<b>Cy</b>	<b>-25.3484</b>	0.057			1.00	-0.02	0.12	-0.20	0.32	0.58
<b>K1</b>	<b>-0.00296633</b>	8.9e-005				1.00	-0.45	0.40	-0.06	-0.27
<b>K2</b>	<b>-0.0112301</b>	0.00013					1.00	-0.98	0.13	0.11
<b>K3</b>	<b>0.0129219</b>	0.00014						1.00	-0.22	-0.16
<b>P1</b>	<b>-0.00331458</b>	3.3e-006							1.00	0.26
<b>P2</b>	<b>-0.0020109</b>	2.9e-006								1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.



# Posiciones de cámaras

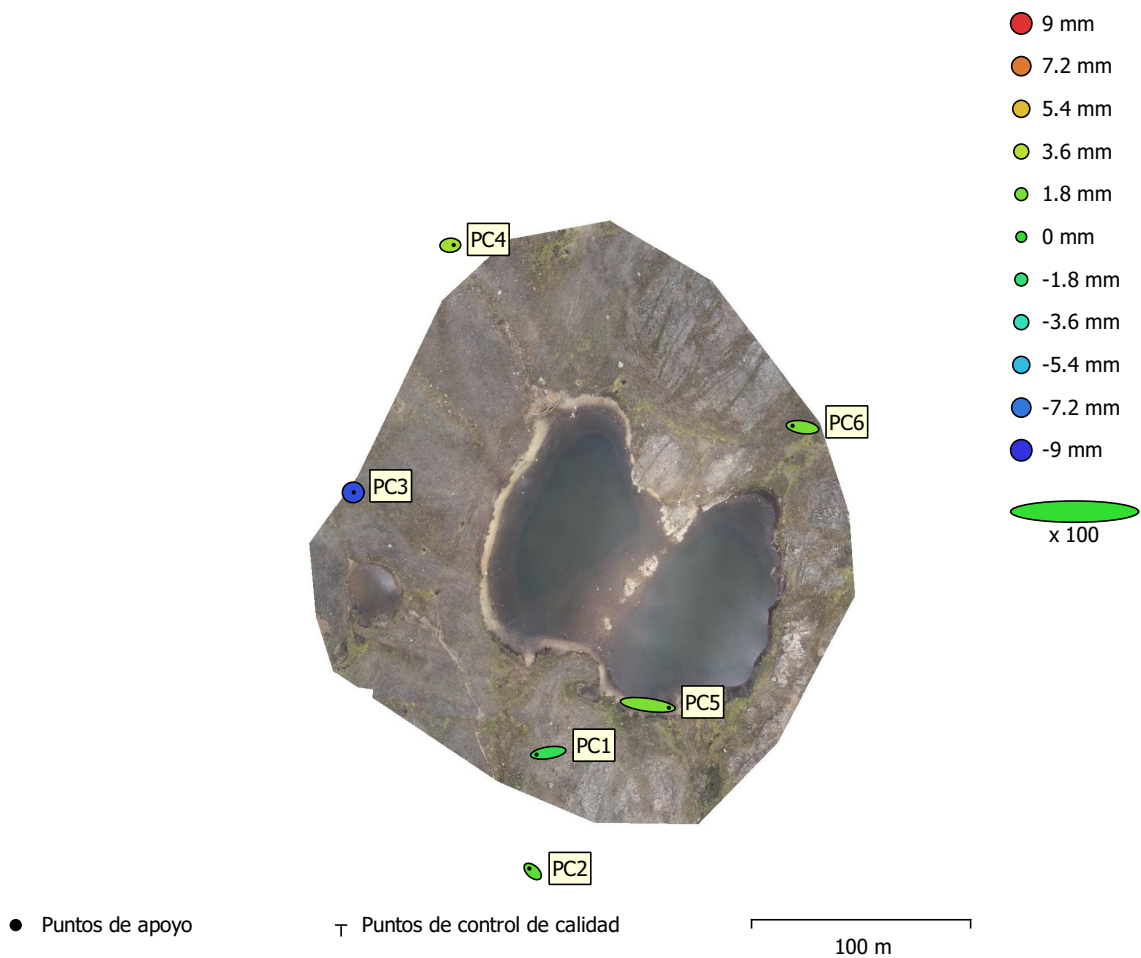


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
6	9.85152	1.74411	0.379675	10.0047	10.0119

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

<b>Nombre</b>	<b>Error X (cm)</b>	<b>Error Y (cm)</b>	<b>Error Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
PC5	19.1557	-2.55309	0.193635	19.326	0.448 (14)
PC6	-9.03091	1.30601	0.177146	9.12658	0.862 (15)
PC3	0.500941	0.0228362	-0.832934	0.972236	0.441 (15)
PC4	3.06583	0.177721	0.288884	3.08454	0.186 (15)
PC1	-10.7343	-1.64413	-0.0899671	10.8599	0.565 (16)
PC2	-2.99035	2.70041	0.103517	4.03053	0.941 (11)
<b>Total</b>	<b>9.85152</b>	<b>1.74411</b>	<b>0.379675</b>	<b>10.0119</b>	<b>0.612</b>

Tabla 4. Puntos de apoyo.  
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

# Modelo digital de elevaciones

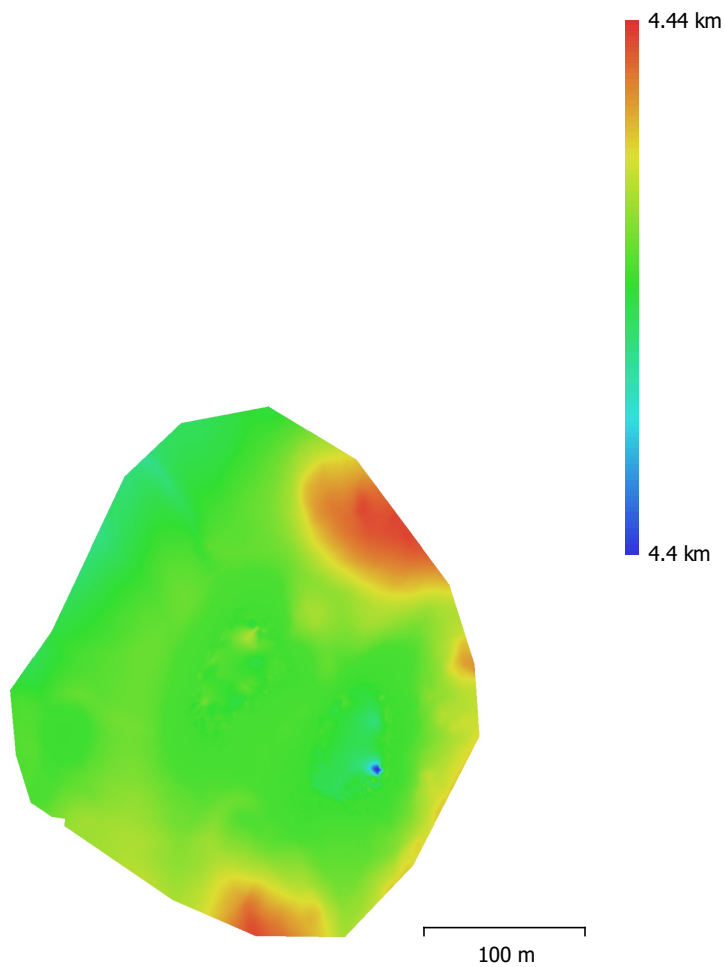


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 30 cm/pix  
Densidad de puntos: 11.1 puntos/m<sup>2</sup>

# Parámetros de procesamiento

## Generales

Cámaras	145
Cámaras orientadas	145
Marcadores	6

## Formas

Polilíneas	1961
Polígonos	408
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

## Nube de puntos

Puntos	51,463 de 56,636
RMS error de reproyección	0.171563 (0.773627 pix)
Error de reproyección máximo	1.30458 (5.25453 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	4.55471 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos claves	No
Multiplicidad media de puntos de paso	9.37285

## Parámetros de orientación

Precisión	Media
Pre-selección genérica	No
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	35,000
Puntos de enlace por foto	3,500
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	26 minutos 57 segundos
Tiempo de orientación	32 segundos

## Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	4 segundos

## Mapas de profundidad

Número	145
--------	-----

## Parámetros de reconstrucción

Calidad	Baja
Nivel de filtrado	Agresivo
Duración del procesamiento	3 minutos 54 segundos

## Nube de puntos densa

Puntos	4,726,368
Colores de puntos	3 bandas, uint8

## Parámetros de reconstrucción

Calidad	Baja
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	3 minutos 54 segundos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	1 minuto 22 segundos

## Modelo

Caras	224,923
Vértices	114,112
Colores de vértices	3 bandas, uint8

## Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
--------------------	------------------------

**Generales**

Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Baja
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	250,000
Duración del procesamiento	8 segundos

**Modelo digital de elevaciones**

Tamaño	756 x 593
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)

**Ortomosaico**

Tamaño	19,325 x 22,196
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)
Colores	3 bandas, uint8

**Parámetros de reconstrucción**

Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Malla
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	3 minutos 8 segundos

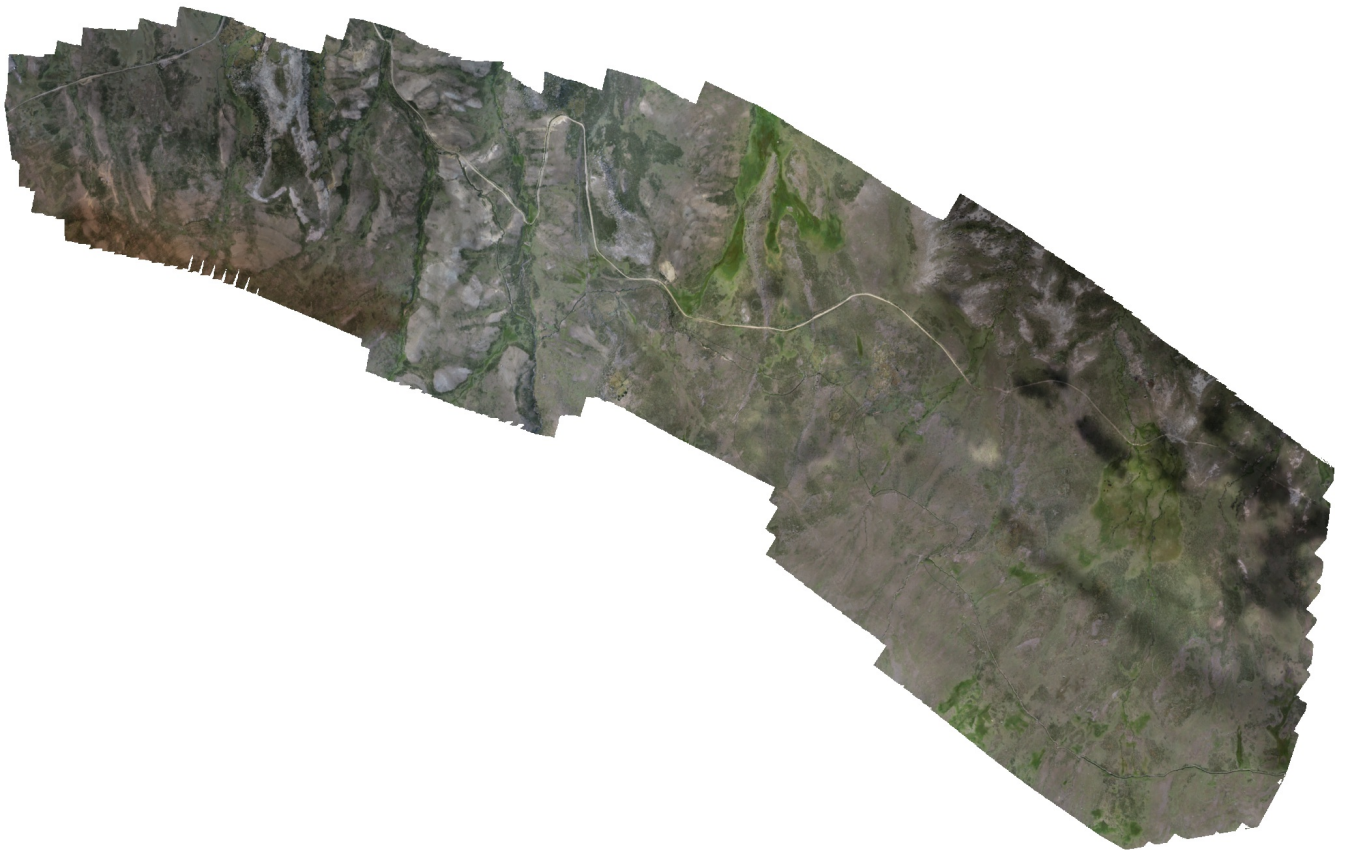
**Software**

Versión	1.5.0 build 7492
Plataforma	Windows 64

# **LEVANTAMIENTO CON DRON EN CLAUSURA DE PRADERAS**

**Informe de procesamiento del levantamiento de un proyecto de CLAUSURA DE  
PRADERAS**

**14 October 2022**



# Datos del levantamiento

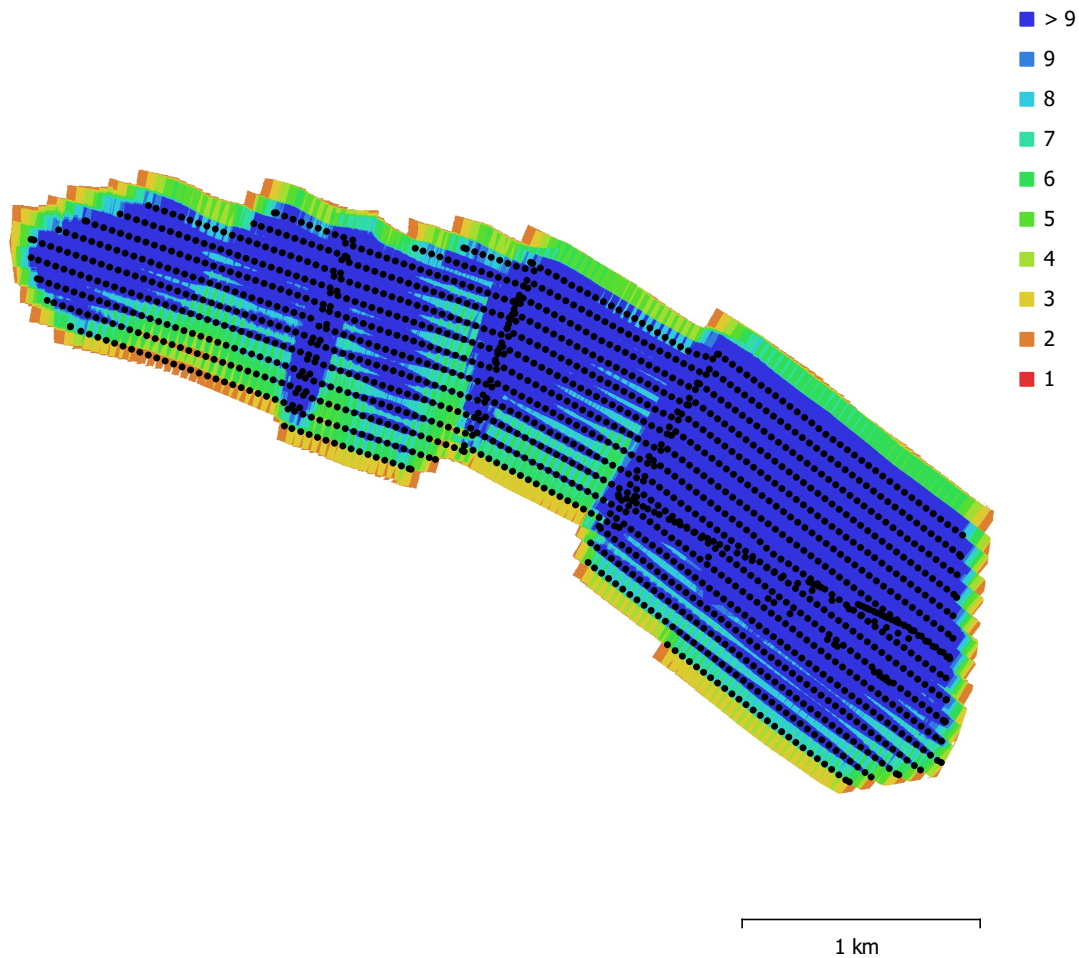


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 1,604

Altitud media de vuelo: 171 m

Resolución en terreno: 4.4 cm/pix

Superficie cubierta: 4.71 km<sup>2</sup>

Posiciones de cámara: 1,604

Puntos de enlace: 793,185

Proyecciones: 5,431,349

Error de reproyección: 1.19 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310S (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

# Calibración de cámara

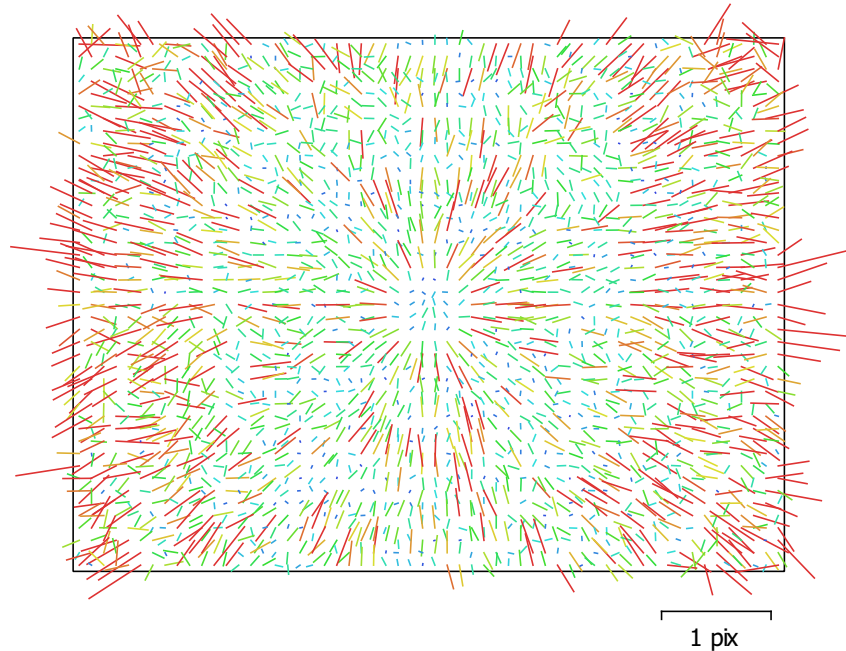


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310S (8.8mm).

## FC6310S (8.8mm)

1604 imágenes

Tipo  
**Cuadro**

Resolución  
**4864 x 3648**

Distancia focal  
**8.8 mm**

Tamaño de píxel  
**2.61 x 2.61 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
<b>F</b>	<b>3577.11</b>	0.37	1.00	0.22	0.13	0.09	0.01	-0.06	0.02	0.01	-0.02	-0.02	-0.09
<b>Cx</b>	<b>-3.21118</b>	0.045		1.00	0.06	0.00	-0.06	-0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.42	-0.03
<b>Cy</b>	<b>-16.3107</b>	0.041			1.00	0.07	-0.01	-0.00	-0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.40
<b>B1</b>	<b>-5.52715</b>	0.012				1.00	-0.01	0.01	-0.02	0.02	-0.02	0.00	0.01
<b>B2</b>	<b>-0.000316559</b>	0.012					1.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.03	0.02
<b>K1</b>	<b>-0.00459669</b>	9.2e-005						1.00	-0.98	0.93	-0.88	-0.01	0.00
<b>K2</b>	<b>-0.0436374</b>	0.0005							1.00	-0.99	0.96	0.01	0.00
<b>K3</b>	<b>0.0983776</b>	0.0011								1.00	-0.99	-0.00	-0.00
<b>K4</b>	<b>-0.0627276</b>	0.00076									1.00	0.00	0.00
<b>P1</b>	<b>-0.000505261</b>	2.6e-006										1.00	0.00
<b>P2</b>	<b>-0.00183426</b>	2.3e-006											1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.



# Posiciones de cámaras

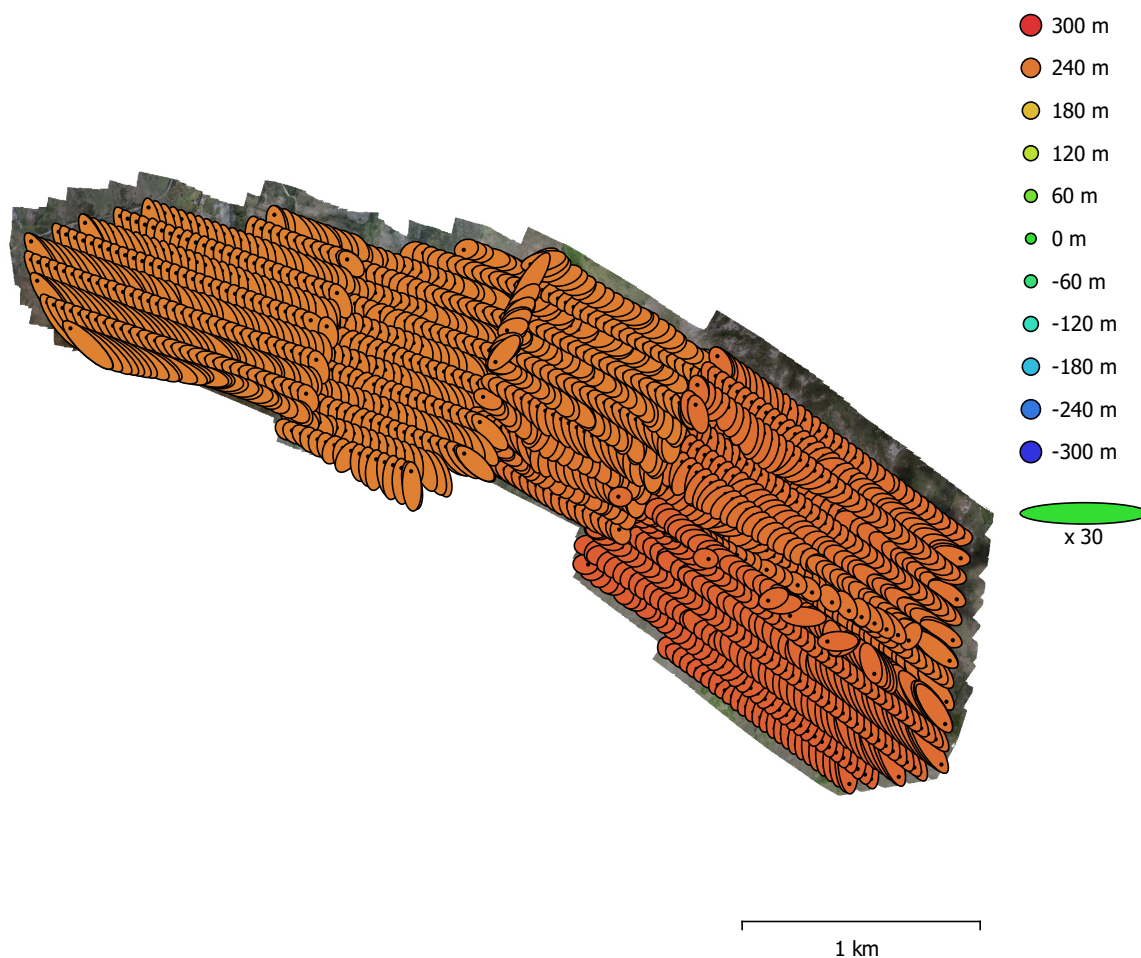


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

<b>Error X (m)</b>	<b>Error Y (m)</b>	<b>Error Z (m)</b>	<b>Error XY (m)</b>	<b>Error compuesto (m)</b>
1.57223	2.33928	240.985	2.81853	241.001

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

# Puntos de control terrestres

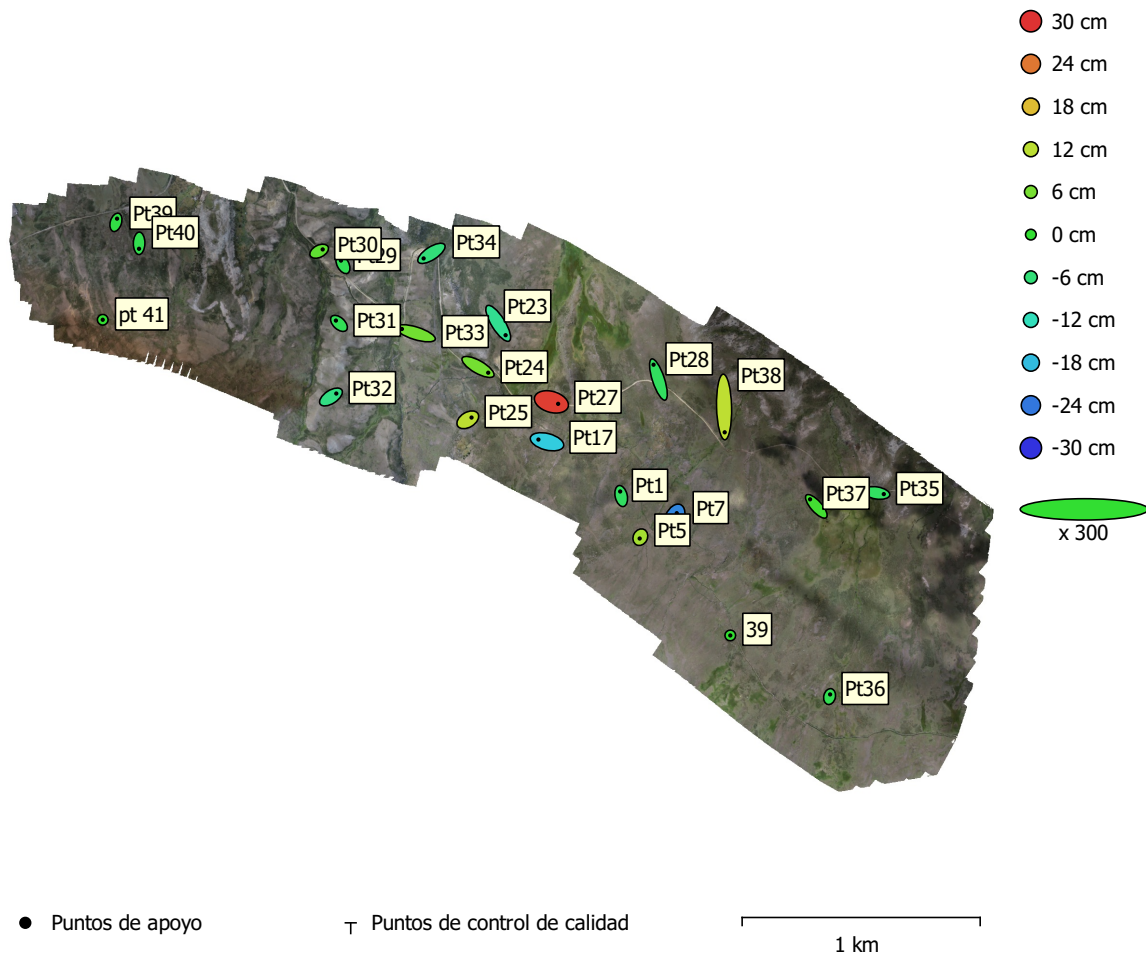


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
23	15.6255	20.8862	10.1025	26.0843	27.9723

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

<b>Nombre</b>	<b>Error X (cm)</b>	<b>Error Y (cm)</b>	<b>Error Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
Pt1	-2.91286	12.7504	-4.06789	13.6969	0.269 (15)
Pt5	-1.87579	-3.67193	9.91891	10.7418	0.150 (12)
Pt7	6.59433	14.8075	-22.7114	27.9026	0.375 (18)
Pt17	-24.0712	6.21809	-16.525	29.8524	0.585 (9)
Pt23	20.6928	-33.2283	-8.31732	40.0186	0.419 (15)
Pt24	28.5704	-16.2043	5.83552	33.3601	0.391 (14)
Pt25	10.4486	6.32871	12.1581	17.235	0.254 (7)
Pt27	18.8066	-5.47679	28.9462	34.9509	0.568 (8)
Pt28	-13.6763	41.5565	-3.93217	43.9254	0.309 (12)
Pt29	-5.57183	10.4462	-2.90325	12.1901	0.310 (15)
Pt30	9.89133	5.05827	3.93759	11.7868	0.377 (15)
Pt31	-8.61944	7.905	-3.10546	12.1007	0.257 (12)
Pt32	14.8594	9.67567	-7.08451	19.0948	0.534 (6)
Pt33	-38.1781	11.8799	5.55414	40.3676	0.386 (13)
Pt34	-21.8966	-14.177	-6.17425	26.8062	0.313 (8)
Pt35	20.0866	-3.1856	-4.16728	20.7602	0.307 (17)
Pt36	1.42291	6.05998	-2.78514	6.81946	0.131 (10)
Pt37	-17.5173	19.7045	1.48617	26.407	0.286 (21)
Pt38	1.74252	-70.9059	12.2546	71.9782	0.441 (23)
Pt39	3.1383	10.2856	-1.60572	10.8729	0.231 (13)
Pt40	-0.279985	-15.3036	-2.51734	15.5118	0.158 (8)
pt 41	-0.00519205	0.000702	0.00226932	0.00570964	0.002 (9)
39	0.00443591	-0.00292866	0.00813806	0.0097202	0.004 (7)
<b>Total</b>	<b>15.6255</b>	<b>20.8862</b>	<b>10.1025</b>	<b>27.9723</b>	<b>0.342</b>

Tabla 5. Puntos de apoyo.  
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

# Modelo digital de elevaciones

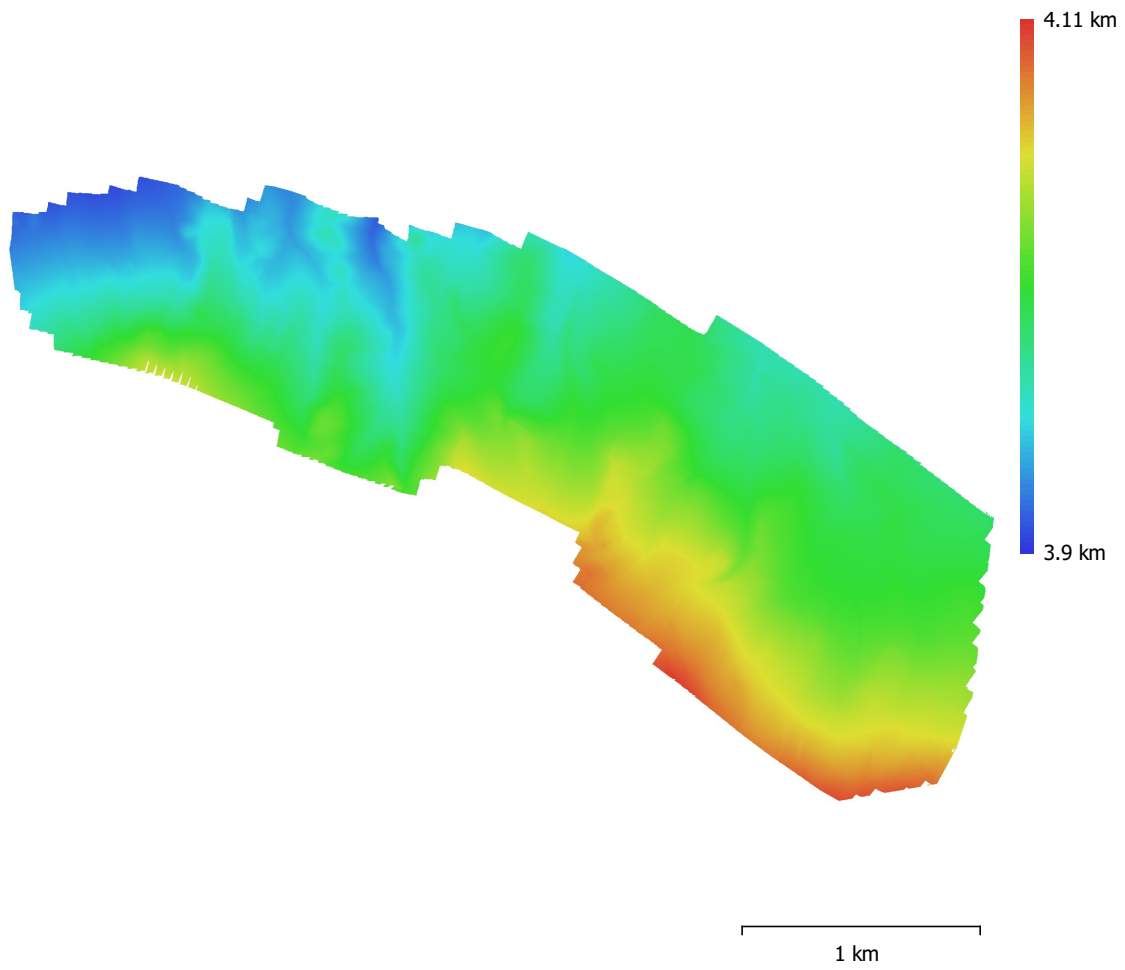


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 17.6 cm/pix  
Densidad de puntos: 32.3 puntos/m<sup>2</sup>

# Parámetros de procesamiento

## Generales

Cámaras	1604
Cámaras orientadas	1604
Marcadores	23

## Formas

Políneas	1600
Polígonos	926
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

## Nube de puntos

Puntos	793,185 de 868,582
RMS error de reproyección	0.210042 (1.19217 pix)
Error de reproyección máximo	5.64815 (38.6366 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	5.89478 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos claves	No
Multiplicidad media de puntos de paso	7.16854

## Parámetros de orientación

Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	35,000
Puntos de enlace por foto	3,500
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	16 minutos 36 segundos
Tiempo de orientación	14 minutos 10 segundos

## Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo de optimización	3 minutos 2 segundos

## Mapas de profundidad

Número	1604
--------	------

## Parámetros de reconstrucción

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Duración del procesamiento	2 horas 21 minutos

## Nube de puntos densa

Puntos	193,021,736
Colores de puntos	3 bandas, uint8

## Parámetros de reconstrucción

Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	2 horas 21 minutos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	1 hora 29 minutos

## Modelo

Caras	1,418,096
Vértices	723,588
Colores de vértices	3 bandas, uint8

## Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorrelieve / terreno
--------------------	------------------------

**Generales**

Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Agresivo
Número de caras	2,000,000
Duración del procesamiento	6 minutos 37 segundos

**Modelo digital de elevaciones**

Tamaño	23,573 x 15,028
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)

**Ortomosaico**

Tamaño	93,980 x 59,580
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 18S (EPSG::32718)
Colores	3 bandas, uint8

**Parámetros de reconstrucción**

Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	Modelo digital de elevaciones
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Duración del procesamiento	1 hora 13 minutos

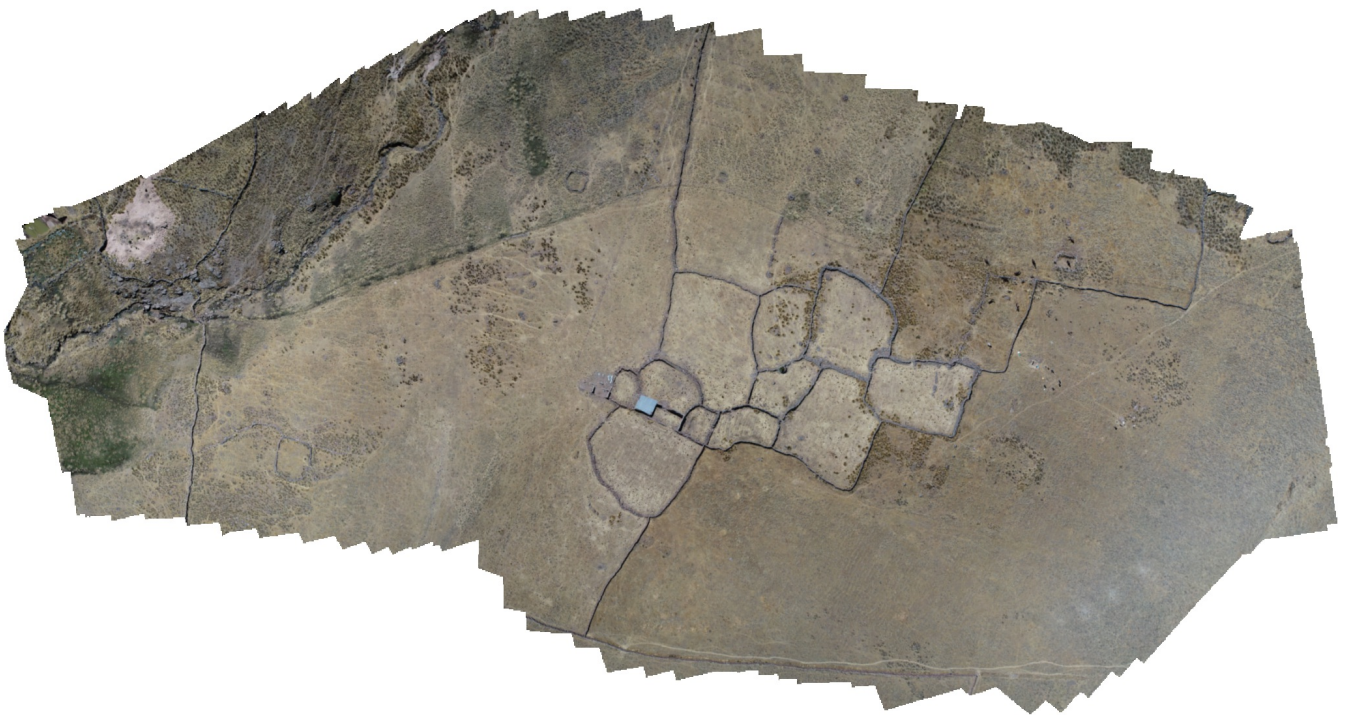
**Software**

Versión	1.5.0 build 7492
Plataforma	Windows 64

# **LEVANTAMIENTO CON DRON EN MICRORESERVORIO**

**Informe de procesamiento del levantamiento de un proyecto de  
MICRORESERVORIO.**

**12 October 2022**



# Datos del levantamiento

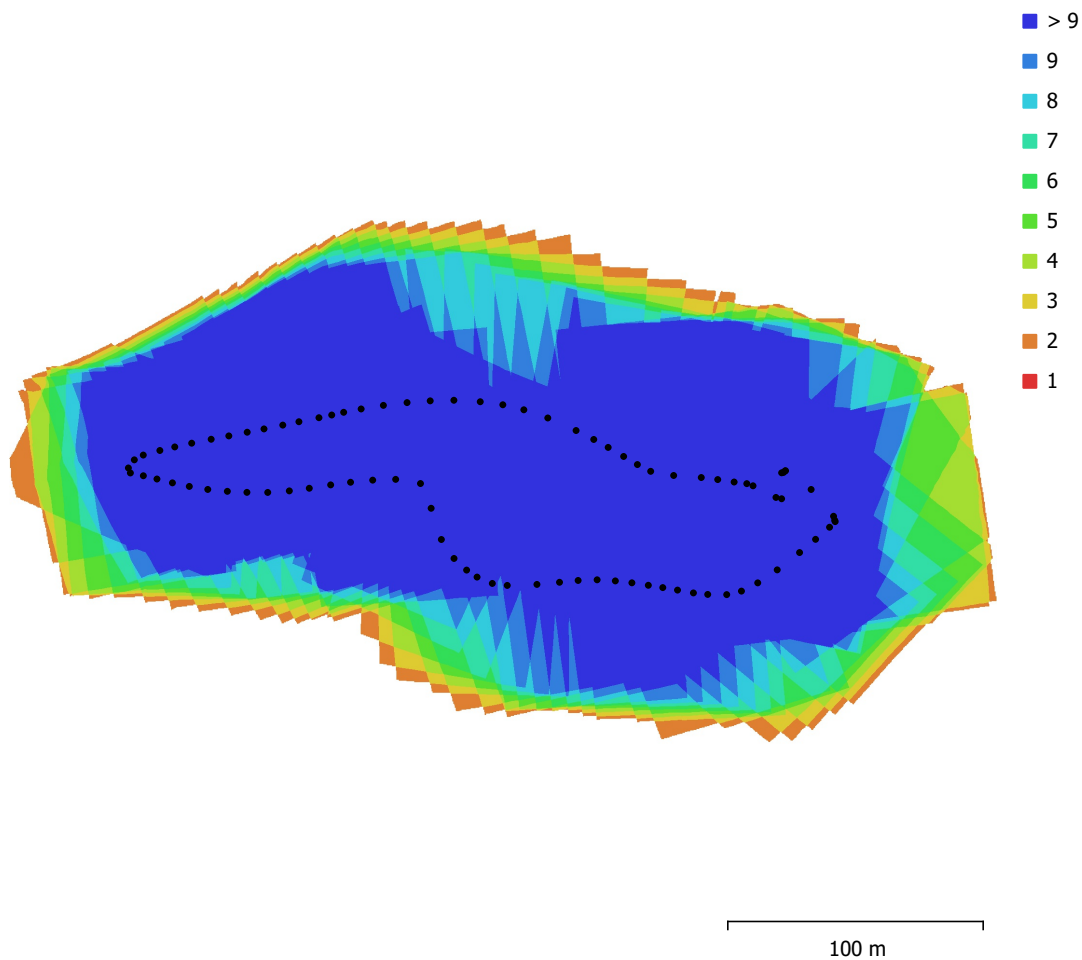


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 87

Altitud media de vuelo: 75.7 m

Resolución en terreno: 2.11 cm/pix

Superficie cubierta: 0.0545 km<sup>2</sup>

Posiciones de cámara: 87

Puntos de enlace: 29,766

Proyecciones: 281,352

Error de reproyección: 0.868 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC6310S (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 micras	No

Tabla 1. Cámaras.



# Calibración de cámara

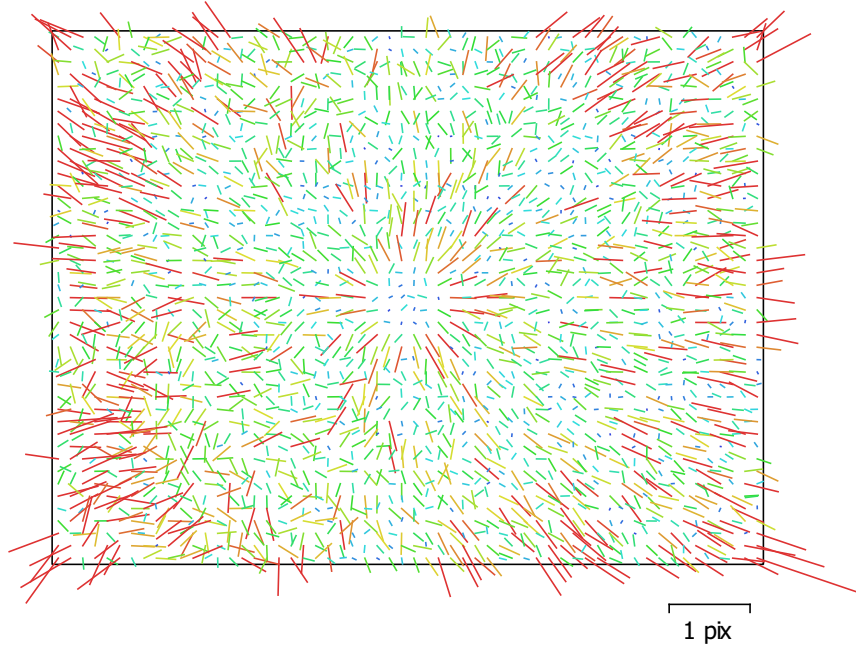


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC6310S (8.8mm).

## FC6310S (8.8mm)

87 imágenes

Tipo  
**Cuadro**

Resolución  
**4864 x 3648**

Distancia focal  
**8.8 mm**

Tamaño de píxel  
**2.61 x 2.61 micras**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
<b>F</b>	<b>3256.92</b>	3.6	1.00	0.36	0.18	0.03	-0.01	-0.24	-0.07	0.20	-0.10	-0.23
<b>Cx</b>	<b>-5.87972</b>	0.18		1.00	0.05	0.27	0.02	-0.11	-0.03	0.09	0.49	-0.19
<b>Cy</b>	<b>-15.0806</b>	0.16			1.00	-0.06	0.18	-0.08	-0.01	0.04	-0.22	0.58
<b>B1</b>	<b>-0.253923</b>	0.035				1.00	0.07	0.01	-0.03	0.04	0.29	-0.08
<b>B2</b>	<b>0.0374035</b>	0.036					1.00	-0.01	0.02	-0.01	0.06	0.29
<b>K1</b>	<b>-0.00589236</b>	0.00013						1.00	-0.89	0.79	0.01	0.04
<b>K2</b>	<b>-0.00716522</b>	0.00035							1.00	-0.97	0.03	0.02
<b>K3</b>	<b>0.0102939</b>	0.0003								1.00	-0.04	-0.05
<b>P1</b>	<b>-0.000340891</b>	9.8e-006									1.00	-0.21
<b>P2</b>	<b>-0.00158392</b>	1e-005										1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.

# Posiciones de cámaras

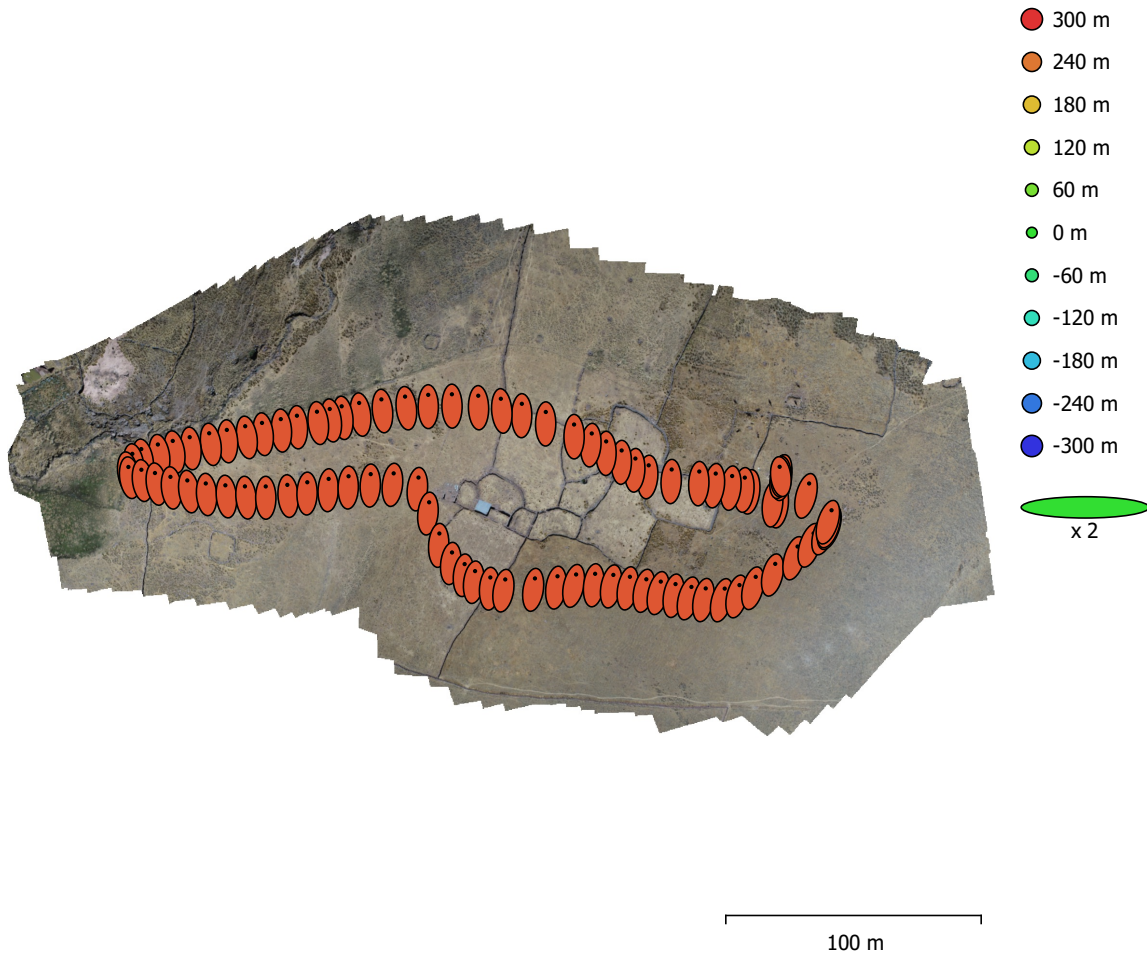


Fig. 3. Posiciones de cámaras y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Error XY (m)	Error compuesto (m)
0.682603	4.51833	268.738	4.5696	268.777

Tabla 3. Errores medios de las posiciones de cámaras.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

# Puntos de control terrestres

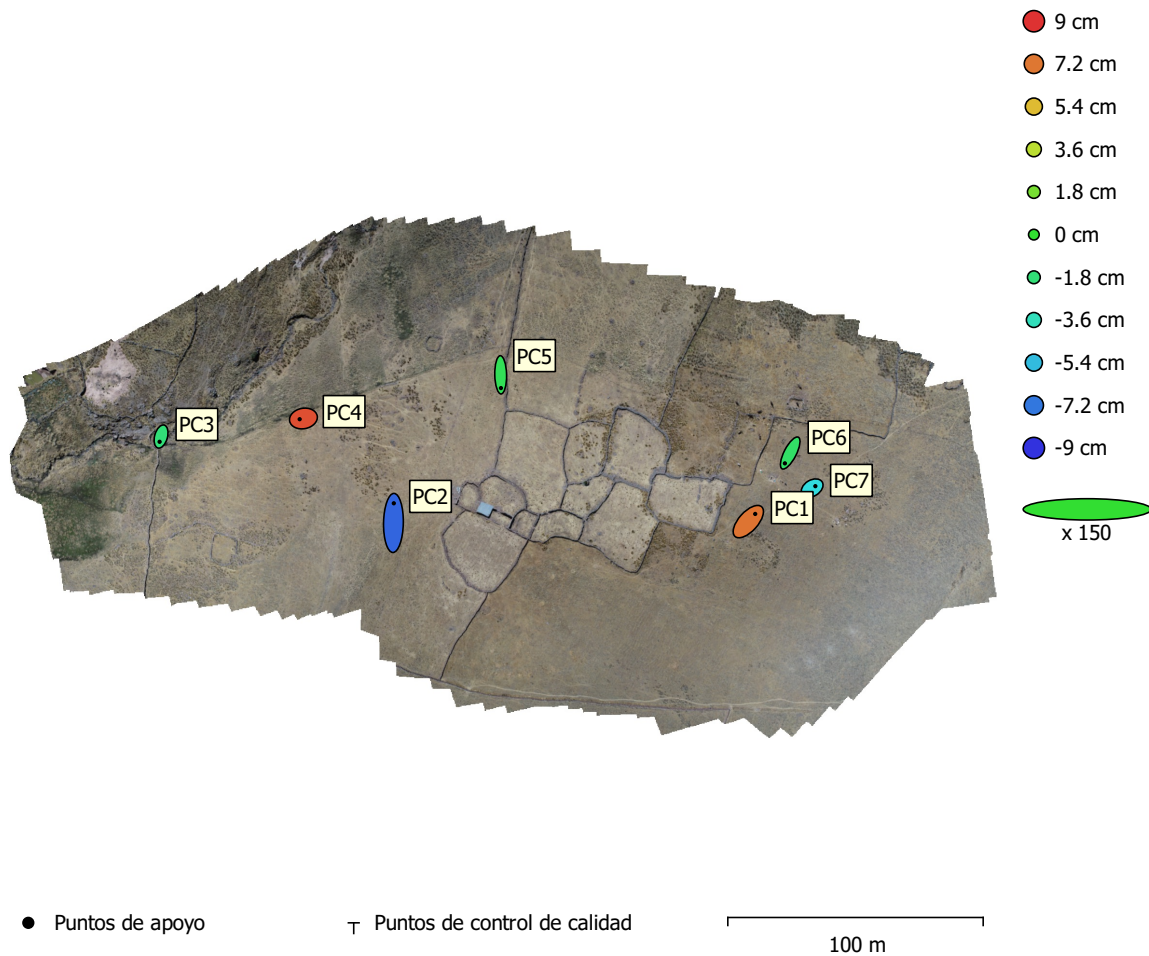


Fig. 4. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
7	1.99535	5.43866	5.4319	5.79313	7.94141

Tabla 4. ECM de puntos de apoyo.

X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

<b>Nombre</b>	<b>Error X (cm)</b>	<b>Error Y (cm)</b>	<b>Error Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
PC1	3.59381	3.9972	7.27104	9.04218	0.520 (27)
PC2	0.19553	10.2702	-7.65955	12.8134	0.258 (25)
PC3	-0.755054	-2.74154	-1.83724	3.3855	0.250 (19)
PC4	-1.96245	-0.371521	8.25137	8.48966	0.228 (21)
PC5	0.140935	-6.91734	-0.953704	6.9842	0.374 (10)
PC6	-2.7787	-5.39244	-1.36868	6.21875	0.413 (19)
PC7	1.65947	1.00839	-4.55614	4.95269	0.438 (17)
<b>Total</b>	<b>1.99535</b>	<b>5.43866</b>	<b>5.4319</b>	<b>7.94141</b>	<b>0.372</b>

Tabla 5. Puntos de apoyo.  
X - Este, Y - Norte, Z - Altitud.

# Modelo digital de elevaciones

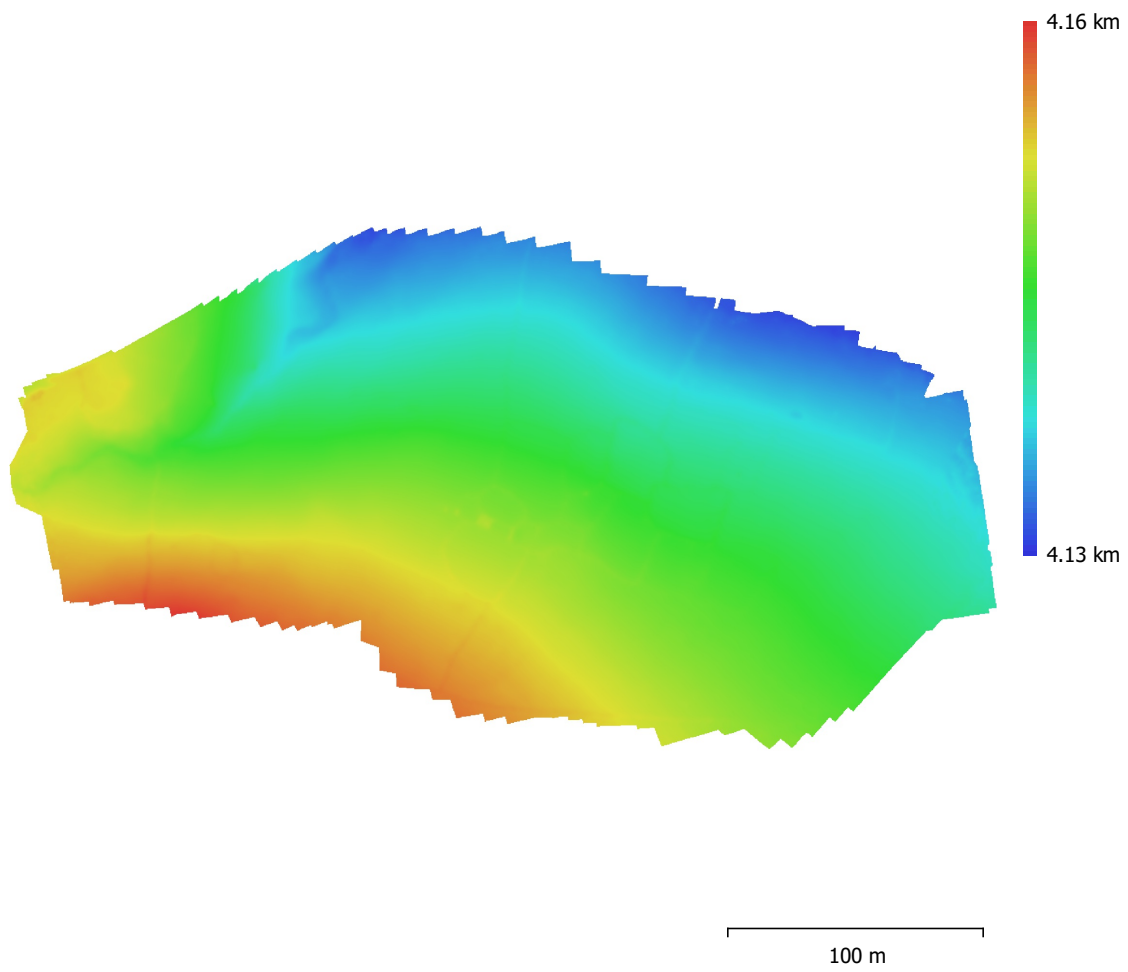


Fig. 5. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 30 cm/pix  
Densidad de puntos: 11.1 puntos/m<sup>2</sup>

# Parámetros de procesamiento

## Generales

Cámaras	87
Cámaras orientadas	87
Marcadores	7
Sistema de coordenadas	WGS 84 / UTM zone 19S (EPSG::32719)
Ángulo de rotación	Guiñada, cabeceo, alabeo

## Nube de puntos

Puntos	29,766 de 32,790
RMS error de reproyección	0.172146 (0.867557 pix)
Error de reproyección máximo	0.958621 (15.0844 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	4.82371 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos claves	No
Multiplicidad media de puntos de paso	9.94395

## Parámetros de orientación

Precisión	Media
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	35,000
Puntos de enlace por foto	3,500
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	1 minuto 19 segundos
Tiempo de orientación	16 segundos

## Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	No
Tiempo de optimización	3 segundos

## Mapas de profundidad

Número	87
--------	----

## Parámetros de reconstrucción

Calidad	Media
Nivel de filtrado	Agresivo
Duración del procesamiento	9 minutos 41 segundos

## Nube de puntos densa

Puntos	9,056,476
Colores de puntos	3 bandas, uint8

## Parámetros de reconstrucción

Calidad	Media
Filtrado de profundidad	Agresivo
Tiempo de generación de mapas de profundidad	9 minutos 41 segundos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	3 minutos 11 segundos

## Modelo

Caras	235,055
Vértices	119,471
Colores de vértices	3 bandas, uint8

## Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Bajorelieve / terreno
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Media

**Generales**

Filtrado de profundidad Agresivo  
Número de caras 250,000  
Duración del procesamiento 14 segundos

**Modelo digital de elevaciones**

Tamaño 1,607 x 932  
Sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zone 19S (EPSG::32719)

**Parámetros de reconstrucción**

Datos fuente Malla  
Interpolación Habilitada  
Duración del procesamiento 3 segundos

**Ortomosaico**

Tamaño 18,328 x 9,708  
Sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zone 19S (EPSG::32719)  
Colores 3 bandas, uint8

**Parámetros de reconstrucción**

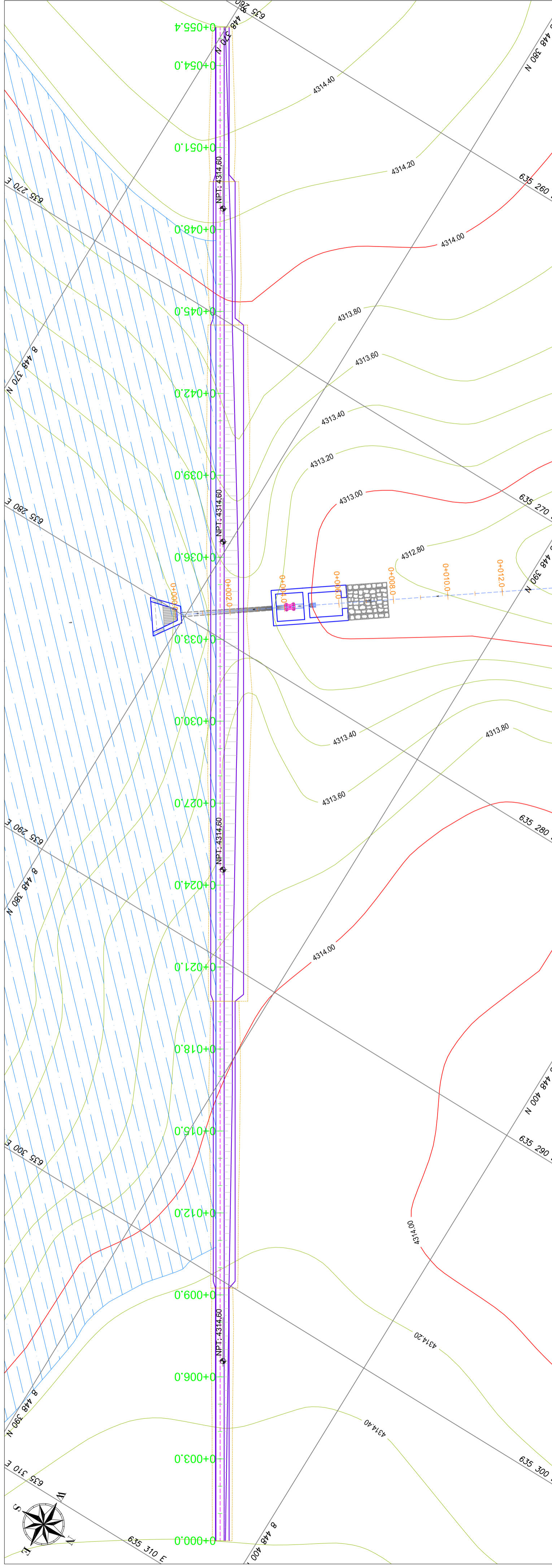
Modo de mezcla Mosaico  
Superficie Malla  
Realizar el relleno de agujeros Sí  
Duración del procesamiento 1 minuto 47 segundos

**Software**

Versión 1.5.0 build 7492  
Plataforma Windows 64

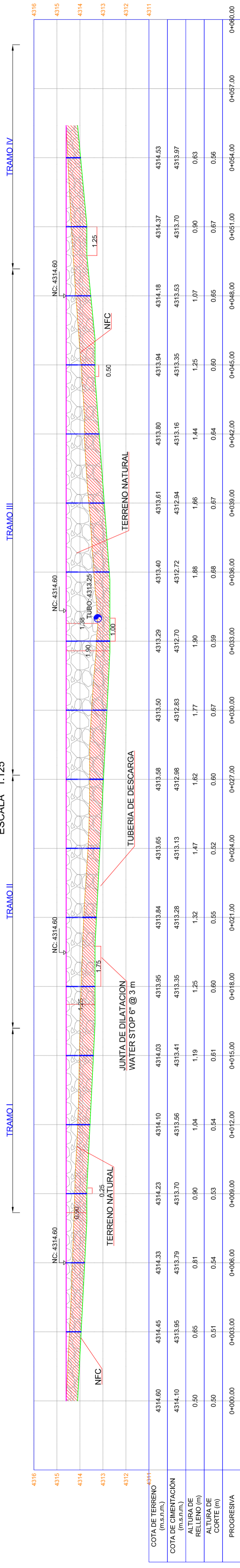
**PLANTA DEL DIQUE LAMBRASQOCHA**

ESCALA 1:100



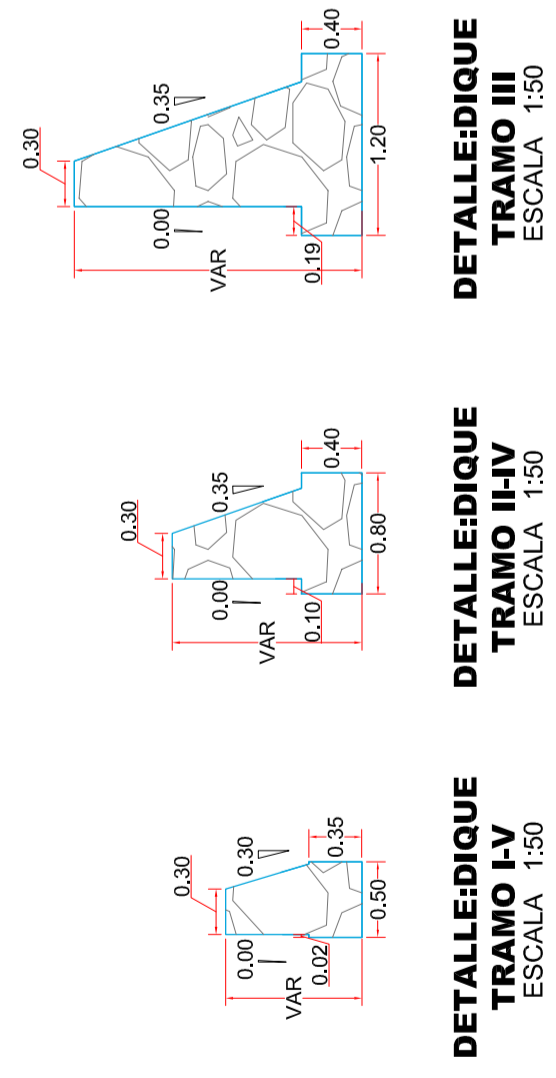
**PERFIL DIQUE LAMBRASQOCHA**

ESCALA 1:125



**LEYENDA**

ABREVIATURA	DESCRIPCION
NA	NIVEL DE AVENIDAS
NO	NIVEL DE OPERACION
NC	NIVEL DE CORONA
NFC	NIVEL DE FONDO DE CIMENTACION
NPT	NIVEL DE PISO TERMINADO



**CUADRO DE ALTURAS TOTALES DEL DIQUE (Ht)**

TRAMO	INICIO	FIN	Ht (m)
1	0+000.00	0+009.25	0.90
2	0+009.25	0+019.75	1.25
3	0+019.75	0+044.50	1.90
4	0+044.50	0+049.75	1.25
5	0+049.75	0+055.40	0.90

**CUADRO DE CARACTERISTICAS DE LA ZAPATA**

TRAMO	INICIO	FIN	Bz (m)	Hz (m)	Tz (m)
1	0+000.00	0+009.25	0.50	0.35	0.02
2	0+009.25	0+019.75	0.80	0.40	0.10
3	0+019.75	0+044.50	1.20	0.40	0.19
4	0+044.50	0+049.75	0.80	0.40	0.10
5	0+049.75	0+055.40	0.50	0.35	0.02

**DETALLE:DIQUE TRAMO I-V**  
ESCALA 1:50

**DETALLE:DIQUE TRAMO II-IV**  
ESCALA 1:50

**DETALLE:DIQUE TRAMO III**  
ESCALA 1:50

REPUBLICA DEL PERU  
 UNIDAD EJECUTORA: FONDO SIERRA AZUL  
 U.E.F.S.A.

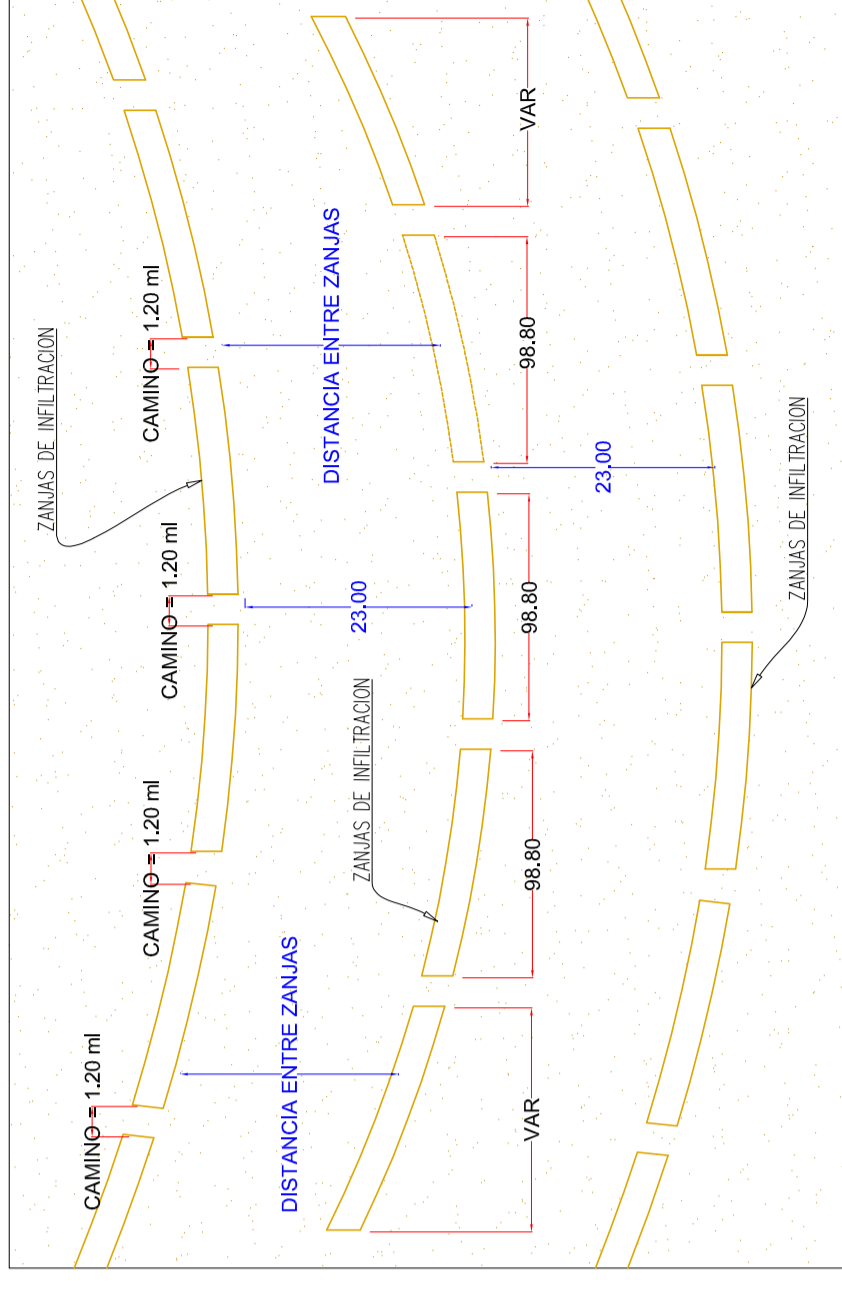
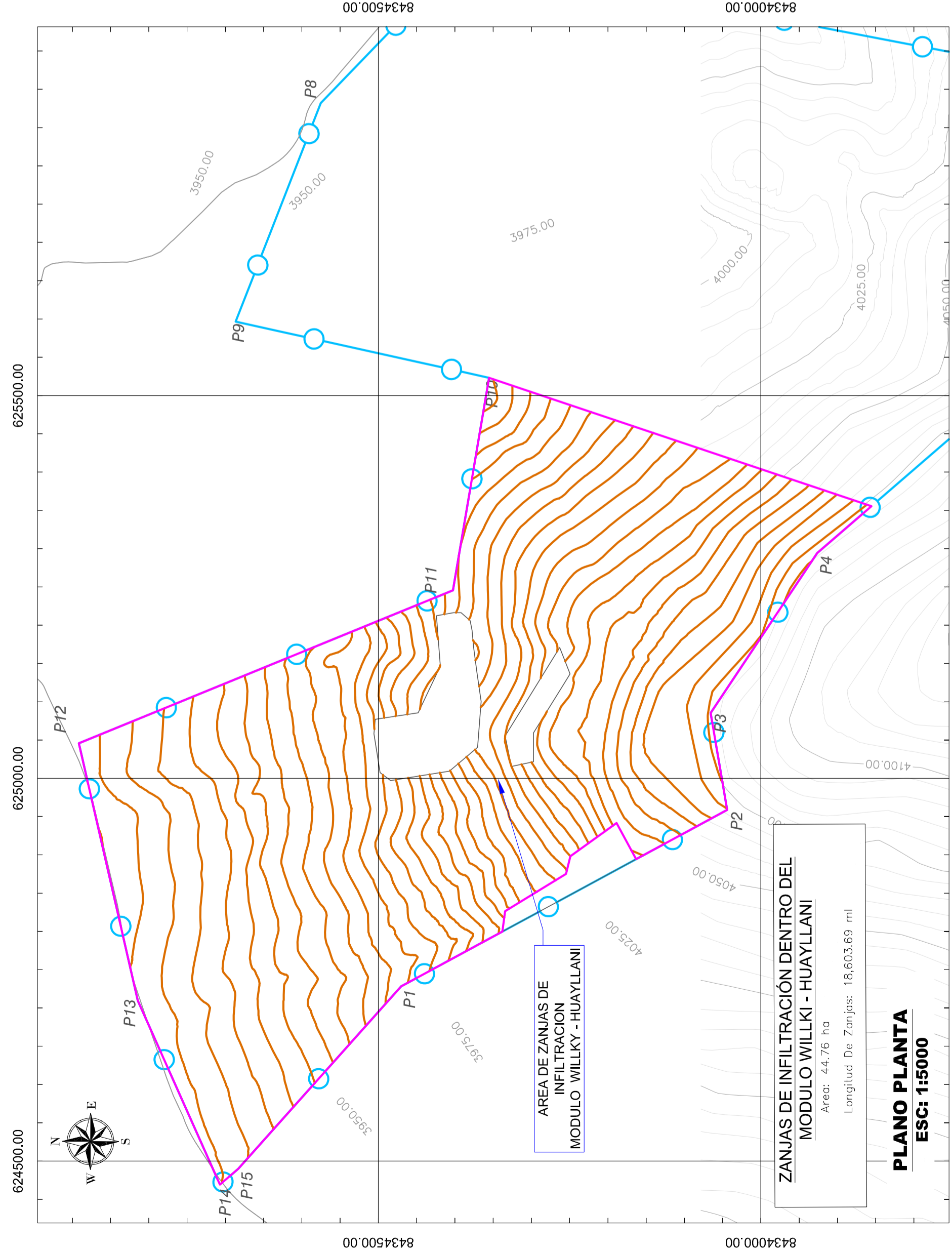
PROYECTO: CONSTRUCCION DE CAPTACION DE AGUA: EN EL (LA) RECARGA HIDRICA PARA LA UNIDAD PRODUCTORA DEL SISTEMA DE RIEGO DE LAS PAMPAS DE SULCABAMBA - HUAMPUCHACA, DISTRITO DE SAN SALVADOR DE QUIJE, PROVINCIA SUCRE, DEPARTAMENTO AYACUCHO\*

**PLANTA - PERFIL DE DIQUE LAMBRASQOCHA**

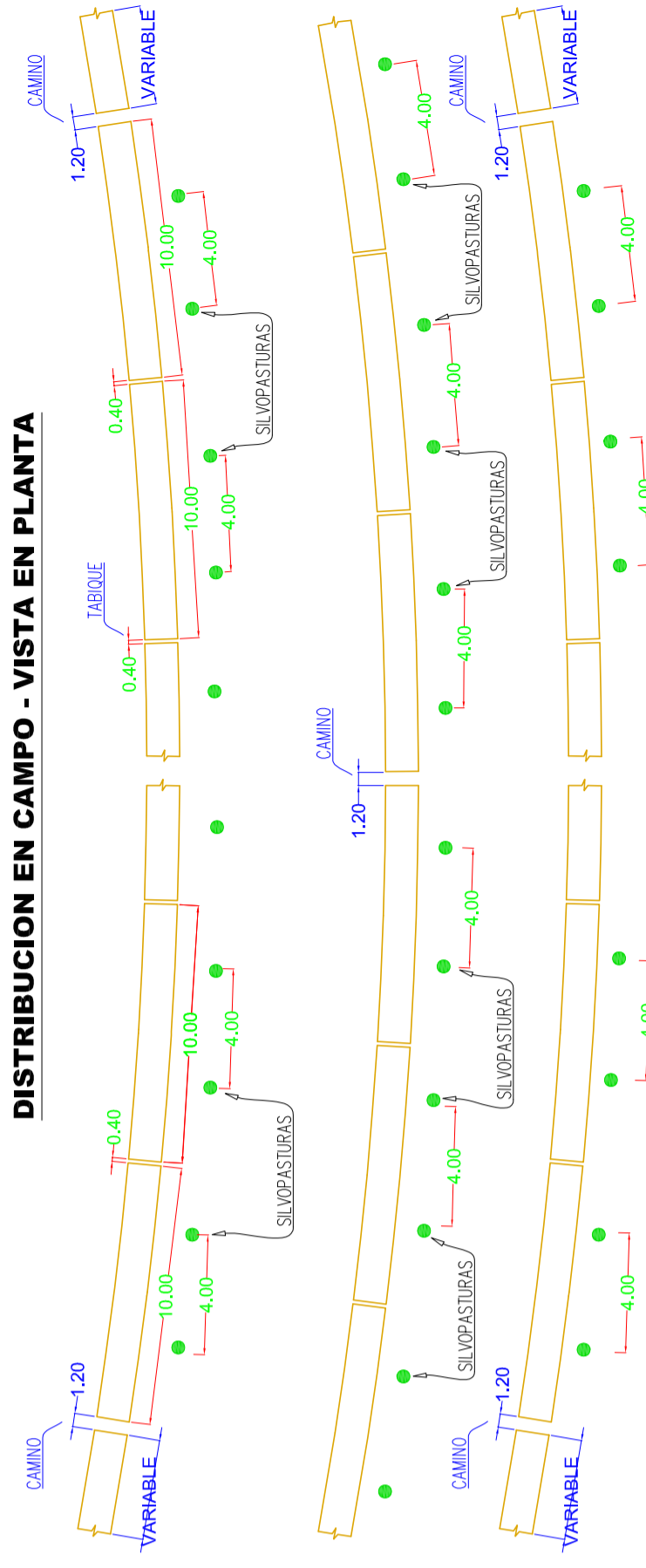
CODIGO:	DISEÑO:	ESCALA:	LAMINA:
LAMBRASQOCHA	ING. JULIA HUAMANI	INDICADA	PD-01
LOCALIDAD : PALLCOCA	AYAS-2021-08	APROBADO:	
DISTRITO : S.S. DE QUIJE	FRANK LUIGUI		
PROVINCIA : SUCRE			
REGION : AYACUCHO			

PERU  
 Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego  
 SIERRAZUL





**DISTRIBUCION EN CAMPO - VISTA EN PLANTA**

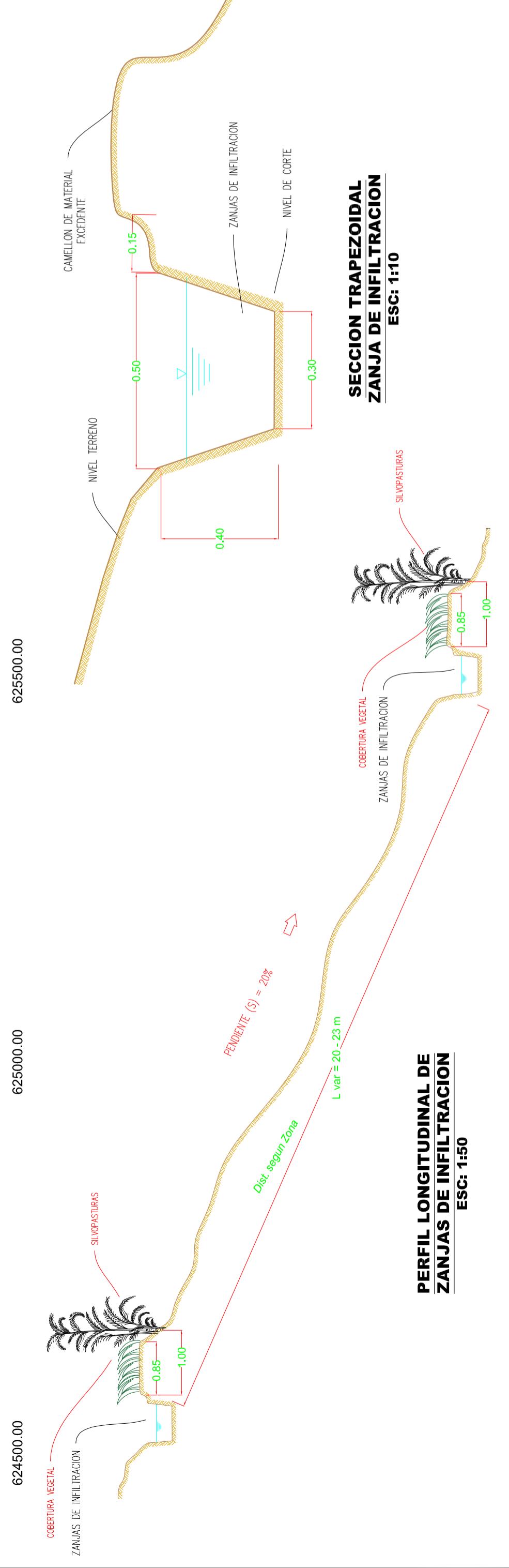


**DIMENSIONES DE ZANJA DE INFILTRACION**

Esc: 1:500

**CARACTERISTICAS DE ZANJA DE INFILTRACION**

- Seccion transversal:	Trapezoidal
- Base menor:	0.30m
- Base mayor:	0.50m
- Altura:	0.40m
- Longitud de zanja:	10.00m
- Distancia entre zanjas:	20.00 a 23 m
- Ancho de labio:	0.40m
- Ancho de camino:	1.20m
- Pendientes de terreno:	media de 20%.



**PERFIL LONGITUDINAL DE ZANJAS DE INFILTRACION**

ESC: 1:10

**SECCION TRAPEZOIDAL ZANJA DE INFILTRACION**

ESC: 1:10

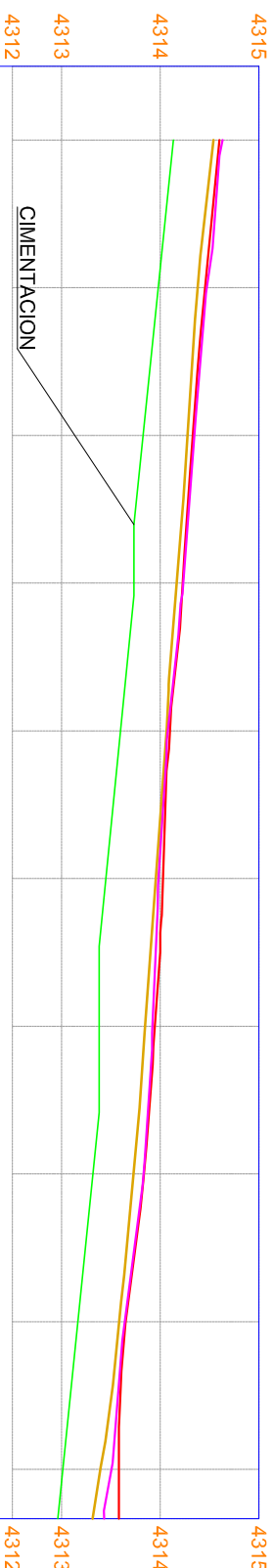
**PLANO DE ZANJAS DE INFILTRACION: MODULO WILLKY -HUAYLLANI.**

SECTOR :	MICROCUENCA HUANCAMAYO	CODIGO:	SUCI-2022	DESENIO:	ING. ELVIN CCAICURI SANTI	ESCALA:	INDICADA	LAMINA:	<b>PT-04</b>
LOCALIDAD :	MORCOLLA	FECHA:	MAYO, 2022	CADISTA:	J. OROSCO	APROBADO:	ING.		04 de 25
DISTRITO :	MORCOLLA								
PROVINCIA :	SUCRE								
REGION :	AYACUCHO								

# PERFIL LONGITUDINAL DEL TERRENO LEVANTADO CON ESTACION TOTAL, GNSS Y DRON

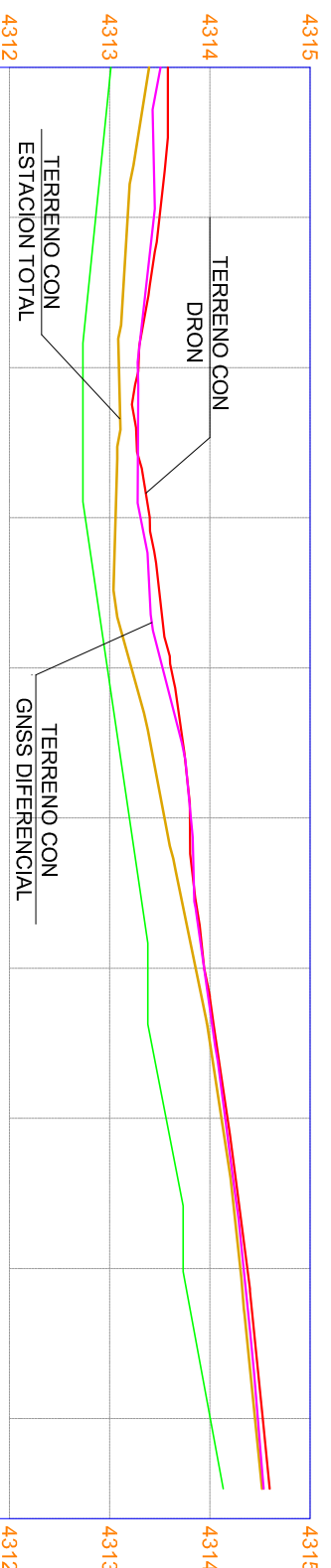
ESCALA 1:150

## PERFIL DIQUE - TRAMO 1



COTA DE TERRENO CON ESTACION TOTAL (m.s.n.m.)	4314.54	4314.38	4314.28	4314.17	4314.07	4313.95	4313.84	4313.73	4313.58	4313.39
COTA DE TERRENO CON GNSS (m.s.n.m.)	4314.63	4314.47	4314.35	4314.23	4314.08	4313.98	4313.92	4313.83	4313.64	4313.51
COTA DE TERRENO CON DRON (m.s.n.m.)	4314.63	4314.47	4314.35	4314.23	4314.08	4313.98	4313.92	4313.83	4313.64	4313.51
DIFFERENCIA DE COTA DE DRON VS GNSS (m)	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.07
DIFFERENCIA DE COTA DE DRON VS EST. TOTAL (m)	0.06	0.07	0.05	0.06	0.03	0.07	0.10	0.11	0.06	0.19
DIFFERENCIA DE COTA DE GNSS VS EST. TOTAL (m)	0.09	0.09	0.07	0.07	0.01	0.03	0.08	0.10	0.05	0.11
PROGRESIVA	0+000.00	0+003.00	0+006.00	0+009.00	0+012.00	0+015.00	0+018.00	0+021.00	0+024.00	0+027.00

## PERFIL DIQUE - TRAMO 2



COTA DE TERRENO CON ESTACION TOTAL (m.s.n.m.)	4313.18	4313.09	4313.06	4313.22	4313.55	4313.86	4314.12	4314.30	4314.45
COTA DE TERRENO CON GNSS (m.s.n.m.)	4313.44	4313.28	4313.31	4313.53	4313.81	4313.94	4314.15	4314.34	4314.48
COTA DE TERRENO CON DRON (m.s.n.m.)	4313.44	4313.28	4313.31	4313.53	4313.81	4313.94	4314.15	4314.34	4314.48
DIFFERENCIA DE COTA DE DRON VS GNSS (m)	0.06	0.01	0.09	0.08	-0.01	0.00	0.02	0.04	0.05
DIFFERENCIA DE COTA DE DRON VS EST. TOTAL (m)	0.32	0.19	0.34	0.40	0.25	0.09	0.06	0.07	0.08
DIFFERENCIA DE COTA DE GNSS VS EST. TOTAL (m)	0.26	0.19	0.25	0.31	0.26	0.09	0.04	0.03	0.03
PROGRESIVA	0+030.00	0+033.00	0+036.00	0+039.00	0+042.00	0+045.00	0+048.00	0+051.00	0+054.00

### LEYENDA

DESCRIPCION	SIMBOLO
PERFIL CON ESTACION TOTAL	
PERFIL CON GNSS	
PERFIL CON DRON	
LINEA DE CIMENTACION	

#### PROYECTOR:

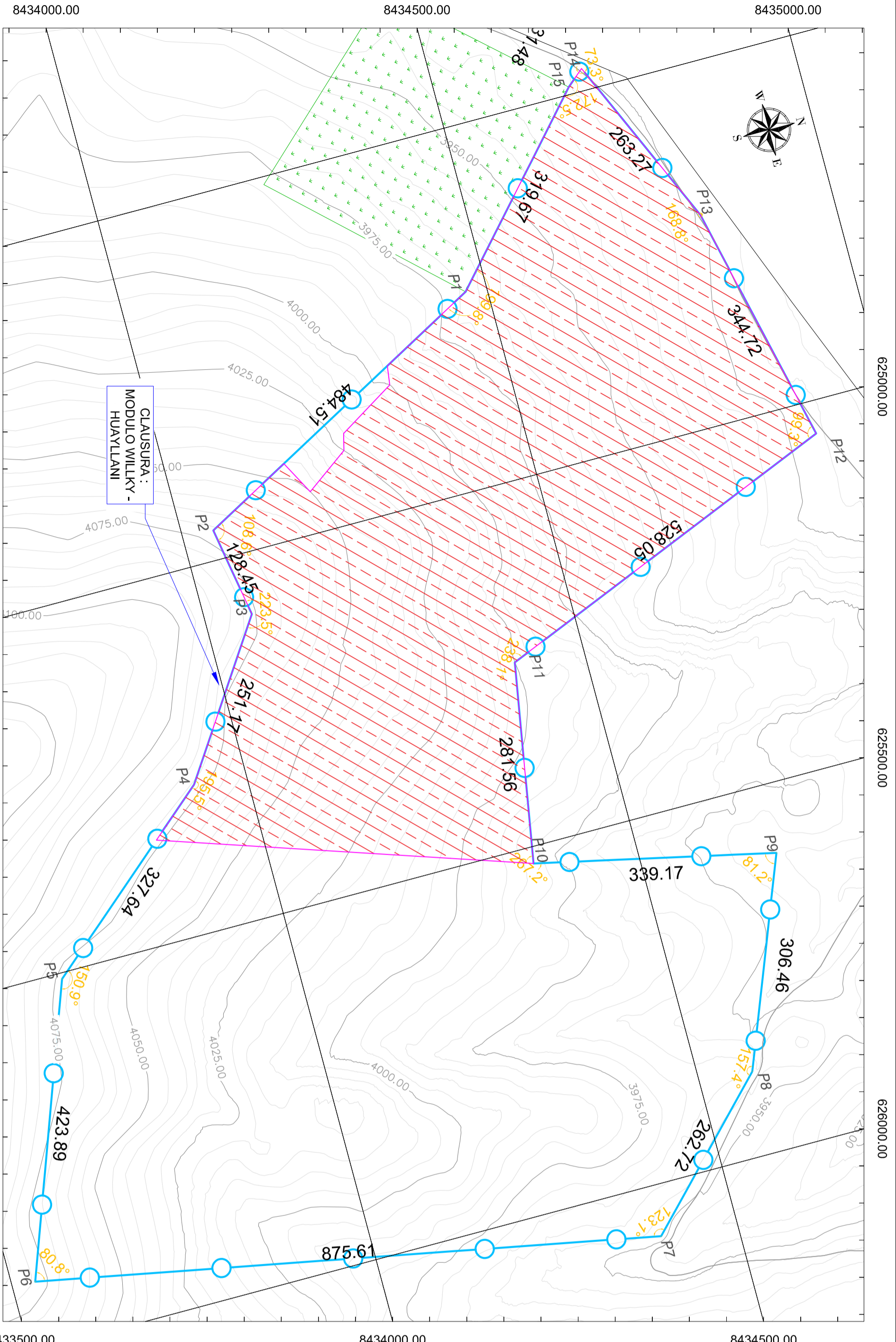
"CONSTRUCCION DE CAPTACION DE AGUA: EN EL (LA) RECARGA HIDRICA PARA LA UNIDAD PRODUCTORA DEL SISTEMA DE RIEGO DE LAS PAMPAS DE SUCABAMBA, HUAMPUCHACA, DISTRITO DE SAN SALVADOR DE QUIJE, PROVINCIA SURE, DEPARTAMENTO AYACUCHO"

#### PLANO:

## PERFIL DE TERRENO GENERADAS CON ESTACION TOTAL, GNSS Y DRON.

#### TRABAJO:

"ANALISIS COMPARATIVO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO CON DRONES RESPECTO AL METODO TRADICIONAL EN PROYECTOS DE SIEMBRA Y COSCHA DE AGUA"



### MODULO: WILLKY - HUAYLLANI

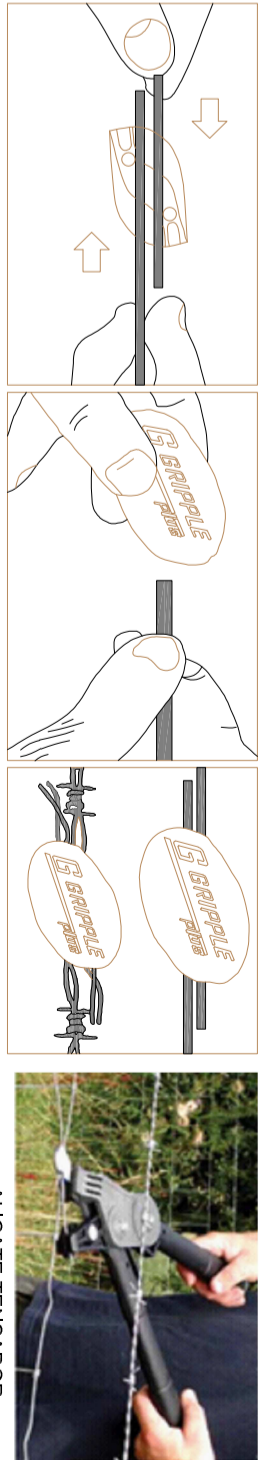
CUADRO DE CONSTRUCCION

VERTICE	LADO	DIST.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1 - P2	484.51	189°48'23"	624729.223	8434470.222
P2	P2 - P3	126.45	108°38'37"	624956.712	8434044.045
P3	P3 - P4	251.17	223°29'41"	625085.299	8434065.824
P4	P4 - P5	327.64	195°27'58"	625094.184	8433926.344
P5	P5 - P6	423.89	150°51'52"	625005.279	8433678.326
P6	P6 - P7	875.61	80°46'45"	625006.446	8433532.909
P7	P7 - P8	262.72	123°54'27"	628071.149	8434392.886
P8	P8 - P9	306.46	157°21'26"	625981.961	8434575.181
P9	P9 - P10	339.17	81°12'22"	625956.421	8434686.475
P10	P10 - P11	281.56	267°10'14"	625523.041	8434355.339
P11	P11 - P12	528.05	238°6'13"	625245.479	8434402.593
P12	P12 - P13	344.72	99°20'11"	625045.664	8434891.379
P13	P13 - P14	263.27	168°49'47"	624709.645	8434614.413
P14	P14 - P15	31.48	73°20'29"	624469.268	8434707.030
P15	P15 - P1	319.67	172°30'47"	624489.810	8434683.172

Area: 1002124.22 m<sup>2</sup>  
 Area: 100.21242 ha  
 Perimetro: 5169.36 m

**ZANJAS DE INFILTRACION DENTRO DEL MODULO WILLKY - HUAYLLANI**

Area: 44.76 ha  
 Longitud De Zanjas: 18.603.69 m



### ESPECIFICACION TECNICA

**MALLA GANADERA**  
 Malla ganadera de 9 hilos x 100m, H=1,20 m

**GRAPAS Y ALAMBRE DE PUAS**  
 Fabricada con alambre galvanizado de alta resistencia a la corrosión.

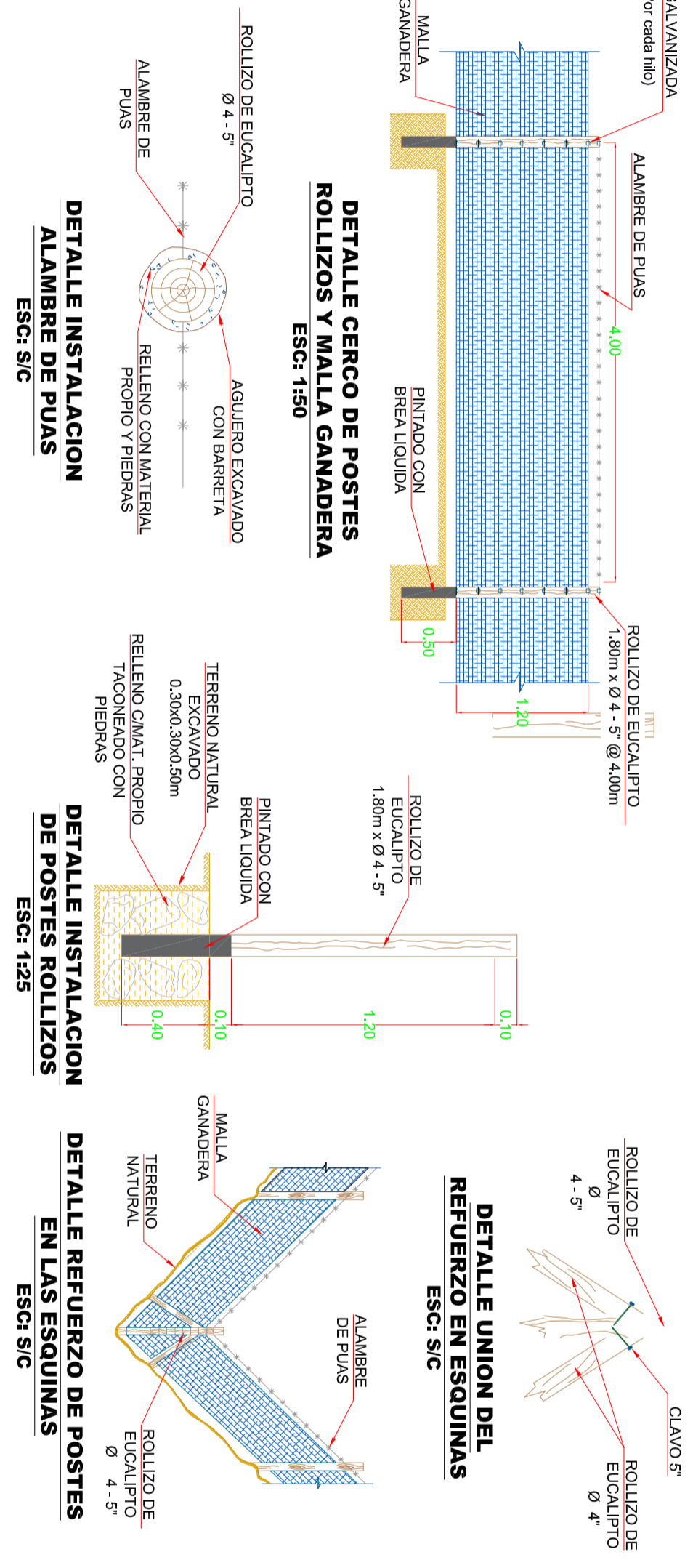
**CLAVOS DE ACERO**  
 Clavos de acero con cabeza de medidas 5" x 6".

**POSTES DE ROLLOZO DE EUCALIPTO**  
 Tendrán un Ø de 4 - 5" en la base y serán separados cada 4,00 m. Deberán estar secos, pelados y sin perforaciones por insectos. Serán pintado con brea líquida desde la parte inferior a ser enterrada y hasta 10 cm por encima del nivel de suelo.

### PLANO PLANTA

ESC: 1:15000

DESCRIPCION	SIMBOLO
AREA DE REVEGETACION	
AREA DE FORESTACION	
AREA DE ZANJAS	
CURVAS DE NIVEL	
AREA DE CERCO PERIMETRICO	



Ministerio de Agricultura y Riego

Programa de Desarrollo Productivo Agrario ACORRURAL

REPÚBLICA DEL PERÚ

ACORRURAL

**PROYECTO:** SERVICIO DE CONSULTORIA PARA LA ELABORACION DE FICHA TECNICA DE DETALLE TECNICO DE RECUPERACION DE PREDERAS DEL PROYECTO "MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE RECARGA HIDRICA Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN 14 DEPARTAMENTOS" (CUI N° 2916185)

---

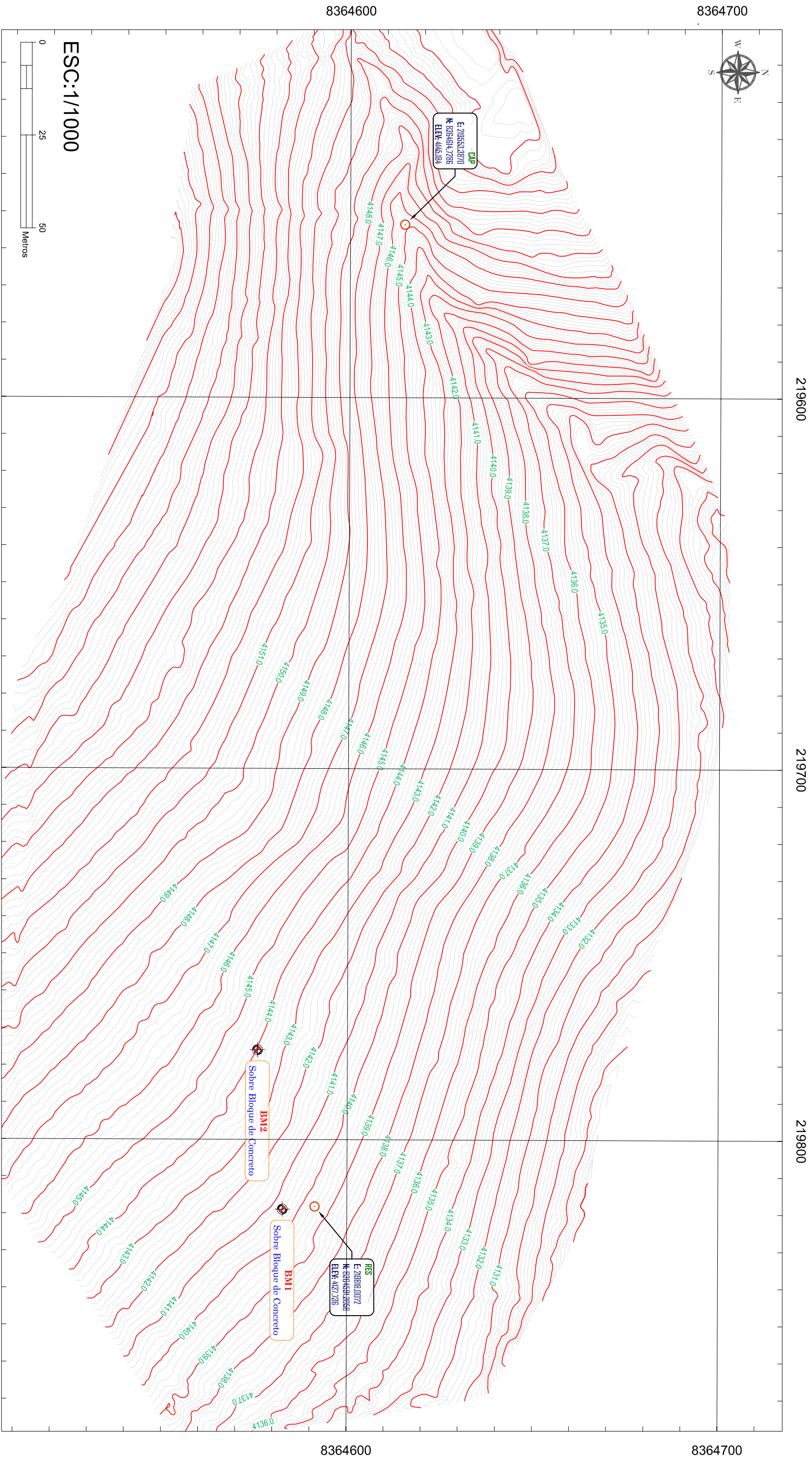
**PLANO:**

**PLANO DETALLADO DE CLAUSURA: MODULO WILLKY-HUAYLLANI.**

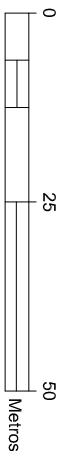
SECTOR : MICROREGIONA	CÓDIGO:	DISEÑO:	ESCALA:
HUANUCAMANO	SUC1-2022	ING. ELVIN CCAQUIRI	INDICADA
LOCALIDAD : MORCOILA	FECHA:	ING. SANTI	APROBADO:
DISTRITO : MORCOILA	MAYO, 2022	J. OROSOCO	ING.
PROVINCIA : SUYRE			
REGION : AYACUCHO			

**PT-03**

03 de 25



ESC:1/1000



UTM-WGS 1984 datum, Zone 19 South, Meter.

REPORTE DE BM'S				
PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACION	DESCRIPCION
BMI	8364582.611	219818.776	4.140.951	SOBRE BLOQUE DE CONCRETO
BM2	8364575.785	219775.835	4.143.766	SOBRE BLOQUE DE CONCRETO
CAP	8364614.729	219553.387	4.145.184	CAPTACION
RES	8364591.306	219818.007	4.137.736	RESERVORIO

LEYENDA	
DESCRIPCION	SIMBOLO
LINEA DE CONDUCCION	
CURVAS MAYORES	
CURVAS MENORES	
BM'S	

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural

AGRO RURAL

UNIDAD ZONAL CUSCO

---

PROYECTO: FICHA DE DETALLE TÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MICRORESERVORIOS Y DE INFRAESTRUCTURA MENOR DE RIEGO PARCELARIO DE LA MICROCUENCA QUERO - ESPINAR - CUSCO DEL PROYECTO "MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE REGARCA HIDRICA Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN 14 DEPARTAMENTOS" (CUI N°2516185)

---

**PLANO**

**PLANO TOPOGRAFICO: MICRORESERVORIO CHAHUINAPATA**

LAMINA

**PT-01**

01 de 01

---

SECTOR: YANACANCHA	CÓDIGO: CUS-2022-AMR15	ESCALA: INDICADA	REVISOR POR: APROBADO POR:
DISTRITO: COPALQUE	FECHA: OCT. 2022	FECHA: OCT. 2022	FECHA: OCT. 2022
PROVINCIA: ESPINAR	CAD: I. OROSOCO	CONSULTOR:	
REGION: CUSCO			