

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE  
QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Nuevas Herramientas Tecnológicas en Ingeniería  
Civil: Realidad Aumentada y Fotogrametría.**

**Proyecto de investigación**

**Lissette Anahí Galarza González**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de titulación presentado  
como requisito para la obtención  
del título de  
Ingeniero Civil

Quito, 18 de mayo de 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Nuevas Herramientas Tecnológicas en Ingeniería Civil: Realidad  
Aumentada y Fotogrametría.**

**Lisette Anahí Galarza González**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Gustavo Boada, Ing.

Firma del profesor

---

Quito, 18 de mayo de 2021

# Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Lissette Anahí Galarza González

Código: 00140178

Cédula de Identidad: 180476419-7

Lugar y fecha: Quito, 18 de mayo de 2021

# **Agradecimientos**

Expreso mi agradecimiento infinito a Dios nuestro creador por darme la vida y permitirme llegar a cumplir una de mis metas planteadas en mi vida. A mis padres, por su apoyo, ayuda incondicional en cada paso de mi carrera por que cada día me han demostrado con su cariño y amor que puedo contar en todo momento con ellos. A mi tutor Gustavo Boada que ha sido mi guía durante este tiempo de realización del proyecto de titulación. A mi amigo de México Daniel Alejandro Santiago con quien coincidimos en uno de los temas del presente trabajo y supo compartir sus experiencias, las que me sirvieron de guía para la instalación de la caja de arena.

# RESUMEN

Por medio del presente trabajo ponemos a disposición un manual de construcción y ensamblaje de modelos analógicos creados sobre una caja con arena conocida como “Sandbox”, así como su posterior calibración del hardware y software. Esta herramienta se constituye en una buena alternativa de aprendizaje, ya que mediante la realidad aumentada permite simular y visualizar en 3D, modelos con aplicaciones geomáticas para usos en topografía, carreteras, hidrología, generación de curvas de nivel, vulcanismo, dinámica fluvial y muchas aplicaciones más, que se proyectan sobre un plano de arena de sílice.

Adicionalmente se realiza un manual de ensamblaje y utilización de los equipos UAV y RTK, que sirven para levantamientos fotogramétrico y satelital respectivamente. Para el procesamiento de las fotografías se utilizará el programa Agisoft Metashape del que se obtendrá una nube de puntos, una ortofotografía, un ortomosaico y finalmente un modelo digital 3D con curvas de nivel. El resultado es el levantamiento fotogramétrico final que se puede utilizar para crear una planimetría. Con la aplicación y utilización de estos dos dispositivos se podrá determinar qué equipo es más versátil, y sobre hacer un análisis comparativo del nivel de confiabilidad y precisión que se puede lograr con cada equipo.

**Palabras claves:** Modelos analógicos, realidad aumentada, simulador geomático, topografía, caja de arena, aprendizaje interactivo, dinámica fluvial, fotogrametría, RTK, UAV.

## ABSTRACT

Through this work, we make available a manual for the construction and assembly of analog models created on a sandbox known as “Sandbox”, as well as its subsequent hardware and software calibration. This tool is an effective learning alternative because it allows the simulation and visualization of geomatic 3D models using the power of augmented reality. Representations of topography, roads, hydrological profiles, generation of contour lines, volcanism, fluvial dynamics and many other studies can be projected onto a sandbox containing silica sand.

Additionally, a manual for the assembly and use of UAV and RTK equipment will be produced, which are used for photogrammetric and satellite surveys, respectively. The photographs were processed using the Agisoft Metashape program, which generates a point cloud, an orthophotography, an orthomosaic and finally a digital 3D model with contour lines. The output is the final photogrammetric survey, which can be used to create a planimetry. With this program and the use of UAV and RTK equipment, it will be possible to determine which equipment is more versatile, as well as the working conditions and the topographic profiles under which each of them is more suitable. The performance of each method under different circumstances is quantified by means of a precision analysis with RTK and the photogrammetric survey.

**Key Words:** Analog models, augmented reality, geomatic simulator, topography, sandbox, interactive learning, river dynamics, photogrammetry, RTK, UAV.

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.2 Antecedentes .....	15
1.3 Justificación.....	18
1.4 Objetivo General.....	20
1.5 Objetivos Específicos .....	20
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>21</b>
<b>2. DESARROLLO DEL TEMA .....</b>	<b>22</b>
2.1 Marco Teórico.....	22
2.1.1 Construcción de la caja de arena.....	23
2.2.2 Instalación de software .....	24
2.2.3 Calibración de Kinect .....	25
2.2.4 Alinear Kinect sobre la caja de arena .....	25
2.2.5 Medición de la posición 3D de superficie de arena .....	30
2.2.6 Posición y configuración del proyector .....	33
2.2.7 Calibración de AR Sandbox.....	35
2.2.8 Calibración y ajustes del “nivel del mar” .....	41
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>46</b>
<b>3. DESARROLLO DEL TEMA .....</b>	<b>47</b>
3.1 Sistema de Posicionamiento Global (GNSS).....	47
3.2 Manual de uso para manejar dron PHANTOM 4 PRO G1 y sistemas de posicionamiento Global GNSS -RTK. ....	49
3.3 Pasos de instalación de la aeronave: .....	51
3.4 Manual de instalación del equipo RTK – GPS SOUTH Galaxy G1.....	56
3.5 Levantamiento Fotogramétrico.....	72
3.5.1 Plan de vuelo.....	73

3.6	Procesamiento de imagen .....	76
3.6.1	Procesamiento en Civil CAD 3D .....	87
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
<b>5.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>
<b>6.</b>	<b>ANEXO .....</b>	<b>100</b>

## *INDICE DE FIGURAS*

Figura 1: Esquema ilustrativo del funcionamiento del equipo Lara, G. (2017)..	24
Figura 2: Pantallas de calibración de Kinect y proyecto.	26
Figura 3: Caja de madera con cartón prensado para calibración.	27
Figura 4: Ventana de calibración para marco promedio.	28
Figura 5: Ventana de calibración para extraer planos.	28
Figura 6: Ventana de Kinect para calibrar los planos.	29
Figura 7: Ventana del terminal con la ecuación del plano espacial de la cámara Kinect.	29
Figura 8: Ventana de las ecuaciones del plano de los cuatro extremos.	30
Figura 9: Ventana de calibración para marco promedio.	31
Figura 10: Ventana de calibración para medir la posición 3D.	31
Figura 11: Ventana del terminal de las ecuaciones de los extremos.	32
Figura 12: Ventana de las ecuaciones del plano de los cuatro extremos.	33
Figura 13: Ventanas de la configuración de dimensiones de la proyección de imagen del Kinect y proyector.	34
Figura 14: Ventana de configuración de la pantalla para una mejor eficiencia del programa.	34
Figura 15: Ventana de configuración de la imagen que muestra el proyector.	35
Figura 16: Objetos de calibración para caja de arena.	36
Figura 17: Ventana para capturar los puntos de calibración.	37
Figura 18: Ventana de asignación para el botón de calibración.	38
Figura 19: Ventana roja que captura la imagen que se proyecta en caja de arena.	38
Figura 20: Plano de calibración manual.	39

Figura 21: Calibración de altura media en caja de arena. ....	40
Figura 22: Calibración de altura máxima en caja de arena. ....	40
Figura 23: Línea roja que muestra que la calibración ha concluido. ....	41
Figura 24: Icono de la aplicación de AR Sandbox. ....	41
Figura 25: Configuración del nivel del mar. ....	42
Figura 26: Ventana de calibración para ajustar el nivel del mar. ....	42
Figura 27: Ventanas del terminal donde se aproxima el valor del nivel del mar. ....	43
Figura 28: Visualización final de las curvas de nivel y generación del mar. ....	44
Figura 29: Esquema de la caja de arena armada. ....	45
Figura 30: Constelaciones Satelitales Cepeda Naula (2017). ....	48
Figura 31: Partes de equipo UAV con estuche de protección. ....	51
Figura 32: Sujetador de protección para estabilizar la cámara de dron. ....	51
Figura 33: Hélices del equipo UAV. ....	52
Figura 34: Correcta colocación de hélices en UAV. ....	52
Figura 35: Insertar batería en dron. ....	53
Figura 36: Insertar memoria LSD. ....	53
Figura 37: Encendido de batería dron. ....	54
Figura 38: Control remoto de dron. ....	54
Figura 39: Pantalla de visualización de dron. ....	55
Figura 40: Partes de aeronave UAV. ....	55
Figura 41: Partes de control remoto de aeronave UAV. ....	56

Figura 42: Equipo y partes del RTK. ....	57
Figura 43: Plantación de trípode y nivelación de equipo RTK. ....	57
Figura 44: Insertar baterías en estación base y móvil. ....	58
Figura 45: Colocación de equipos sobre trípode. ....	59
Figura 46: Partes de la estación base del equipo RTK. ....	59
Figura 47: Partes de la estación móvil del equipo RTK. ....	60
Figura 48: Navegador satelital del RTK. ....	61
Figura 49: Ilustración de aplicación FieldGenius usada para tomar las coordenadas. ....	61
Figura 50: Pantallas de configuración de escala y unidades. ....	62
Figura 51: Pantalla de visualización del sistema de coordenadas utilizadas. ....	63
Figura 52: Pantalla de visualización de lista de coordenadas UTM. ....	63
Figura 53: Creación de un nuevo proyecto para el levantamiento con RTK. ....	64
Figura 54: Enlace de señal con los GNSS y conexión del sensor por bluetooth. ....	64
Figura 55: Establecimiento de coordenadas y posicionamiento geodésico promedio. ....	65
Figura 56: Configuración de la posición de referencia e ingreso de la altura media. ....	66
Figura 57: Asignación del nombre del punto inicial (base). ....	67
Figura 58: Establecer el canal y protocolos de conexión. ....	67
Figura 59: Desconectar la conexión de estación base. ....	68
Figura 60: Enlazar nuevamente la conexión, pero ahora al receptor (Rover). ....	68
Figura 61: Escoger el tipo de instrumento a configurar (receptor móvil). ....	69
Figura 62: Establecer el canal y protocolos de conexión. ....	69

Figura 63: Establecer el mismo valor anterior de la altura de la antena al suelo. ....	70
Figura 64: Seleccionar la opción RTK Fijo y tomar los puntos de control del terreno. ....	71
Figura 65: Escoger la nomenclatura para los puntos levantados. ....	71
Figura 66: Ventana de visualización de los puntos de control tomados en el terreno. ....	72
Figura 68: Configuración de la ruta de vuelo. ....	75
Figura 69: Exportación de fotografías del levantamiento del terreno. ....	76
Figura 70: Convertir coordenadas geográficas a UTM. ....	77
Figura 71: Cambio de coordenadas a este, norte y altitud (m). ....	77
Figura 72: Orientación de fotos ....	78
Figura 73: Verificar que la nube dispersa de puntos este importada correctamente con la forma del terreno. ....	78
Figura 74: Importación de coordenadas tomadas con el equipo de posicionamiento RTK. ....	79
Figura 75: Verificar que los puntos de control estén correctamente seleccionados. ....	79
Figura 76: Generación de la nube de puntos densa. ....	80
Figura 77: Creación de la malla. ....	81
Figura 78: Crear modelo digital de elevación (DEM). ....	82
Figura 79: Creación de ortomosaico. ....	83
Figura 80: Exportación de formatos TIFF/BIL del modelo digital de elevación (DEM). ....	84
Figura 81: Visualización de curvas de nivel del modelo digital de elevación (DEM). ....	85
Figura 82: Exportación del ortomosaico a Google Earth. ....	86
Figura 83: Ubicar en Google Earth en tiempo real el ortomosaico exportado. ....	87

Figura 85: Exportación de la nube de puntos del terreno Alóag - Santo Domingo.....	88
Figura 86: Guardar el archivo creado de la nube de punto en la extensión “rcp”.....	88
Figura 87: Exportar a Civil CAD 3D el archivo del ReCap con extensión "rcp". .....	89
Figura 88: Configuración del estilo de superficie. ....	90
Figura 89: Imagen de la superficie y curvas de nivel del terreno de Alóag -lote 2.....	91
Figura 90: Generación de nube de puntos densa sin puntos de control.....	91
Figura 92: Medición del levantamiento con UAV + RTK (puntos de control). ....	93
Figura 93: Visualización de la correcta ubicación del Kinect y proyector. ....	96

## ***INDICE DE TABLAS***

Tabla 1: Coordenadas UTM de los puntos de control obtenidos con RTK. ....	92
Tabla 2: Diferencia de precisión de los equipos dron + RTK y solo dron. ....	94

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.2 Antecedentes

En el presente trabajo de titulación nos centraremos en la presentación de tres nuevas herramientas tecnológicas utilizadas en la ingeniería civil que son: realidad aumentada con la caja de arena AR Sandbox, fotogrametría con UAV y levantamiento topográfico con RTK.

Para la implementación de nuevas herramientas tecnológicas como la aplicación de un software interactivo de realidad aumentada denominado AR Sandbox, por sus siglas del inglés Augmented Reality Sanbox, traducido como “caja de arena de realidad aumentada”, se desarrollará un manual instructivo de la construcción, instalación y calibración que sirva como guía para su correcta utilización.

La caja de arena de realidad aumentada ha sido desarrollada por la University of California Davis W. M. y el Centro de Investigación Ambiental UC Davis Tahoe, el Lawrence Hall of Science y ECHO Lake Aquarium and Science Center y presentada en la reconocida revista European Institute of Innovation & Technology (EIT) a través del profesor Ing. Jaime Garbanzo, M.Sc. quién incorporó por primera vez el proyecto de una creativa “caja de realidad aumentada”, donde se expuso el sandbox de la superficie de la tierra para la modelación en 3D de curvas de nivel, relieves y en general para el estudio de la topografía e hidrología (Morales, 2017).

AR Sanbox, es un simulador geomático compuesto por una caja de madera en cuyo interior lleva arena que permite representar en realidad aumentada de una forma lúdica y dinámica para visualizar la topografía de la tierra a escala, donde los alumnos interactúan manipulando la arena, dando formas a los montículos mientras es proyectada sus respectivas curvas de nivel, lagos, perfil hidrográfico, inundaciones, represas, erupciones volcánicas, etc., permitiendo apreciar un mapa topográfico y el dinamismo de las corrientes fluviales, con una gama de colores que es asignado por el software del programa.

La caja de arena AR Sandbox está conformada por un soporte, en el cual se encuentra instalado un sensor de profundidad o cámara Kinect de videojuegos y un proyector a color, dirigidos hacia la caja de madera, donde se refleja el mapa topográfico con el relieve de la superficie de la arena, generado por el software, el mismo que recibe la información que envía la cámara, procesándolo para presentar el resultado final, transformado en capas de colores que representan la altitud de las montañas, valles, lagos, a escala real aumentada y que cambian según la manipulación de la arena, adoptando nuevas imágenes renderizadas que se proyectan en la superficie, al modificar indefinidamente el relieve.

Dentro del tema de la fotogrametría se detallará el procedimiento para levantamientos topográficos con equipos como; UAV (Unmanned Aerial Vehicle) que trata de un vehículo no tripulado denominado dron, con gran utilidad en levantamientos fotogramétricos y el navegador cinemático satelital en tiempo real denominado RTK (Real Time Kinematic), que sirven para realizar levantamientos en la ejecución de proyectos.

El UAV, es un dron o vehículo manejado a control remoto o siguiendo rutas preestablecidas. El registro de los primeros usos de un dron fue en la década de los 60, a inicios de la guerra fría, con la utilización del helicóptero DASH usado en el campo de batalla de los Estados Unidos para transportar torpedos o cargas nucleares para atacar a los submarinos. Posteriormente en los años 70 nace la versión Mk.2, tripulado por un piloto automático que volaba fuera de la línea de vista.

Con el transcurso de los años su utilidad se fue ampliando para diversos usos como; visualización de construcciones, investigaciones atmosféricas, levantamientos geodésicos, grabaciones de películas, localización de sitios de pesca, manutención de parques eólicos, control del medio ambiente y en el campo de la ingeniería civil con levantamientos topográficos, etc. Este equipo realiza mediciones por medio de fotografías en donde a través de la fotointerpretación se puede reconocer información bidimensional de objetos que sirven

como referencia para la toma de puntos estratégicos del levantamiento. La imagen que capta es una visión estereoscópica en 3D, es decir, va tomando fotos en tiempo real, donde el tamaño de cada pixel mide un micrón correspondiente a una millonésima parte de un metro.

Esta técnica permite que podamos recopilar datos gráficos de un terreno, edificación para poder realizar los levantamientos topográficos, arquitectónicos, croquis, etc. La precisión del dron es muy alta alrededor con una apreciación aproximada de 0.3 mm equivalente al grosor de una línea dibujada en papel. Gracias a su tecnología GNSS dispone de un sistema GPS que permite detectar coordenadas de cualquier superficie, guardándolas en un SD para luego ser exportadas a un PC donde se procesarán los datos y el posicionamiento de objetos que van a ser digitalizarlos.

Por otra parte, el procedimiento de posicionamiento RTK que se basa en un sistema de constelaciones de satélites receptores que luego emiten la ubicación a una estación de referencia que manda su posición para luego ser corregida en la estación base. De esta forma la base reprocessa su ubicación corregida las mismas que son comparadas con las mediciones de la estación de referencia (Castaña, 2017).

### **1.3 Justificación**

Para seguir a la vanguardia de las nuevas herramientas tecnológicas con aplicaciones en la ingeniería civil, se ha propuesto implementar la utilización de una caja de arena de realidad aumentada, RTK y UAV.

Mediante la construcción de una caja de realidad aumentada “AR Sandbox”, se busca recrear y conceptualizar de manera visual la comprensión de la topografía de un lugar, donde se pueda entender las curvas de nivel, su hidrología, cartografía, fenómenos geológicos como relieves, valles, mediante la construcción de modelos analógicos con la arena, utilizando sensores de movimiento y software informáticos que mapean líneas de igual elevación en la arena en tiempo real, denominadas curvas de nivel. Adicionalmente, se pueden modelar cuencas hidrográficas para luego simular nubosidades que permiten generar precipitaciones y analizar escorrentías de agua que forman causes de ríos, lagunas, posibilitando los usos en estudios de captación de canales de regadío, alcantarillas, diseño de represas, etc.

Con la utilización de los equipos UAV y RTK se busca ejemplificar de un levantamiento topográfico y fotogramétrico realizados con el dron y el equipo RTK respectivamente, para de esta manera elaborar dos manuales que sirvan de guía para la utilización de los equipos y complementar de esta manera con ejercicios prácticos los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas.

De esta manera se busca que los jóvenes que cursan los primeros semestres de la carrera de ingeniería civil de la Universidad San Francisco de Quito puedan complementar sus conocimientos adquiridos en clase, de asignaturas como: topografía, hidráulica, sanitaria y geología, entre otras materias, con la aplicación los sistemas Linux Mint y Ubuntu donde se desarrolla el software de realidad virtual así como el uso y familiarización de un manual de ensamblaje, calibración de hardware y software de la caja de arena, consiguiendo implementar modelos de curvas de nivel e hidrología en el sandbox. De igual manera los alumnos contarán

con dos herramientas de guía para levantamientos topográficos como son: el UAV en la fotogrametría y el sistema de posicionamiento RTK.

## **1.4 Objetivo General**

Implementación del sistema AR Sandbox de realidad aumentada, y elaboración de dos manuales que sirvan de guía para la utilización de los equipos fotogramétrico UAV y el sistema de posicionamiento RTK.

## **1.5 Objetivos Específicos**

- Crear un manual de construcción, programación y calibración de hardware y software que permita instalar el sistema AR Sandbox o reinstalarlo y calibrarlo cuando se lo ha cambiado de lugar.
- Construir y ensamblar una caja de arena que permita mediante la realidad aumentada, visualizar y modelar la topografía de la tierra en 3D.
- Implementar una caja de arena, que se constituya en una innovadora herramienta para la aplicación de nuevas metodologías educativas que sirvan como apoyo para que estudiantes y docentes interactúen mediante aprendizajes en 3D al incorporar este equipo a los laboratorios.
- Ejemplificar la utilización de un equipo RTK y UAV en los levantamientos topográficos.
- Realizar un análisis de precisión con RTK y el levantamiento fotogramétrico (UAV).

**CAPITULO I**

**CAJA DE ARENA DE REALIDAD AUMENTADA**

**(AR SANDBOX)**

## **2. DESARROLLO DEL TEMA**

### **2.1 Marco Teórico**

Para la ejecución de AR Sandbox se requiere de una combinación de aplicaciones de visualización 3D, instalaciones de software y calibración de equipos para que, de esta manera, puedan ir ligados con la demostración práctica al hacer uso de la caja de realidad aumentada.

La caja de arena permite que las personas creen modelos de topografía, simulaciones de agua con aplicaciones de conceptos sobre la geología, hidráulica y geodesia.

Para obtener una proyección del mapa topográfico en escala real aumentada, es necesario que el equipo cuente con un ensamblaje correcto y su debida calibración. Para esto se necesita ejecutar el programa en cualquier versión de Linux.

Los mapas topográficos mostrados a través del Kinect Xbox 360, permiten visualizar un paisaje tridimensional como curvas de nivel seccionadas por diferentes colores en una superficie bidimensional. Cada curva de nivel constituye la misma elevación o altura sobre un punto de referencia, en este caso el nivel del mar. En otras palabras, moverse de una curva de nivel a la siguiente representa un aumento o disminución de elevación, tomando en cuenta que, si estas se encuentran más unidas, quiere decir que el terreno tiene una mayor pendiente, por tanto, es empinado. Lo contrario, cuando las curvas de nivel se encuentran más separadas, representa que estamos en una planicie con poca pendiente.

A continuación, se enlistarán los pasos a seguir para una adecuada fabricación, instalación y calibración de los equipos y programas necesarios para la utilización de la AR Sandbox.

### 2.1.1 Construcción de la caja de arena.

Para la correcta construcción y ejecución de la caja de realidad aumentada “AR Sandbox”, a continuación, se enlistará el proceso y los requerimientos necesarios:

- Un proyector: Epson con soporte de metálico regulable de precisión.
- Un XBox Kinect 360 apuntando hacia la arena.
- Un Adaptador USB Kinect (Debe tener un adaptador para conectarlo a la computadora, no hacerlo de manera directa).
- Tarjeta de video de alta calidad para renderizado rápido: NVIDIA GeForce GTX 1070
- Computadora con Core I5 o I7 con menos de 3GHz.
- Sistema operativo Linux Mint ejecutado con Ubuntu 14.01 o 16.04 desde esa versión en adelante.
- Caja de arena de dimensiones (100 cm x 70 cm)
- Arena cinética, con al menos 12 cajas o arena blanca brillante o (White Play Sand, se recomienda 150 a 200 lbs).
- 1 – 4x8 pie de hoja de madera contrachapada de 3/4 de pulgada.
- 2 – 4x4 pulgadas; 8 pies de largo.
- 25 - Perno hexagonal de 3/8 pulgadas x 5 pulgadas.
- 25 - tuerca de 3/8 de pulgada.
- 50 - arandelas de 3/8 de pulgada.
- 4 - Ruedas para muebles de alta resistencia.
- Soportes metálicos regulables para sujetar el proyector y el Kinect.

Sobre la caja de arena se sujetan dos soportes metálicos, uno para el Kinect y el otro para el proyector como se muestra en la siguiente figura.

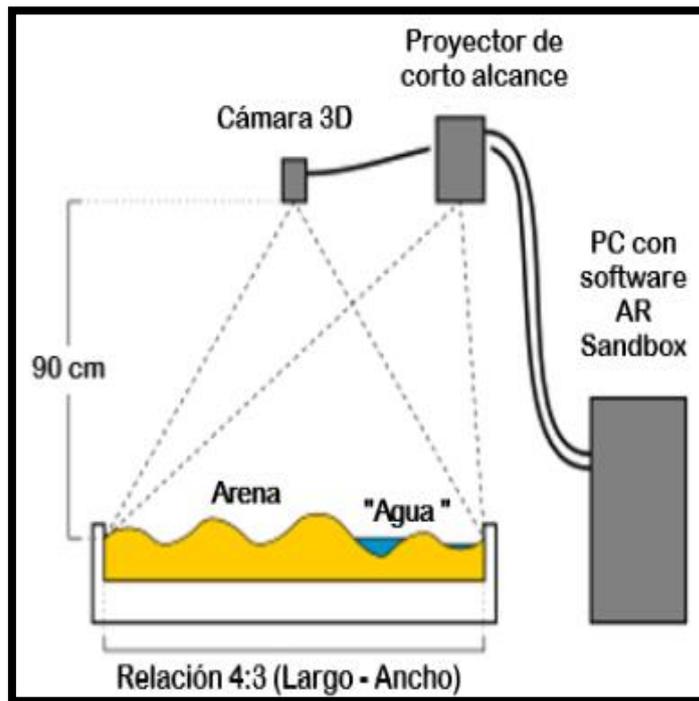


Figura 1: Esquema ilustrativo del funcionamiento del equipo Lara, G. (2017).

El Kinect posee un sensor de profundidad 3D y una cámara RGB infrarroja que captura 30 fotogramas por segundo, permitiendo que la renderización de la proyección de las curvas de nivel y gama de colores se realicen de forma inmediata.

### 2.2.2 Instalación de software

Agregar un PPA necesario y seguidamente instale el programa abriendo un terminal y ejecutando los tres comandos:

```
sudo add-apt-repository -ys ppa:system76-dev/weekend-project
sudo apt-get update
sudo apt-get install arsandbox
```

Al ejecutar este comando en la terminal, le permitirá conocer el nombre de usuario.

```
whoami
```

Es necesario agregar al `Vrui-grp` grupo con este comando, sustituyendo

`USERNAME`

Con el nombre de usuario devuelto por el

`whoami`

comando anterior:

```
sudo adduser USERNAME vrui-grp
```

A continuación, proceda a reiniciar su computador para que la instalación se ejecute satisfactoriamente.

### 2.2.3 Calibración de Kinect

Para la utilización del programa se necesita calibrar adecuadamente la caja de arena siguiendo los siguientes pasos:

Conecte su dispositivo Kinect de primera generación, luego abra un terminal y ejecute:

```
KinectUtil getCalib 0
```

Al efectuar el anterior paso, te permitirá descargar los lineamientos de calibración intrínseca de manera inmediata del firmware de su Kinect, para luego escribir el resultado en un archivo `/etc/Vrui-3.1/Kinect-2.8/`.

### 2.2.4 Alinear Kinect sobre la caja de arena

Antes de comenzar la instalación es importante familiarizarse con el programa y los comandos que se utilizan para tener un buen funcionamiento de la interfaz de usuario Vrui.

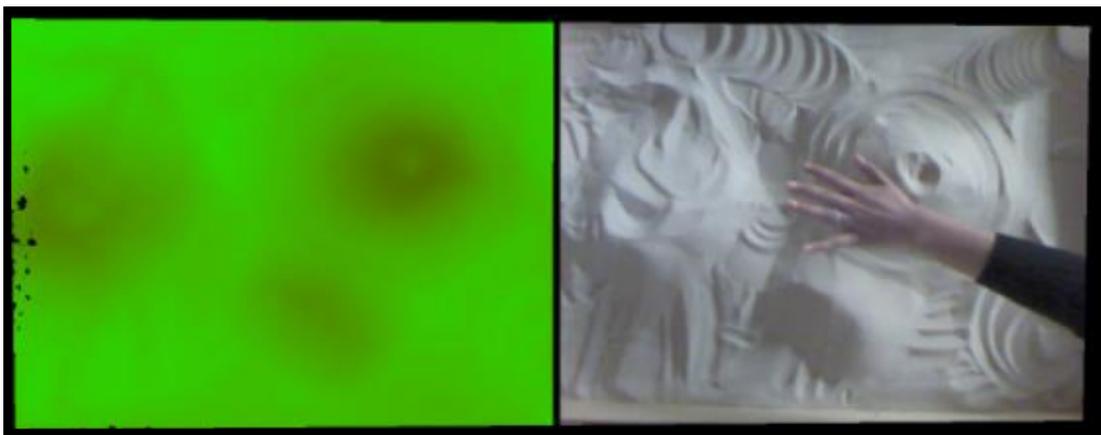
1. Mantener presionado el botón derecho del mouse para que aparezca el menú principal de la aplicación.

2. Para mover la pantalla y alinear correctamente la imagen del Kinect, se debe mantener presionado el botón izquierdo del mouse y ubicarse correctamente con el plano cartesiano que se aparece.
3. Con la tecla “Z” presionada y con el movimiento del mouse se puede movilizar las pantallas de visualización durante el espacio de trabajo.
4. Aplastando el scroll del mouse se puede acercar o alejar la imagen.

Para iniciar con la instalación y alineación del Kinect se ejecuta el siguiente comando:

```
RawKinectViewer -compress 0
```

Seguidamente, las imágenes que se presentan son la visualización de la caja de arena al estar conectado al programa, donde al lado izquierdo se presenta la vista estándar de la cámara que sirve para alinearla con la Kinect y del otro costado (derecho), se observa la vista de profundidad de la caja.



*Figura 2: Pantallas de calibración de Kinect y proyecto.*

Cabe recalcar que la caja de arena de realidad aumentada solo utiliza la vista a profundidad que es la que deberá cubrir por completo el interior de la misma como se muestra en la imagen.

El siguiente paso te permitirá calcular el plano base en el que se utilizará como referencia las dimensiones de la caja de arena. Para esto, se deberá colocar encima de la caja un cartón prensado de preferencia de 3mm de espesor para que no se doble, que sirva para realizar las mediciones como se observa en la fotografía.



*Figura 3: Caja de madera con cartón prensado para calibración.*

Posteriormente se da clic en inicio de RawKinectViewer:

RawKinectViewer -compress 0

Presionar la tecla derecha del mouse donde se desplegará la siguiente ventana y con el cursor seleccionar la opción:  (Marco promedio).

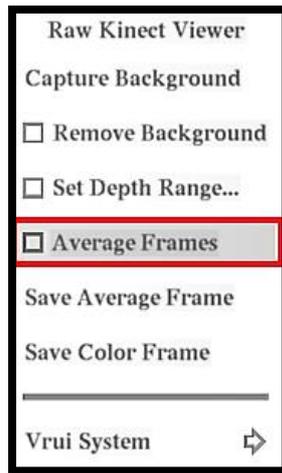


Figura 4: Ventana de calibración para marco promedio.

Seguidamente, con la tecla F presionada, movilizarse con el mouse y seleccionar la opción

Extract Planes (Extraer planos).

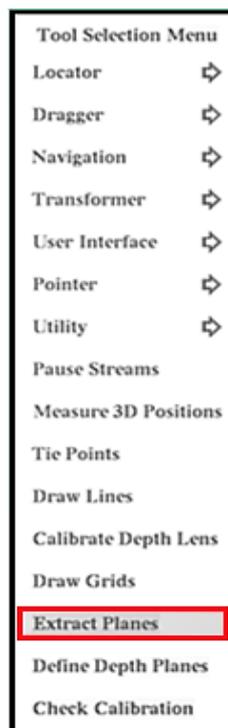
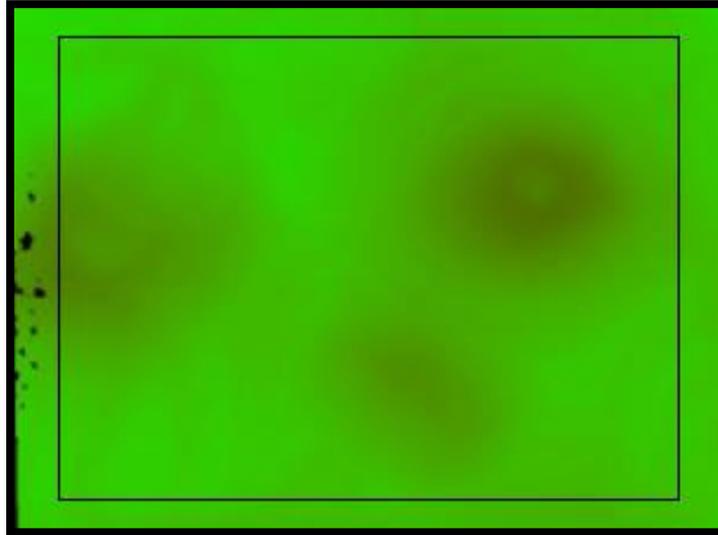


Figura 5: Ventana de calibración para extraer planos.

En su pantalla, mantenga presionada la tecla 1 y trace un rectángulo de dimensiones considerables que permita que el rectángulo quede en el interior de la superficie plana dejando un margen en sus extremos.



*Figura 6: Ventana de Kinect para calibrar los planos.*

A continuación, visualizará que se imprimen las dos líneas de las cuales deberá copiar la segunda. En caso de que no se realice correctamente la toma de puntos se puede modificar más adelante en el documento “txt”.

```
usuario@usuario-Inspiron-5567:~/src/SARndbox-2.7$ RawKinectViewer -compress 0
RawKinectViewer: Connected to 3D camera with serial number A70771700086338A
zzApproximation residual: 10860.5
Depth-space plane equation: x * (0.0083956, -0.453483, 0.891226) = 438.682
Camera-space approximation RMS: -nan
Camera-space plane equation: x * (-0.00967349, 0.522507, 0.85258) = -61.6127
```

*Figura 7: Ventana del terminal con la ecuación del plano espacial de la cámara Kinect.*

Ejecute el comando modificando el `BoxLayout.txt` como se muestra a continuación:

```
gedit /etc/SARndbox-1.6/BoxLayout.txt
```

Proceda a pegar la línea copiada anteriormente en el primer renglón del archivo

`BoxLayout.txt` cambiando el signo igual (=) por una coma (,).

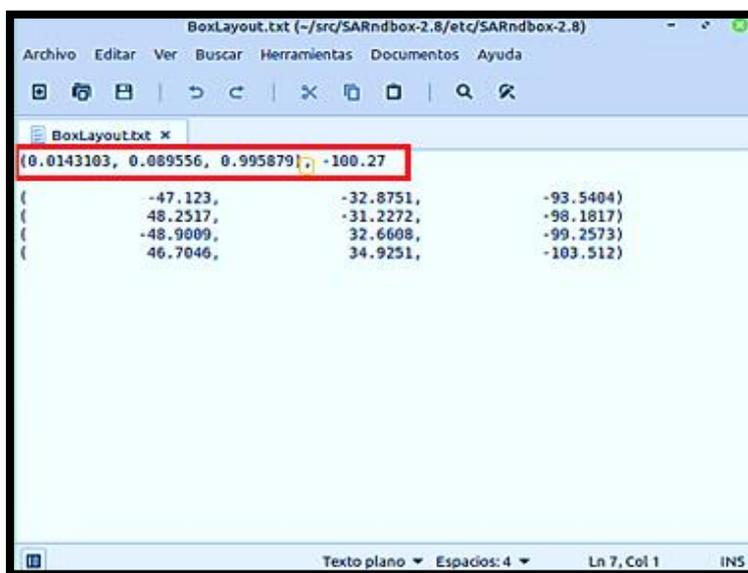


Figura 8: Ventana de las ecuaciones del plano de los cuatro extremos.

Finalmente, guarde el documento y cierre `Gedit`.

## 2.2.5 Medición de la posición 3D de superficie de arena

Para poder efectuar el siguiente paso se requiere quitar la cartulina que se ocupó para la alineación del Kinect y se procede a llenar la caja con la arena blanca brillante, asegurándose que se encuentre lo más firme y recta posible.

Se repite nuevamente el proceso anterior, iniciando la ejecución del “RawKinectViewer”. Seguidamente, Presionar la tecla derecha del mouse donde se desplegará la siguiente ventana, donde se debe seleccionar la opción: `Average Frame` (Marco promedio).

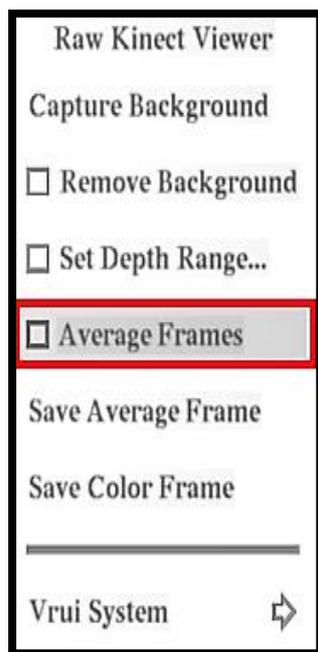


Figura 9: Ventana de calibración para marco promedio.

Se mantiene presionada la tecla 1 mientras se da clic en la opción

Measure 3D Positions

(Medir posición 3D)



Figura 10: Ventana de calibración para medir la posición 3D.

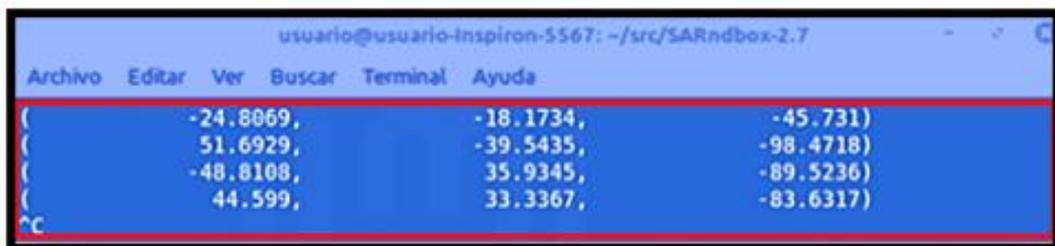
Medir las extensiones 3D del interior del arenero y utilice el mapa de profundidad codificado por colores para poder guiarse que el cursor esté apuntando sobre la arena, respetando el margen que se dejó en los extremos.

A continuación, se calibrará las distancias de la caja de arena con relación al Kinect siguiendo los siguientes pasos:

- Mueva el mouse hacia la esquina inferior izquierda en el interior de la caja y oprimir la tecla F.
- Mueva el mouse hacia la esquina inferior derecha en el interior de la caja y oprima la tecla F.
- Mueva el cursor hacia la esquina superior izquierda en el interior de la caja y oprima la tecla F.
- Mueva el cursor hacia la esquina superior derecha en el interior de la caja y oprimir la tecla F.

Finalmente, pulse la tecla Escape (Esc) para salir de `RawKinectWiewe`

En la pantalla siguiente, aparecerán cuatro líneas impresas de las cuales deberá copiarlas.



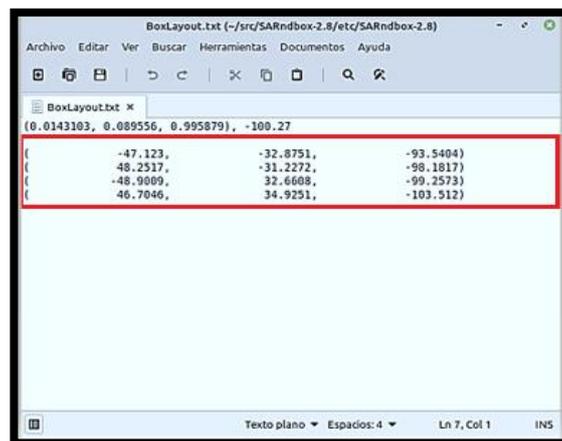
```
usuario@usuario-Inspiron-5567: ~/src/SARndbox-2.7
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
( -24.8069, -18.1734, -45.731)
( 51.6929, -39.5435, -98.4718)
( -48.8108, 35.9345, -89.5236)
( 44.599, 33.3367, -83.6317)
^C
```

Figura 11: Ventana del terminal de las ecuaciones de los extremos.

Cambie el archivo `BoxLayout.` y corra este comando para que se quede guardado la última actualización.

```
gedit /etc/SARndbox-1.6/BoxLayout.txt
```

Sustituya las cuatro líneas inferiores con la que copió en el paso anterior como se muestra a continuación. En este caso modificar las coordenadas de ser necesario como se muestra a continuación para conseguir una correcta toma de alturas desde el Kinect hacia la caja de arena.



*Figura 12: Ventana de las ecuaciones del plano de los cuatro extremos.*

Guarde el documento y cierre  .

## 2.2.6 Posición y configuración del proyector

Colocar el proyector cuidadosamente de manera vertical apuntando hacia abajo con vista a la caja de arena. Encienda el proyector y la vista del Kinect para proceder a su configuración como se muestra a continuación:

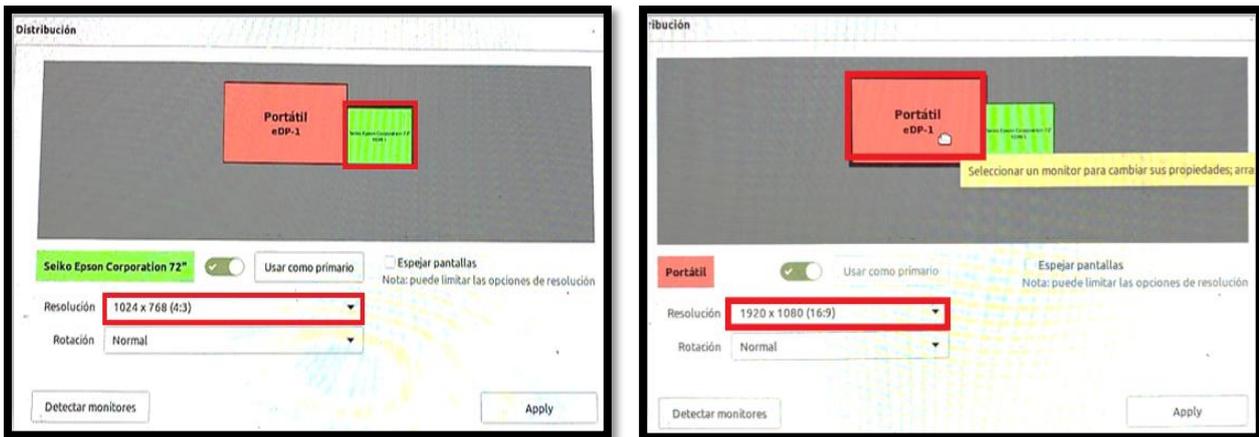


Figura 13: Ventanas de la configuración de dimensiones de la proyección de imagen del Kinect y proyector.

Asegurese de que se encuentra activada las opciones que se visualizan en la pantalla para poder trabajar de manera más rápida y eficiente.

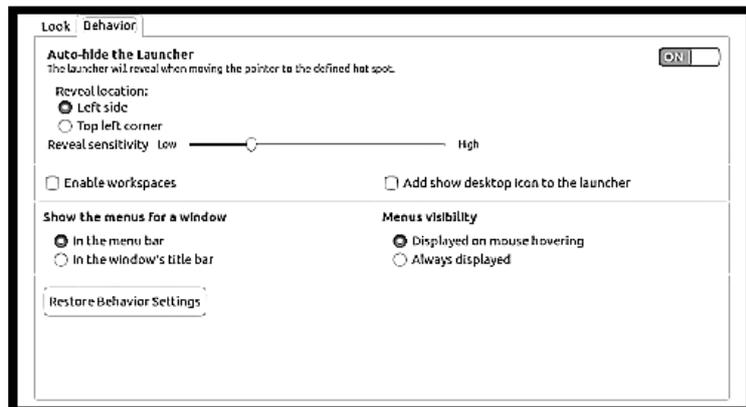
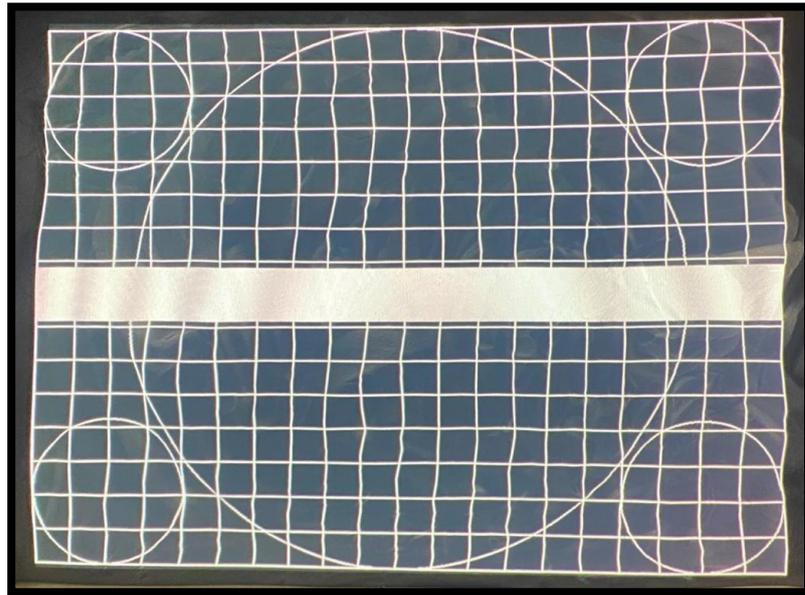


Figura 14: Ventana de configuración de la pantalla para una mejor eficiencia del programa.

Inicie con la herramienta XBackground



Asegurese de que la visualización del proyector cubra por completo la caja de arena presionando la tecla F11. Una vez configurado, cierre la aplicación *XBackground*.



*Figura 15: Ventana de configuración de la imagen que muestra el proyector.*

### **2.2.7 Calibración de AR Sandbox**

Para poder calibrar nuestro Ar Sandbox, necesitamos elaborar un elemento que nos sirva como alineación para las diferentes alturas y que nos permita colocarlo de manera dispersa sobre la caja de arena.



*Figura 16: Objetos de calibración para caja de arena.*

Por lo tanto, para construir un objeto de alineación necesitamos de una cinta de embalaje, cartulina, un porta CD o DVD como se muestra en la imagen.

Trazamos dos líneas perpendiculares sobre la cartulina que formen un ángulo de  $90^\circ$  entre ellas y lo pegamos sobre el porta CD asegurándonos de que esté centrada. Finalmente, recortamos la cartulina con la misma forma circular.

Adicionalmente los rollos de cinta nos servirán como separadores que serán colocados encima de la caja de arena para poder alinearlos con la retícula.

Para realizar la calibración de las alturas es necesario que en cada altura se capture 12 puntos de amarre. Es decir que, para tener una calibración aceptable, al menos se debe tomar dos alturas que constan de 24 puntos. Lo recomendable para tener una calibración precisa es que adicionalmente se debe tomar capturas en los puntos de conexión de la retícula a diferentes alturas generando en total 36 puntos de conexión.

Seguidamente se muestra la ejecución del proceso:

1. Inicie el programa

CalibrateProjector .

```
CalibrateProjector -s WIDTH HEIGHT
```

2. Configurar el ancho y la altura que se puede ver por la imagen del proyector tomando en cuenta el Kinect que usted posee. Por lo general el Kinect trabajara con una relación de aspecto 4:3 con una resolución de 1024 x 768 o 1600 x 1200.
3. Asegúrese que la resolución coincida con la de su PC. En este caso la resolución del proyector es de 1920 x 1080 mientras que el proyector BenQ nos permitirá forzar hasta 4:3.

```
CalibrateProjector -s 1920 1080
```

4. Presione la tecla 1 mientras selecciona la opción  (Capturar).



*Figura 17: Ventana para capturar los puntos de calibración.*

5. Pulse la tecla 2 al momento que aparezca el siguiente cuadro de diálogo para capturar la imagen de fondo. Inmediatamente le aparecerá la visualización del proyector sobre la caja de arena de color naranja.

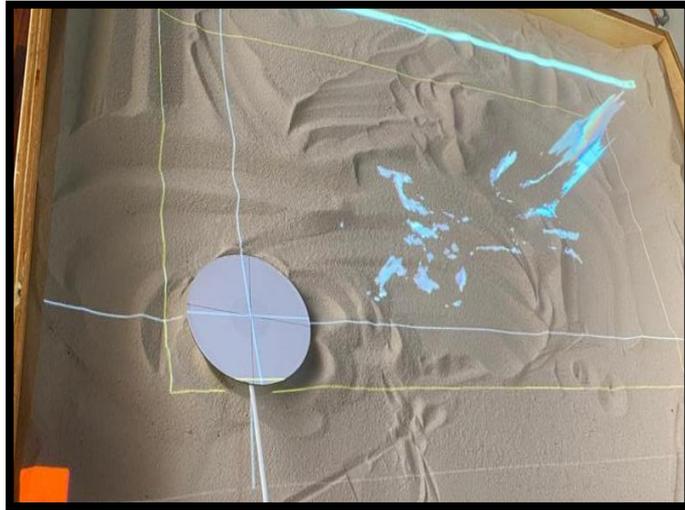


*Figura 18: Ventana de asignación para el botón de calibración.*



*Figura 19: Ventana roja que captura la imagen que se proyecta en caja de arena.*

6. Capturar los puntos de intersección o cruces que se forman entre la retícula. Inicie con una altura lo más baja posible. Para este caso se puede utilizar como separador el mismo grosor del CD o DVD.
7. Alinee correctamente la cruz de la cartulina con la intersección blanca que se proyecta en la caja de arena y capture los puntos de enlace pulsando la tecla 1.



*Figura 20: Plano de calibración manual.*

8. A continuación, el software moverá de manera automática las cruces para la toma del siguiente punto de enlace. Este proceso lo realizará 11 veces capturando las 11 cruces a la misma profundidad. Sabrá que ha finalizado con la primera altura cuando el programa vuelva a la posición de partida con la que realizó la primera captura.
  
9. Finalizada la toma de la primera altura, se procede a incrementar el grosor del espaciador para la segunda toma (altura media). Para este caso utilizaremos el grosor de una cinta de embalaje y alinearemos de igual manera que en el paso anterior con la cruz blanca proyectada, capturando la toma del punto de enlace al presionar la tecla 1.



*Figura 21: Calibración de altura media en caja de arena.*

10. Después de haber tomado los 11 puntos de intersección correspondientes a la altura media, se incrementará el grosor del espaciador con una cinta de embalaje adicional colocada una encima de la otra (altura máxima).
11. Para finalizar, se realiza la última alineación como se muestra en la siguiente imagen oprimiendo la tecla 1 para capturar el punto de intersección entre las líneas y de la misma manera se toma los 11 puntos de intersección correspondientes a la altura máxima.

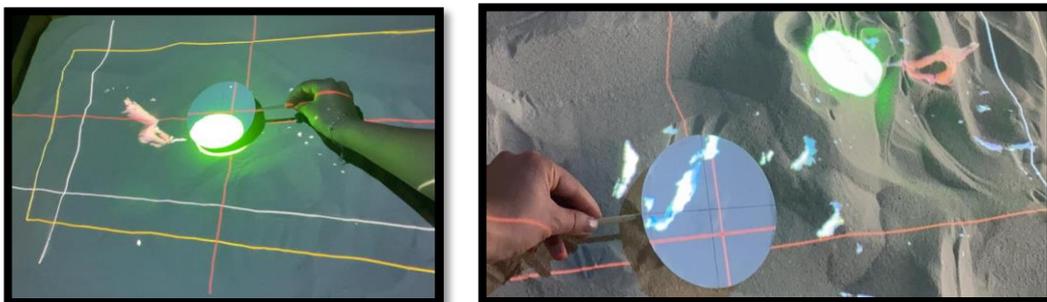


*Figura 22: Calibración de altura máxima en caja de arena.*

Al presionar la tecla *Esc*, automáticamente se generará un archivo de calibración

```
/etc/SARndbox-2.8/ProjectorMatrix.dat
```

Finalmente, una forma de asegurarse que la calibración se realizó correctamente, es cuando aparece una línea roja (ejes de plano cartesiano) sobre la arena al momento de colocar el círculo de papel con el que se calibró.



*Figura 23: Línea roja que muestra que la calibración ha concluido.*

### 2.2.8 Calibración y ajustes del “nivel del mar”

1. Inicie la aplicación de Sandbox en el tablero de su pantalla de Linux.



*Figura 24: Icono de la aplicación de AR Sandbox.*

2. Si en el paso anterior de calibración utilizó una cartulina plana con la altura estipulada, se visualizará en la siguiente fotografía que el nivel del mar es demasiado alto. Por lo tanto, necesita ajustar el nivel del mar.

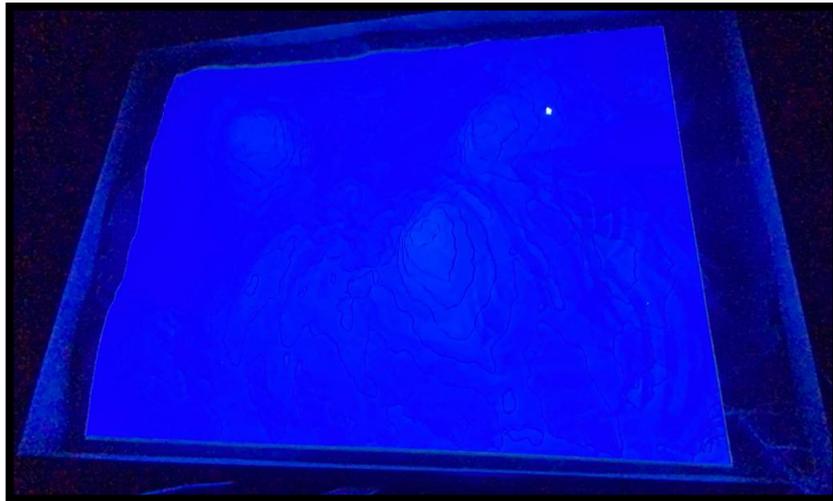


Figura 25: Configuración del nivel del mar.

3. Para regular el nivel del mar edite el archivo como se muestra a continuación

`/etc/SARndbox-2.8/BoxLayout.txt` y ejecútelo para que corra el programa.

```
gedit /etc/SARndbox-1.6/BoxLayout.txt
```

4. El valor resaltado en la imagen `-95.9598` te permite controlar la altura del nivel del mar siendo necesario reajustarla a un valor que sea más pequeño que el mostrado en la cuarta línea del final.

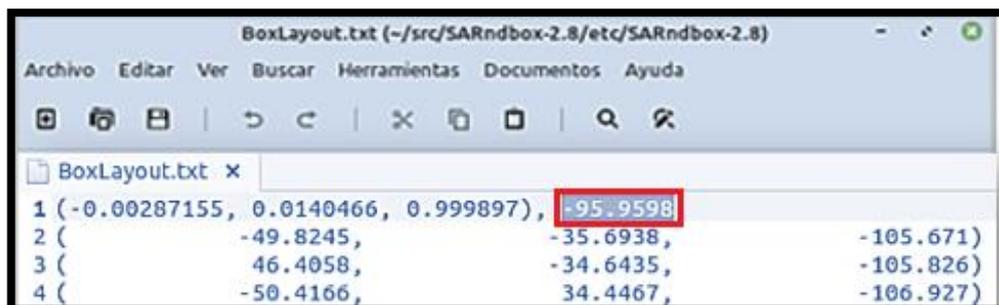


Figura 26: Ventana de calibración para ajustar el nivel del mar.

Para nuestro ejemplo el valor más pequeño es  , de esta manera se reajusta el nivel del mar a  aproximandolo a un valor entero. Cabe recalcar que el valor **-106.927** no es fijo, pero es una buena referencia para dar una primera estimación de la altura del nivel del mar. (Usted es libre de cambiarlo de acuerdo a sus consideraciones).

```

BoxLayout.txt (-/src/SARndbox-2.8/etc/SARndbox-2.8)
Archivo  Editar  Ver  Buscar  Herramientas  Documentos  Ayuda
[Icons]
BoxLayout.txt x
1 (-0.00287155, 0.0140466, 0.999897), -95.9598
2 (          -49.8245,          -35.6938,          -105.671)
3 (           46.4058,          -34.6435,          -105.826)
4 (          -50.4166,          34.4467,          -106.927)
5 (           46.4403,          35.8731,          -106.751)

```

```

BoxLayout.txt (-/src/SARndbox-2.8/etc/SARndbox-2.8)
Archivo  Editar  Ver  Buscar  Herramientas  Documentos  Ayuda
[Icons]
*BoxLayout.txt x
1 (-0.00287155, 0.0140466, 0.999897), -107
2 (          -49.8245,          -35.6938,          -105.671)
3 (           46.4058,          -34.6435,          -105.826)
4 (          -50.4166,          34.4467,          -106.927)
5 (           46.4403,          35.8731,          -106.751)

```

Figura 27: Ventanas del terminal donde se aproxima el valor del nivel del mar.

5. Guarde el archivo y cierre la ventana.
6. Verifique que se efectuó correctamente el paso anterior y abra nuevamente la aplicación  .
7. Proceda a correr el programa de la simulaci[on de curvas de nivel con el comando

```

./bin/SARdbox -uhm -fpv -ws 0.0 0

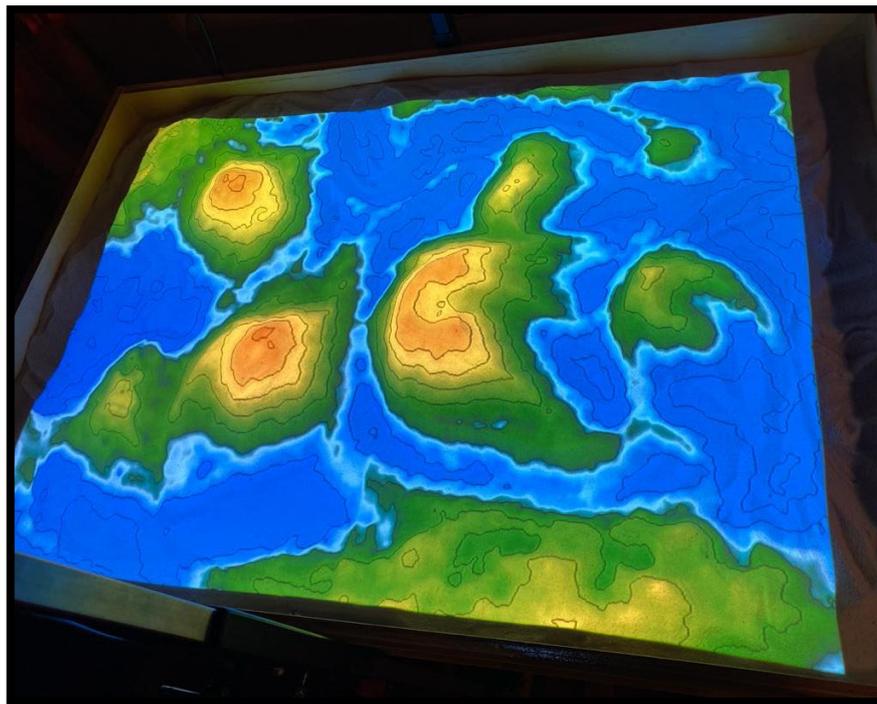
```

Este código evitará que se genere la simulación del escurrimiento de agua en caso de no contar con una computadora que tenga una tarjeta de video de alta gama.

8. Si se desea que en la aplicación ARSandbox se generen las curvas de nivel y adicionalmente se ejecute el escurrimiento se utilizará el comando mostrado:

```
./bin/SARdbox -uhm -fpv
```

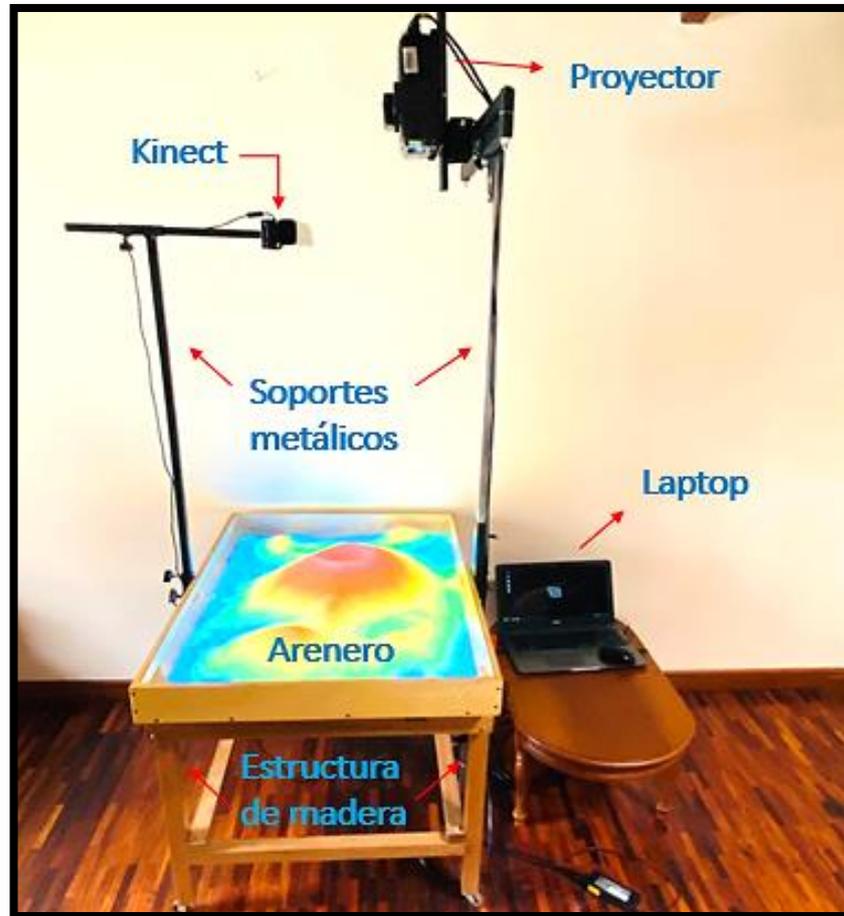
Finalmente, corrida la aplicación maximice la ventana con la tecla “F11” para visualizar completamente la proyección del mar en la caja de arena como se muestra en la fotografía:



*Figura 28: Visualización final de las curvas de nivel y generación del mar.*

Una vez concluida la calibración, el programa está en capacidad de proyectar las curvas de nivel mostrando una gama de colores que da a al relieve topográfico una sensación visual en 3D. Esta gama de colores varía desde el blanco para las cumbres nevadas, el rojo para cimas y laderas altas, el naranja- amarillo para laderas, el verde claro para llanuras y el verde oscuro

para quebradas. Las tonalidades azul y celeste proyectan lagos, humedales y ríos como se muestra en la Figura 29.



*Figura 29: Esquema de la caja de arena armada.*

**CAPITULO II**

**FOTOGRAMETRIA CON UAV Y SISTEMA DE**

**POSICIONAMIENTO RTK**

### **3. DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1 Sistema de Posicionamiento Global (GNSS).**

Es de suma importancia comprender que son y para qué sirven los Sistemas Satelitales de Navegación Global (Global Navigation Satellite System) ya que nos permiten el enlace satelital con los equipos RTK y UAV para realizar los levantamientos en campo.

Los GNSS, son un conjunto de sistemas pasivos de posicionamiento agrupados por las constelaciones de satélites más conocidos como: El GPS de Estados Unidos con 31 satélites, el BeiDou de China con 35 satélites, el QZSS de Japón con 4 satélites, el Galileo de la Unión Europea con 26 satélites, el GLONASS de Rusia con 27 satélites y el NavIC de la India con 7 satélites, los cuales permiten transmitir la señal a nivel global de manera precisa y en tiempo real ya sea en mar, tierra o aire.

Estos sistemas de navegación se basan en emisiones de radiofrecuencia satelital transmitidas mediante el conjunto de satélites a todo el planeta tierra para ser receptada por radios bases y receptores entre el más conocido, pero no el único, el GPS. Estos equipos permiten establecer las coordenadas geográficas y altitudes de un lugar en específico, las que son obtenidas mediante la señal que emiten las constelaciones de los satélites que se encuentran orbitando alrededor del planeta, en este caso, se pueden utilizar para planimetrías, altimetrías, levantamientos topográficos y fotogramétricos, entre otros.

La red de sistemas de navegación satelital tiene tres componentes importantes: el segmento espacial, el control mediante equipos receptores y el operador o usuarios. En los segmentos espaciales se encuentran los satélites de comunicación como de navegación quienes constituyen un sistema, mientras que el control hace referencia a las estaciones que se encuentran orbitando en la tierra, las cuales reciben información de equipos emisores para luego enviarla nuevamente hacia los usuarios.

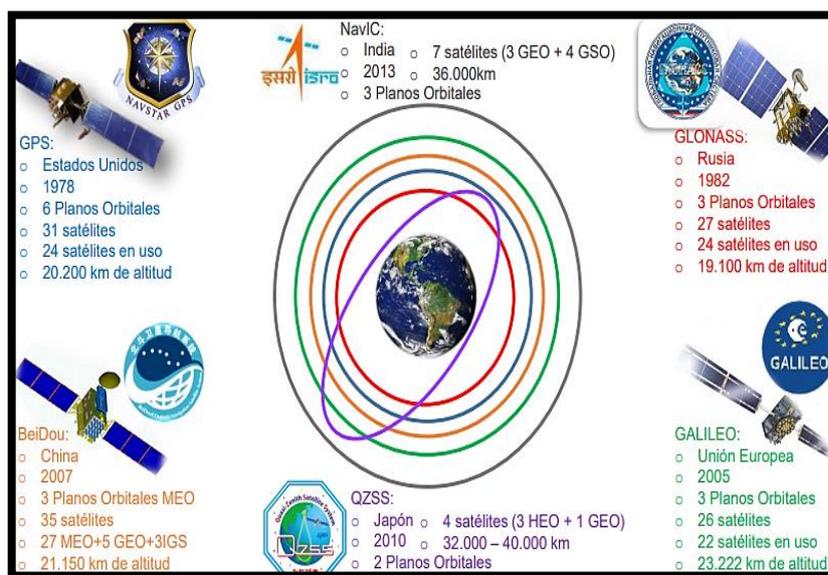


Figura 30: Constelaciones Satelitales Cepeda Naula (2017).

En el proyecto de titulación está presente la utilización de los sistemas satelitales ya sea en el equipo RTK para determinar las coordenadas del receptor (base) y móvil o para sincronizarse con el sistema GPS que tiene incorporado en su interior el dron.

Este sistema de red satelital, radio base terrestre y receptores GPS, posibilita a que cualquier equipo que cuente con la tecnología de navegación, pueda recibir la señal de posicionamiento y localización desde cualquier parte del mundo.

### **3.2 Manual de uso para manejar dron PHANTOM 4 PRO G1 y sistemas de posicionamiento Global GNSS -RTK.**

En la actualidad el mundo se ha visto inmerso en una serie de cambios, entre los más significativos son en el área de la medicina, la mecatrónica, los avances tecnológicos como la implementación de GNSS, nano robots, transporte de levitación magnética, teléfonos inteligentes, drones, etc., con aplicaciones en la implementación de nuevos dispositivos tecnológicos como: el nivel, el teodolito, estación total y dispositivos más exactos como los drones, RTK, con los que se pueden realizar fotogrametrías.

A continuación, nos centraremos en investigar los beneficios que podemos obtener de un dron asociándolo al ámbito de la ingeniería civil para de esta manera poder conocer su uso y su funcionamiento a través de una guía ejemplificadora de indicaciones claves que ayudarán a sintetizar su adecuado manejo.

El dron es un vehículo aéreo pequeño no tripulado que sobrevuela por medio de un control remoto. Este artefacto es de gran utilidad porque permite desplazarse en el aire a grandes distancias con la facilidad de llegar a lugares de difícil acceso. Tiene una potente cámara de video de alta resolución que permite mostrar en tiempo real imágenes aéreas con la finalidad de tomar un sinnúmero de puntos y localizaciones para poder realizar un levantamiento topográfico en segundos.

El Phantom 4 Pro es un equipo que posee una innovadora tecnología con una cámara inteligente de alta calidad en su imagen que permite realizar filmaciones aéreas obteniendo video en alta resolución y fotografías con una cantidad mínima de ruido. Además, cuenta con cinco sensores de movimiento que detectan los obstáculos y un sensor infrarrojo que sirve para detectar los objetos durante el vuelo.

## **Características:**

Para el Phantom 4 Pro permite hacer maniobras de movimiento y desplazarlo a una distancia máxima de 7 km con un toque en la pantalla se logra reconocer objetos en movimiento, por esto, es recomendable actualizar los comandos Taply y ActiveTrack en la aplica DJI GO 4.

A continuación, se exponen características importantes que deben tomarse en cuenta:

**Controlador de Vuelo:** Como su nombre lo indica ayuda a tener una inspección de la trayectoria del vuelo de manera segura. Consta de sensores de visualización para que su vuelo sea preciso cuando no está el GPS activo.

**Estabilizador y Cámara:** El alcance que tiene el disparo del Phantom 4 Pro es de 4K generando hasta 60 cuadros (fotogramas) por segundo con una resolución nítida en sus fotografías de 20 Mpx gracias a su sensor CMOS de 1 plg y su enfoque automático.

**Transmisión de video HD:** Se puede transmitir la señal de video con transmisión HD de baja latencia hasta 7 km, correspondientes a 4.3 millas con un cambio de frecuencia de 2.4 y 5.8 GHz.

**Control remoto:** Visualizador de imagen que incluye un monitor de 5.5 plg con DJI GO para poder tener mejor control al maniobrar el dron.

**Baterías:** Las baterías tienen una duración de vuelo de 30 min. Además, cuenta con vuelo inteligente de 5870 mAh DJI.

### 3.3 Pasos de instalación de la aeronave:

1. Sacar cuidadosamente del estuche de protección el dron Phantom 4 Pro, las baterías, hélices y el control remoto para iniciar con la instalación del equipo.



*Figura 31: Partes de equipo UAV con estuche de protección.*

2. Una vez colocado el dron a una superficie plana y estable, retirar el sujetador de protección utilizado para estabilizar la cámara.



*Figura 32: Sujetador de protección para estabilizar la cámara de dron.*

3. Es importante distinguir que las hélices con anillos de tono negro o gris deben introducirse en los orificios con puntos del mismo color como de visualiza en la fotografía:



*Figura 33: Hélices del equipo UAV.*

4. A continuación, se procede a colocar las hélices en sus 4 extremos respectivamente, donde con una pequeña presión y un giro en la dirección de bloqueo de la hélice sobre la placa de montaje se consigue sujetarla al dron.



*Figura 34: Correcta colocación de hélices en UAV.*

5. Insertar la batería en el orificio en dirección horizontal hacia el dron. Presionarlo hasta que suene un clic del seguro de sujeción para saber que está colocada correctamente.



*Figura 35: Insertar batería en dron.*

6. Introducir en el extremo izquierdo la tarjeta de memoria donde se almacenarán las fotos y puntos tomados del levantamiento del proyecto.



*Figura 36: Insertar memoria LSD.*

7. Luego de haber realizado el paso anterior e introducido la batería dentro del dron, prendemos la batería presionando una vez el botón de encendido y luego tenemos presionado una segunda vez durante tres segundos.



*Figura 37: Encendido de batería dron.*

**Pasos para uso del control remoto:**

1. Levante la pantalla del control hacia arriba a una posición deseada. De la misma manera despliegue las antenas hacia arriba que se encuentren en una orientación hacia afuera para evitar interferencias.



*Figura 38: Control remoto de dron.*

2. Para prender el control se realiza el mismo proceso que con el dron, se presiona el botón de encendido una vez y luego se presiona una segunda vez el botón por tres segundos.



Figura 39: Pantalla de visualización de dron.

**Partes de la aeronave:**

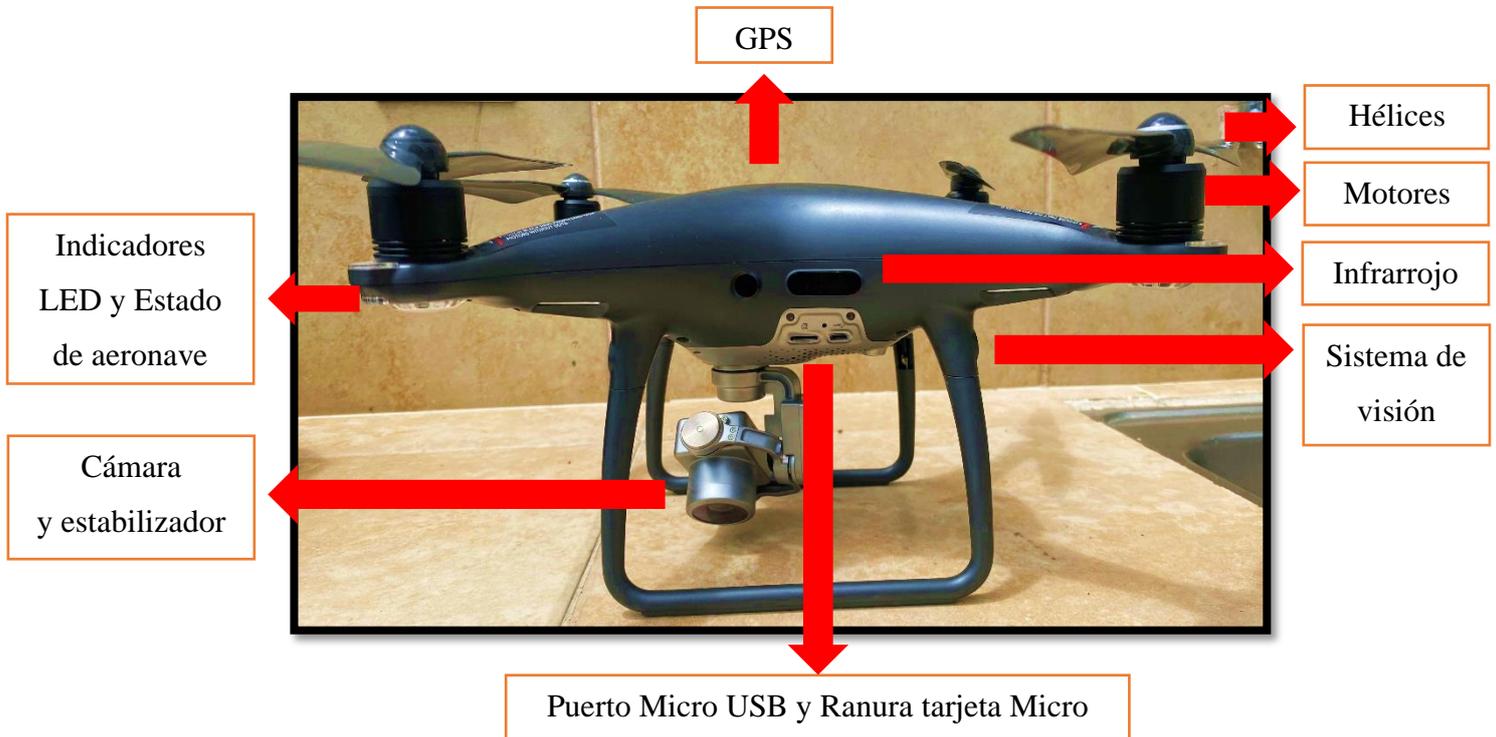


Figura 40: Partes de aeronave UAV



*Figura 41: Partes de control remoto de aeronave UAV.*

### **3.4 Manual de instalación del equipo RTK – GPS SOUTH Galaxy G1.**

Con sus siglas en ingles Real Time Kinematic, es un equipo de navegación cinemático satelital que trabaja en tiempo real. Es utilizado para realizar levantamientos topográficas ya que consta con un receptor GNSS que se conecta con una señal pseudoaleatoria via satélite. Esta señal a su vez tarda tiempo en enlazarse correctamente con el receptor ya que deben alinearse las dos señales por lo que es necesario dejarlo estatico al receptor en un periodo de tiempo prolongado para conseguir que calcule la distancia exacta al satélite.

#### **Pasos para plantar y nivelar el equipo**

Se retira las partes del equipo RTK del estuche y se procede al ensamblaje de las piezas de acuerdo al manual del fabricante.



*Figura 42: Equipo y partes del RTK.*

1. Seguidamente se planta el trípode y nivela la burbuja (ojo de pollo) y de la misma manera se realiza con la burbuja de nivel en sus tres patas.

Para una correcta nivelación es necesario verificar que la plomada óptica apunte al centro del punto de referencia de inicio del levantamiento.



*Figura 43: Plantación de trípode y nivelación de equipo RTK.*

2. Se insertan las dos baterías a cada equipo, tanto a la base como al receptor



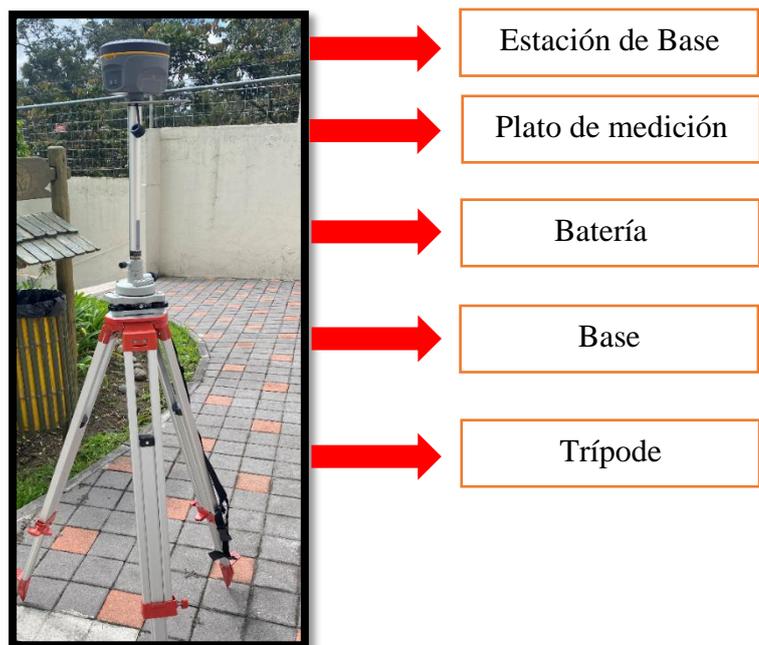
*Figura 44: Insertar baterías en estación base y móvil.*

3. Se enrosca la batería al tripode junto con el plato de medición y se coloca encima la estación base. Una vez que el equipo esté asegurado correctamente se conecta la antena UHF receptora de la señal.



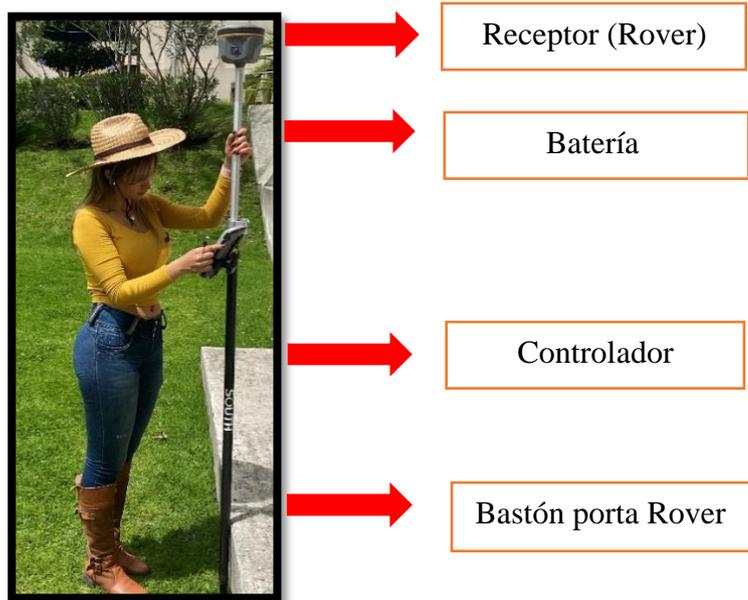
*Figura 45: Colocación de equipos sobre trípode.*

- Después de tener plantado completamente el equipo se prende la estación base teniendo presionado tres segundos para poder enlazarlo con el receptor. A continuación, se procede a medir la altura del instrumento desde el piso hasta el plato de medición tres veces, realizando un promedio de los resultados donde este valor no debe pasar los 3 mm.



*Figura 46: Partes de la estación base del equipo RTK.*

- Se arma de la misma manera el equipo del receptor, enroscando en el bastón la batería y el Rover para la toma de los puntos.



*Figura 47:Partes de la estación móvil del equipo RTK.*

### **Configuración del Controlador y Router**

1. Encender el equipo móvil Galaxi G1- South teniendo presionado tres segundos.

Después configure el modo estático para poder enlazar al satélite. Se enciende la luz y el mainframe comienza a buscar satélites. Cuando la luz parpadea una vez indica que se ha enlazado correctamente.

**Nota:** Configurar la base en un lugar despejado sin obstáculos. Evitar los equipos de transmisión de energía de alto voltaje y antenas transmisoras y receptoras de comunicación.



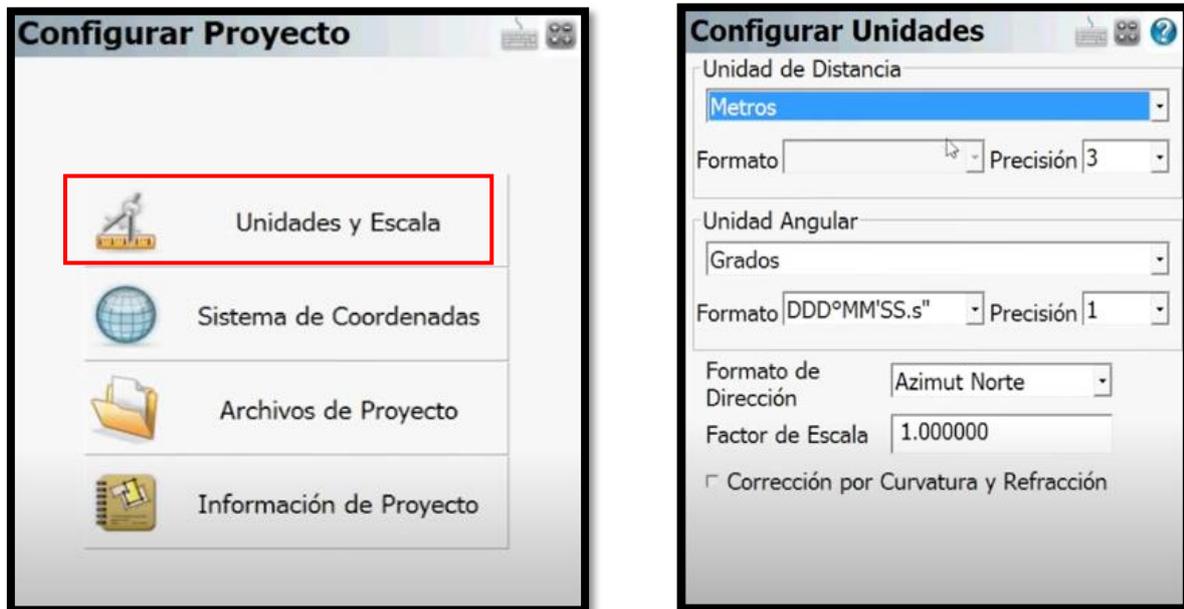
Figura 48: Navegador satelital del RTK.

2. Se iniciará la ventana de Windows Mobile. Hacer clic en el icono  y a continuación, seleccionar el icono del programa



Figura 49: Ilustración de aplicación FieldGenius usada para tomar las coordenadas.

3. Iniciar con un nuevo proyecto estableciendo primero en la opción de Unidades y Escala, las correspondientes medida que deben estar en metros y su escala en formato de dirección Azimut Norte.



*Figura 50: Pantallas de configuración de escala y unidades.*

4. De la misma forma seleccionar la opción Sistema de Coordenadas configurando las coordenadas horizontales al sistema UTM84-17S y las coordenadas verticales geográficas Elipsoidal (WGS84).

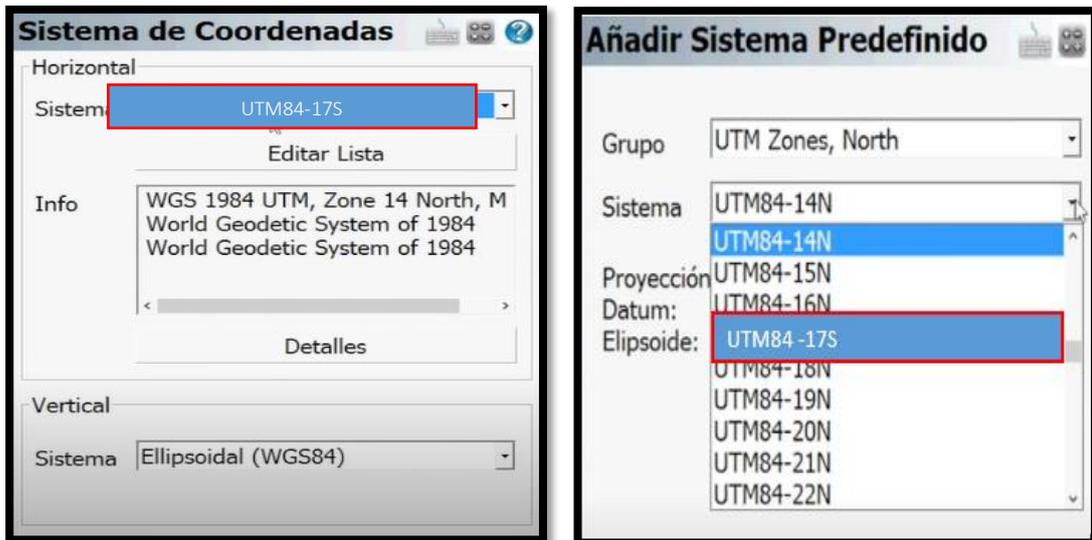


Figura 51: Pantalla de visualización del sistema de coordenadas utilizadas.

5. A continuación en la lista la opción Añadir Lista seleccionar la opción Sistema de Coordenadas Desde Basedatos, donde se aparecerá la lista de coordenadas que hemos establecido para nuestro proyecto.

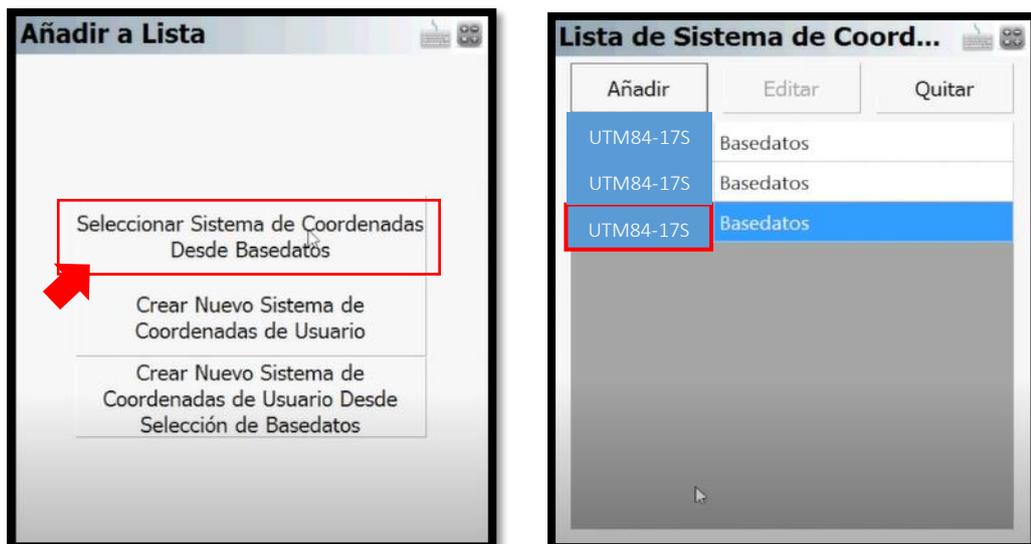
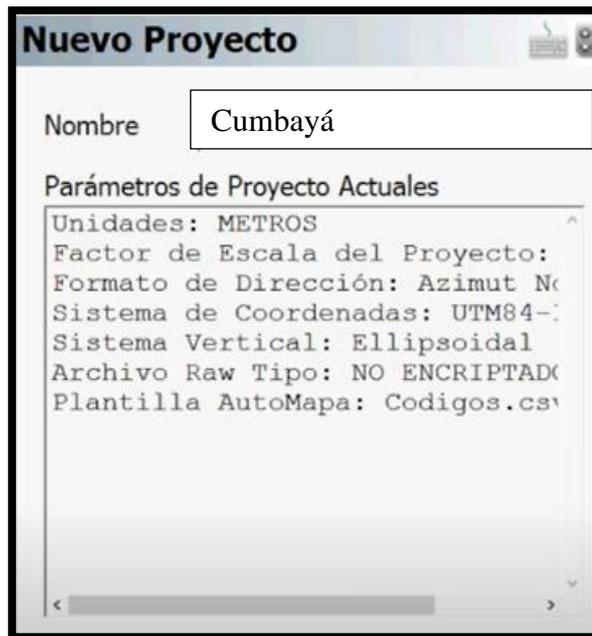


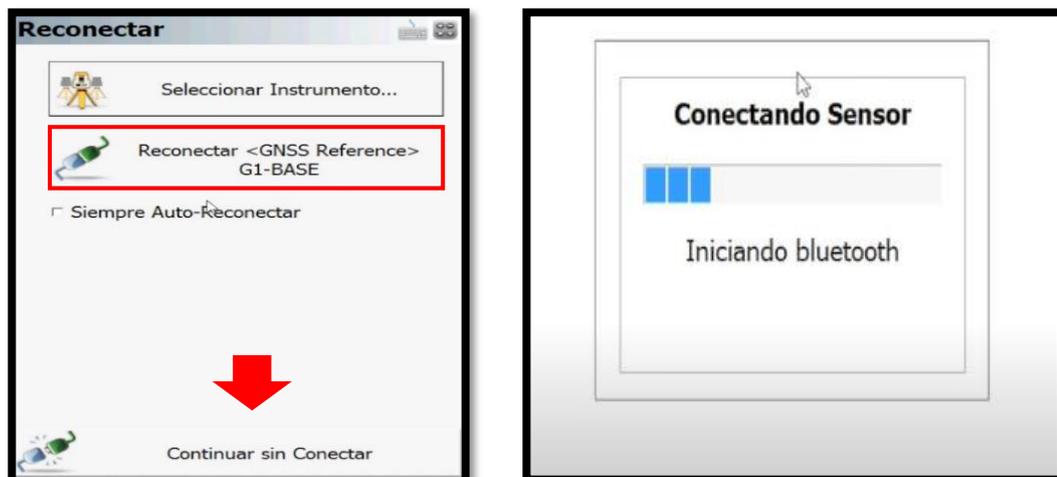
Figura 52: Pantalla de visualización de lista de coordenadas UTM.

6. Crear el nombre del proyecto en la opción Nuevo proyecto y sincronizar la estación base con el software EGStar en el equipo portatil.



*Figura 53: Creación de un nuevo proyecto para el levantamiento con RTK.*

7. Una vez sincronizado el mainframe se conecta el GNSS al G1-Base, de esta forma se enlaza el sensor y se establece la conexión por Bluetooth.



*Figura 54: Enlace de señal con los GNSS y conexión del sensor por bluetooth.*

8. En la pantalla principal que aparece a continuación, hacer clic en Posición Conocida para establecer las coordenadas de la base, después se seleccionará la opción Posición Geodésica Promedio.

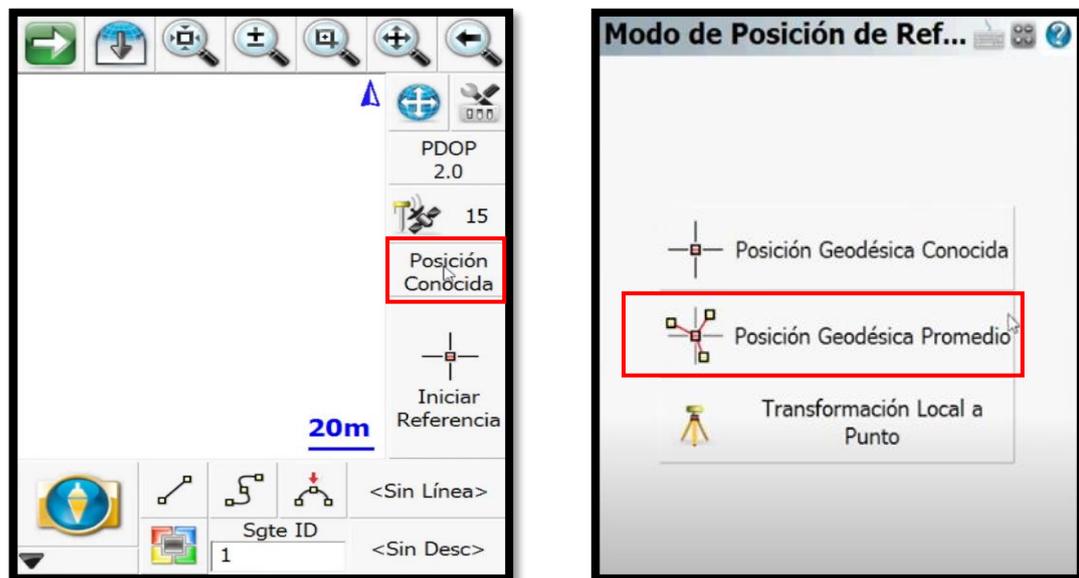


Figura 55: Establecimiento de coordenadas y posicionamiento geodésico promedio.

9. Seleccionar la opción Iniciar Referencia . En la siguiente ventana se posicionarán automáticamente las coordenadas de latitud, longitud y la altura elipsoidal. Antes de seleccionar la opción aceptar se debe configurar la altura de la antena que es medida con el flexómetro desde el plato de medición hacia el suelo.
- Nota:** Para mayor exactitud es necesario dejar el equipo estaticamente al menos 30 min. para que las coordenadas se posicionen correctamente. Si se omite este lapso de tiempo se debe tomar un promedio de las mismas.

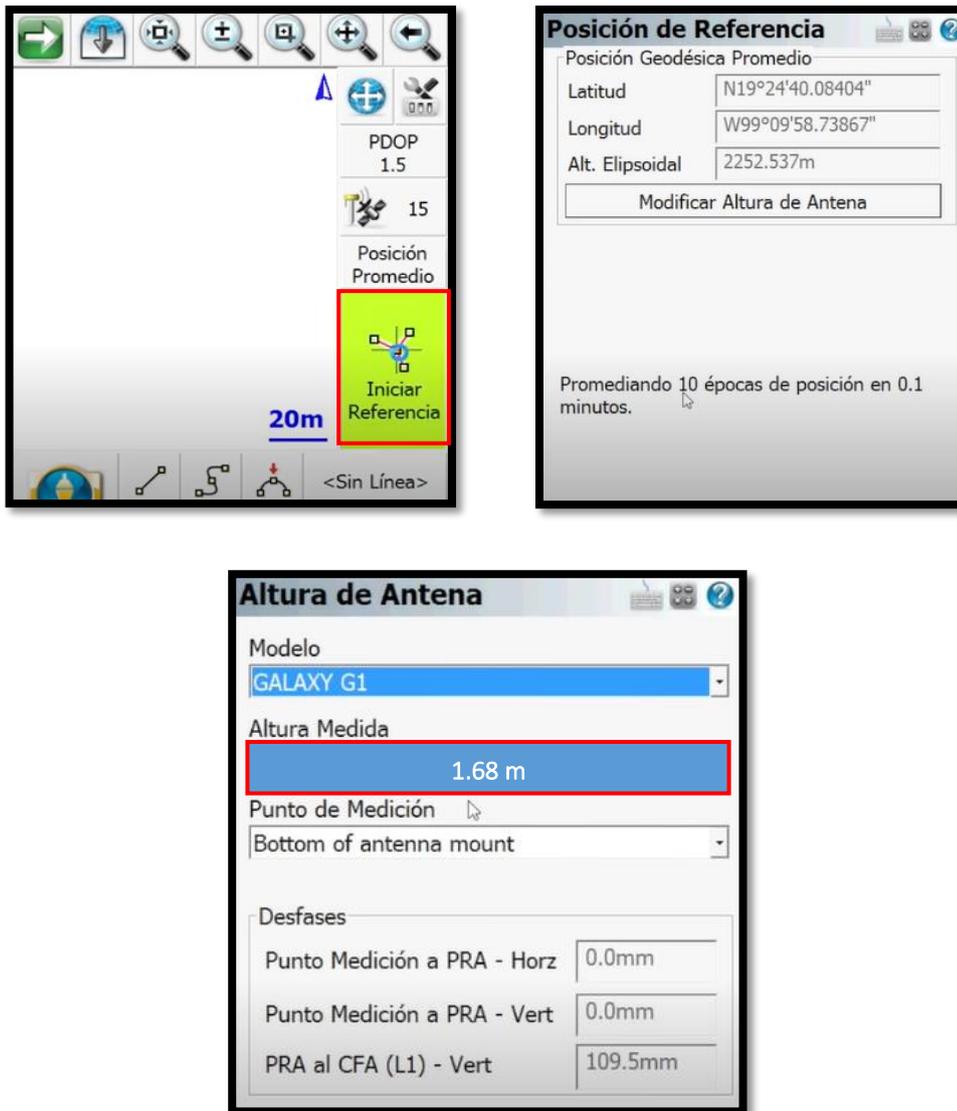


Figura 56: Configuración de la posición de referencia e ingreso de la altura media.

10. Establecer la descripción del punto de inicio en el ítem Descripción con el nombre de Punto Base.

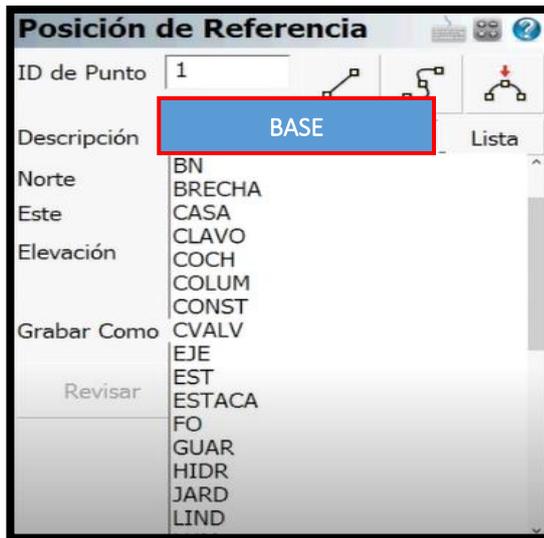


Figura 57: Asignación del nombre del punto inicial (base).

### Configuración del radio de la Base:

1. Seleccionar la opción  y establecer el modelo, el canal y el protocolo. En la opción de datos de corrección seleccionar .

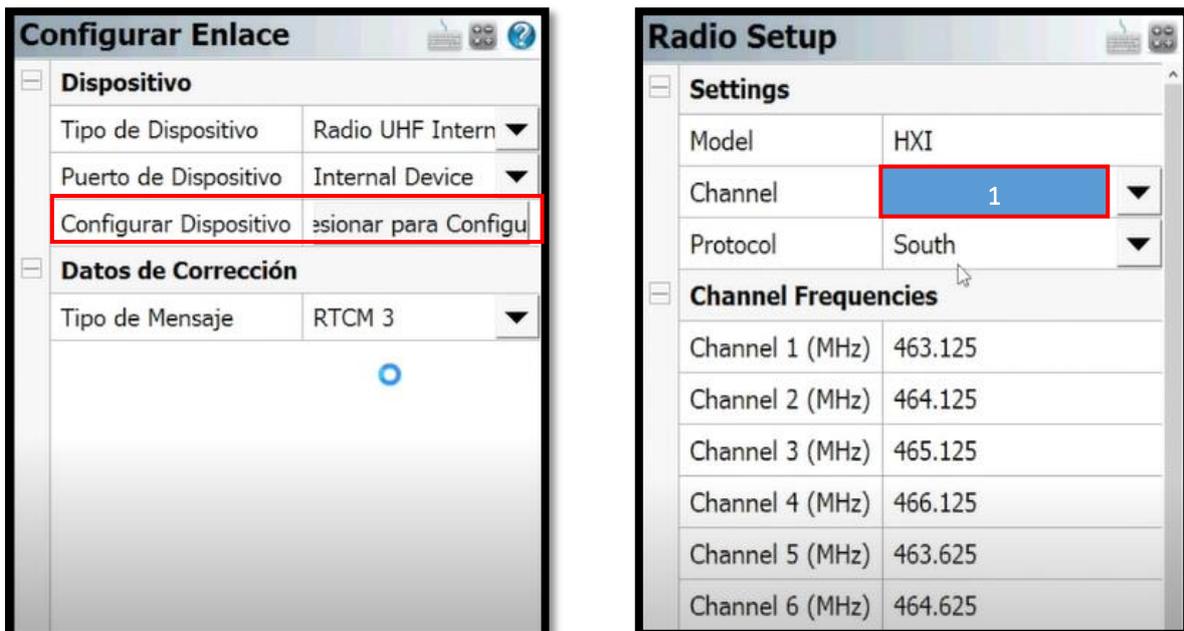


Figura 58: Establecer el canal y protocolos de conexión.

2. Hacer clic en la configuración del proyecto. Después desconectar la transmisión base para posteriormente volver a conectarse al receptor (Rover) .



Figura 59: Desconectar la conexión de estación base.



Figura 60: Enlazar nuevamente la conexión, pero ahora al receptor (Rover).

3. Seleccionar el tipo de instrumento (GNSS Móvil) para configurar el receptor.



Figura 61: Escoger el tipo de instrumento a configurar (receptor móvil).

4. Realizar el mismo proceso del ítem (1) en la opción Configurar Dispositivo escogiendo el mismo canal que se utilizó para configurar la Base.

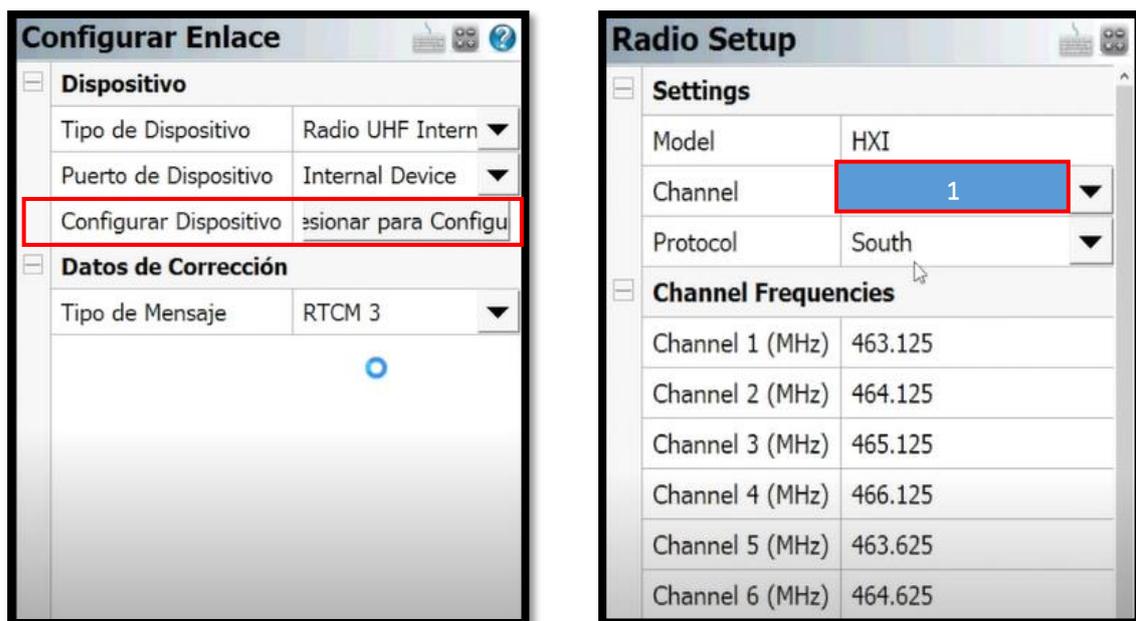


Figura 62: Establecer el canal y protocolos de conexión.

- De la misma manera establecer la altura de la antena utilizando la elevación ya conocida en la opción (8) el apartado de *configuración de controlador y router*.



Figura 63: Establecer el mismo valor anterior de la altura de la antena al suelo.

### Registro de puntos RTK:

- Para realizar el levantamiento de las coordenadas del terreno, seleccionamos la opción RTK Fijo. Este proceso lo realizamos para obtener las coordenadas de cada punto mediante la medición GNSS.



Figura 64: Seleccionar la opción RTK Fijo y tomar los puntos de control del terreno.

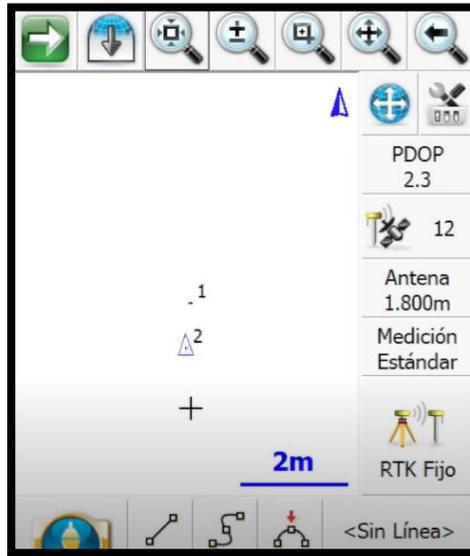
- Una vez escogidas las coordenadas se ingresa la descripción del punto de forma manual o en la opción  se elige de la biblioteca las opciones preestablecidas.



Figura 65: Escoger la nomenclatura para los puntos levantados.

3. Finalmente cuando ya se haya tomado la mayor cantidad de coordenadas del terreno podemos ver como esta quedando nuestro levantamiento con la opción

Zoom +, como se muestra en la siguiente imagen.



*Figura 66: Ventana de visualización de los puntos de control tomados en el terreno.*

### **3.5 Levantamiento Fotogramétrico**

Un levantamiento fotogramétrico es considerado como el arte de la tecnología y la ciencia al capturar información del entorno físico, bidimensional y tridimensional (viviendas, detalles arquitectónicos, vegetación, animales, etc.) mediante grabaciones de espacios que son interpretados como imágenes fotográficas de gran precisión, las mismas que relacionan magnitudes lineales y superficiales para la reconstrucción de objetos y superficies. La fotogrametría con sus siglas en griego “Photo= Luz, Gramma = Escritura o Dibujo y Metron = Medida”, es la representación de la medida que se escribe o dibuja la luz a partir de fotogramas (Bonneval, 1972).

Esta tecnología cuenta con varias aplicaciones tanto para la cartografía, arqueología, agricultura, análisis de viviendas patrimoniales, topografía, ortofotografía, entre otras. En este

caso, nos enfocaremos en el análisis de una ortofotografía, la cual consiste en que el eje de la cámara coincide con una visualización vertical del terreno, donde el lente del dron tiene una visión móvil logrando captar una mayor amplitud del área a levantar. Las fotografías son tomadas a una escala constante con proyección ortogonal, estas fotos tienen una proyección central con correcciones diferenciales. Al procesar la ortofoto se puede visualizar que los objetos ocupan su misma posición horizontal que en la realidad.

A continuación, se mostrará la realización de un levantamiento fotogramétrico de un terreno ubicado en la vía Alaóg - Santo Domingo con una extensión de 163077.77 m<sup>2</sup>. Para lograr comparar la precisión del levantamiento fotogramétrico con dron y un el levantamiento terrestre con el equipo RTK, se han colocado tres puntos de control alrededor del terreno con la finalidad de comparar la precisión que tiene realizar un levantamiento convencional terrestre versus las medidas obtenidas de una fotografía.

Es importante mencionar que, para poder sobrevolar un dron, equipo no tripulado, hay que regirse con el Reglamento de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) emitido por la Dirección General de Aviación Civil. Menciona que para aeronaves con un peso máximo de 0.25 kg de despegue y menores o iguales 150 kg, es obligatorio registrar su equipo aéreo y adquirir un seguro para daños que puedan suscitarse hacia terceros como resultado de actividades de vuelo. Además, menciona deben tener una distancia mínima de alejamiento de 9 kilómetros en zonas de seguridad del estado, helipuertos, aeródromos con la finalidad de preservar la seguridad e integridad pública-privada y a una altura máxima de 122 m sobre el terreno en buenas condiciones climáticas para que pueda ser visible el dron durante su vuelo (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

### **3.5.1 Plan de vuelo**

Para realizar el plan de vuelo se utilizó la aplicación “Dronelink” ya que esta nos permite realizar rutas de vuelo preestablecidas, siendo una ventaja ya que va tomando

fotografías de manera uniforme cada cierto tiempo evitando tener espacios entre fotos lo cual ocasionaría que tengamos perdida de la información al procesar la ortofoto.

Existen tres categorías específicas para poder establecer la correcta trayectoria de un plan de vuelo con dron. En este caso tenemos la de ortomapas con una forma de ruta en espiral, la trayectoria para canteras y áreas de construcción que es la que tiene una forma de doble espiral con la finalidad de conseguir un barrido de fotografías en forma de cuadrícula para conseguir mayor detalle y la trayectoria para volúmenes 3D, que son para edificaciones y todo tipo de estructuras verticales. Esta última tiene una forma de círculos ovalados con una inclinación de trayectoria de  $10^\circ$ , la segunda a una inclinación del  $30^\circ$  y finalmente la que sobrevuela sobre la estructura con  $45^\circ$ . Como se muestra en la siguiente fotografía.

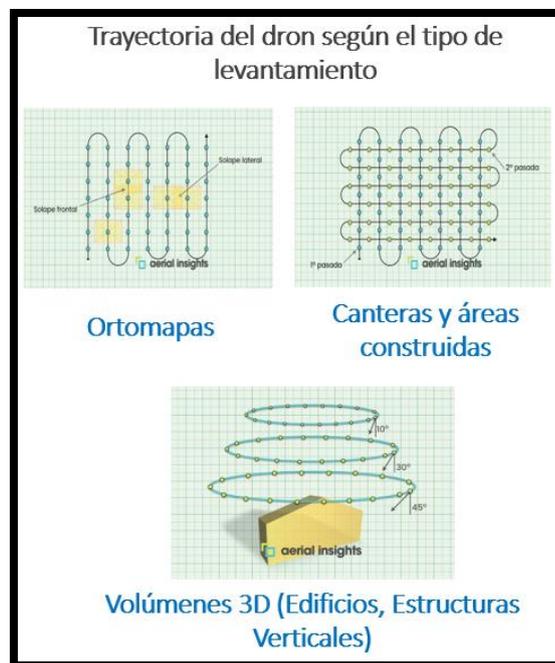
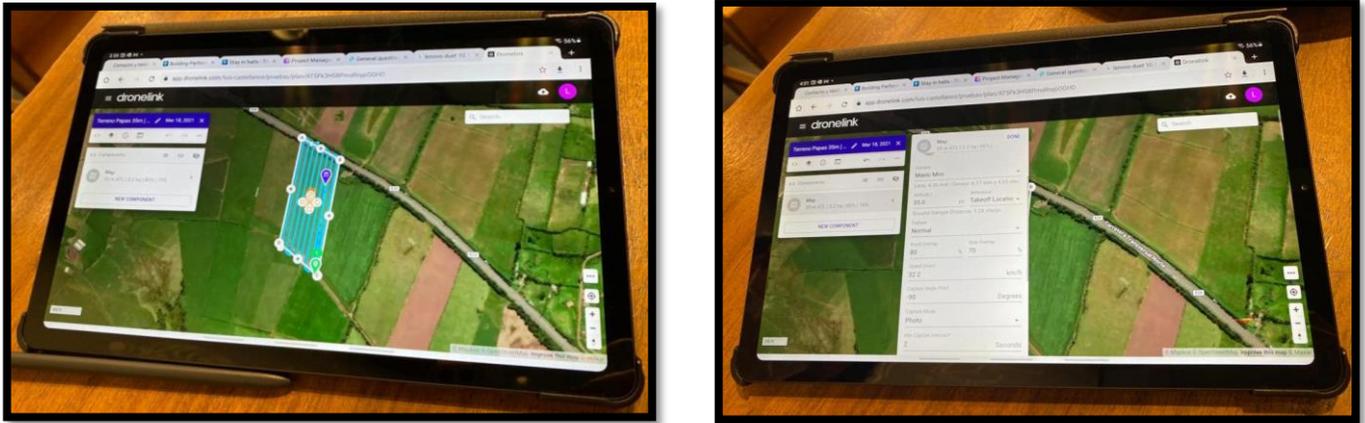


Figura 67: Trayectoria de vuelo según el tipo de levantamiento.

Para el terreno levantado se utilizó la trayectoria de vuelo de ortomapas debido a que el levantamiento fotogramétrico es solo de un terreno sin presencia de áreas construidas.



*Figura 68: Configuración de la ruta de vuelo.*

Es importante mencionar que para el plan de vuelo tenemos que configurar correctamente el tipo de ángulo que se van a tomar las fotografías aéreas, en nuestro caso de la posición de la cámara se encontraba vertical con un ángulo de  $90^\circ$ . Esta configuración mencionada, nos permitirá realizar correctamente los traslapes longitudinales y transversales en las fotografías. Los traslapes dependen específicamente del tipo de relieve del terreno que vamos a levantar. A continuación, se muestra una tabla de resumen de los tipos de traslapes:

<b>Traslapes según el relieve del terreno</b>		
<b>Relieves</b>	<b>Tipos</b>	
	<b>Longitudinales (%)</b>	<b>Transversales (%)</b>
<b>Plano</b>	60	20
<b>Ondulado</b>	65	25
<b>Montañoso</b>	70	30

*Tabla 1: Tipos de traslapes según su relieve.*

En el levantamiento realizado de Alóag al tener un relieve ondulado se utilizó valores entre los 65 a 70% como se especifica en la ficha técnica adjunta en la sección de anexos.

### 3.6 Procesamiento de imagen

En el programa Agisoft Metashape Professional se realiza el procesamiento de las 281 fotografías que se obtuvieron del plan de vuelo. A continuación, se muestra paso a paso como se realizó el procesamiento:

Una vez descargadas las fotos de la ruta del dron, se realiza el procesamiento de las fotografías.

1. Como primer punto en la pestaña superior Flujo de Trabajo - Seleccionar fotos, continuación, aparecerá todas las fotografías por defecto en el sistema de coordenadas geográficas (Longitud, Latitud, Altitud).

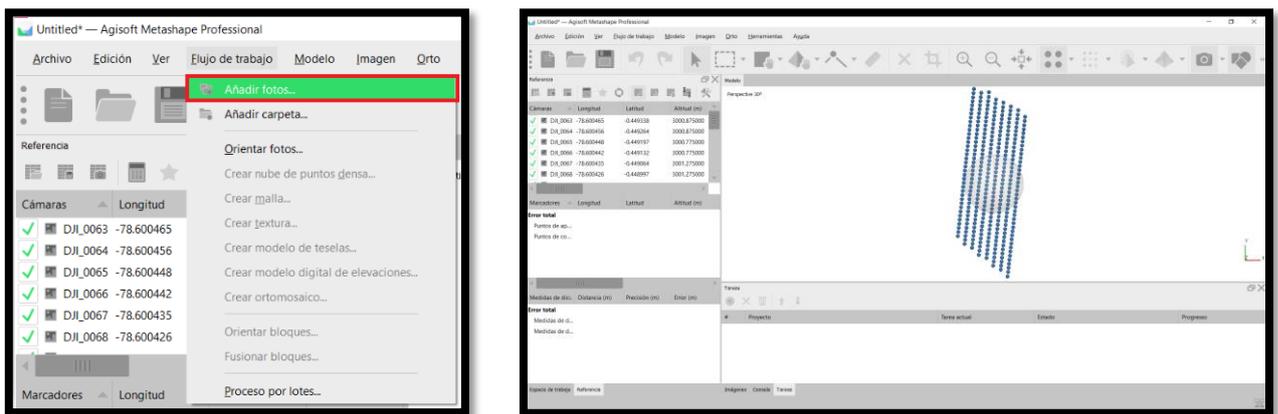


Figura 69: Exportación de fotografías del levantamiento del terreno.

2. Este sistema de coordenadas geográficas tiene que ser convertido al sistema UTM, para esto nos dirigimos al icono superior Convertir coordenadas.

En la ventana que se despliega utilizaremos las coordenadas WGS 84/ UTM zone 17S (EPSG:32717), ya que nos encontramos en Quito – Ecuador.

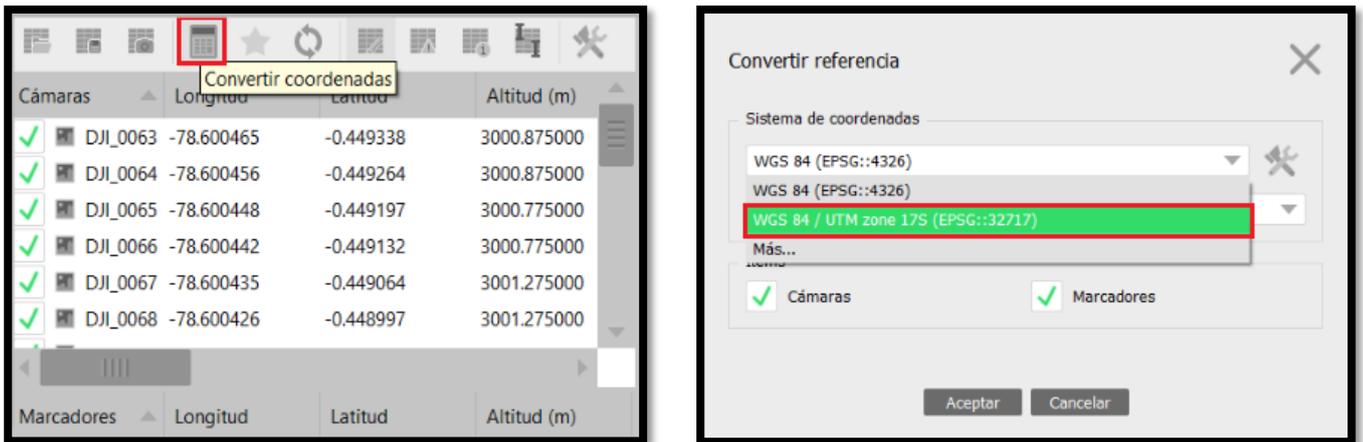
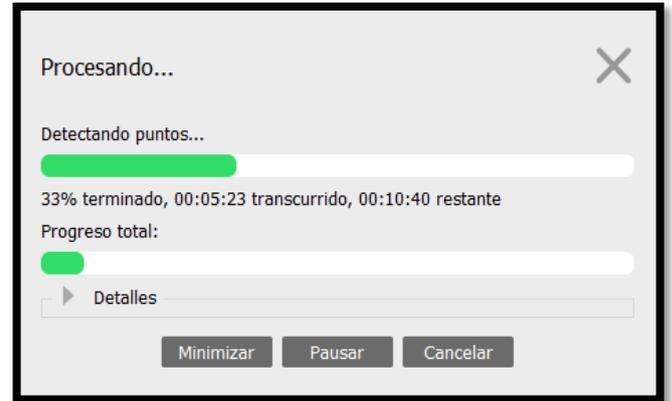
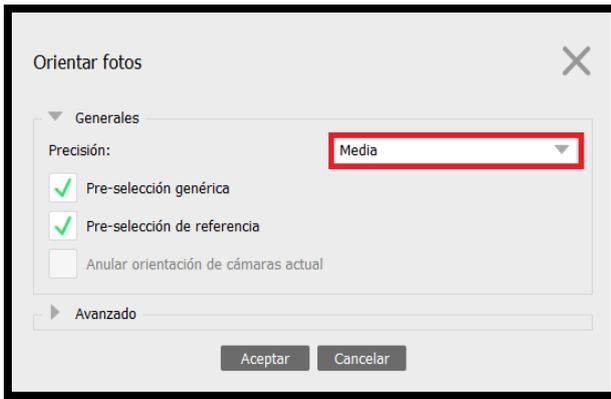


Figura 70: Convertir coordenadas geográficas a UTM.

Cámaras	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
✓ DJI_0063	767078.643805	9950290.773560	3000.875000
✓ DJI_0064	767079.624060	9950298.913598	3000.875000
✓ DJI_0065	767080.505096	9950306.374537	3000.775000
✓ DJI_0066	767081.184956	9950313.558973	3000.775000
✓ DJI_0067	767082.013420	9950321.081389	3001.275000
✓ DJI_0068	767082.934635	9950328.428615	3001.275000

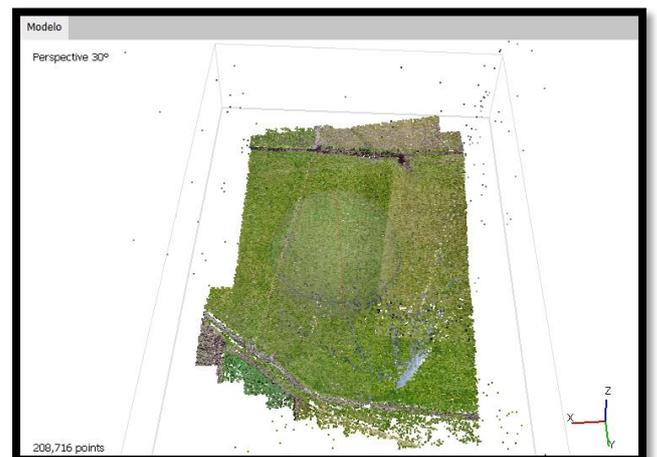
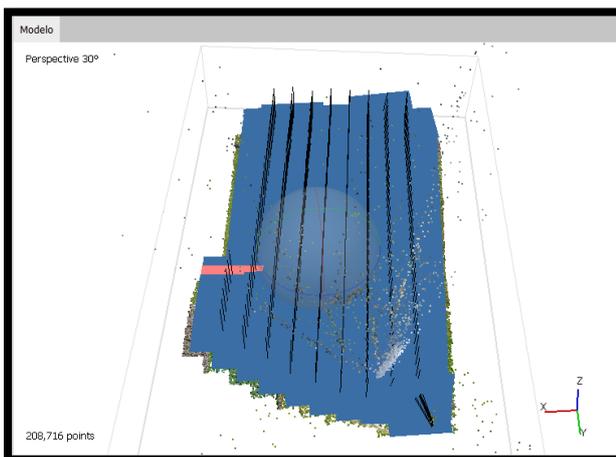
Figura 71: Cambio de coordenadas a este, norte y altitud (m).

- Después procedemos a ir a la pestaña Flujo de trabajo - Orientar fotos. Aquí podemos orientar y modificar las fotos según los píxeles en común que tengan. En este caso como recomendación se escoge una precisión *Medía*, para que el programa tenga un buen procesamiento de los píxeles, sin embargo, no se utiliza la opción máxima porque es mucho más demorada en procesar los datos. Una vez seleccionado el comando presionamos *Aceptar*.



*Figura 72: Orientación de fotos*

- Una vez terminada la orientación de las fotografías, se generará una nube dispersa de puntos del terreno con las fotos alineadas y orientadas. A continuación se carga las imágenes de puntos de control que se utilizaron para el levantamiento fotogramétrico.



*Figura 73: Verificar que la nube dispersa de puntos este importada correctamente con la forma del terreno.*

- Importamos el archivo de texto de extensión txt, donde se encuentran las coordenadas de los puntos de control tomados con el equipo RTK. Luego, aparecerá la siguiente ventana donde compararemos que tengamos las coordenadas correctas con la ventana referencia, así como el sistema de coordenadas UTM escogido anteriormente.

Referencia

Este est (m)	Norte est (m)	Alt. est (m)
766960.568578	9950339.377569	3033.740773
766961.692565	9950346.624805	3034.293820
766979.830672	9950379.838182	3034.520797
766962.624653	9950353.898690	3034.823026
766963.772854	9950361.035529	3036.027731
766981.042024	9950387.302750	3036.352264

Importar desde archivo de texto

Sistema de coordenadas: WGS 84 / UTM zone 17S (EPSG:32717)

Ángulos de rotación: Guiñada, cabeceo, alabeo

Umbrales (m): 0.1

Delimitador:  Tabulador  Punto y coma  Coma  Espacio  Otro:

Combinar delimitadores consecutivos:

Columnas:

Etiqueta	1	Precisión	Rotación	Precisión
Este:	3	8	Guiñada(Yaw): 5	9
Norte:	2	8	Cabeceo(Pitch): 6	9
Altitud:	4	8	Alabeo(Roll): 7	9

Comenzar e importar en la fila: 1

Vista previa de las primeras 20 líneas:

Nombre del mar	Norte	Este	Altitud	Guiñada(Yaw)	Cabeceo(Pitch)	Alabeo(Roll)
N1	9950299.931	767046.352	3144.618			
N2	9950193.894	766980.139	3138.672			
N3	9950162.872	767962.5	3133.59			

Items: Todos

Aceptar Cancelar

Figura 74: Importación de coordenadas tomadas con el equipo de posicionamiento RTK.

Después, se procede a verificar en las imágenes las coordenadas que fueron establecidas en el punto anterior, corroborando que las marcas creadas coincidan con los puntos de control tomados. En caso de que las marcas estén desfasadas se las corrige manualmente.

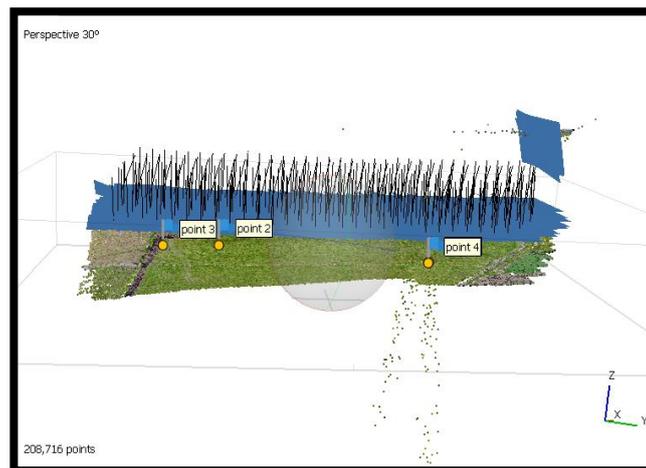
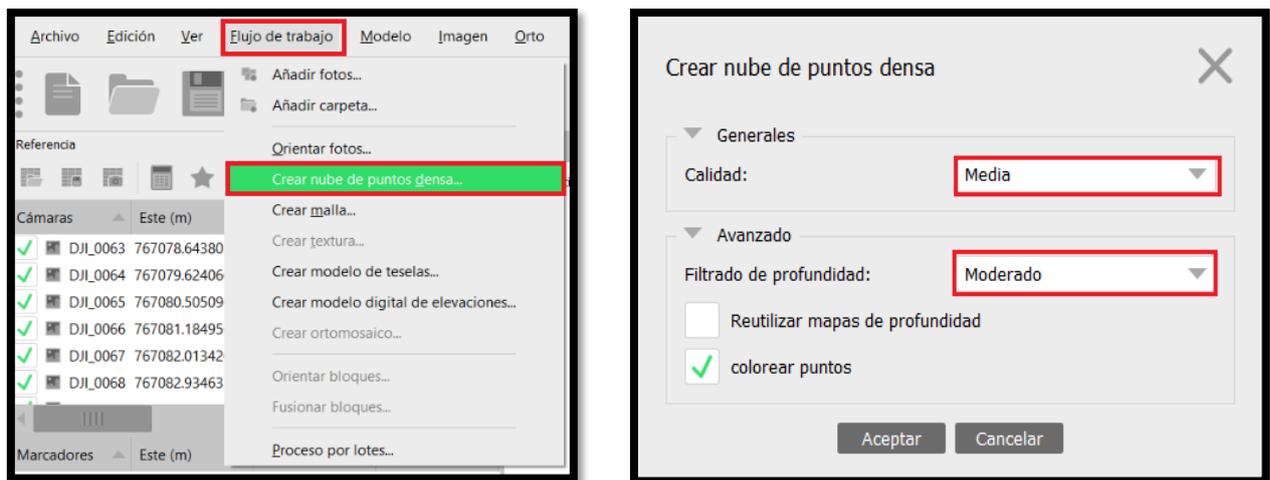


Figura 75: Verificar que los puntos de control estén correctamente seleccionados.

6. Se procede a crear la nube de puntos en la pestaña Flujo de trabajo

Crear nube de puntos densa. Esta nube de puntos nos mostrará la reconstrucción de nuestro modelo de una forma más o menos realista.

En la ventana que aparecerá a continuación, se establecerá la calidad del proceso, en este caso se sugiere escoger *Media* con un filtrado *Moderado*.



*Figura 76: Generación de la nube de puntos densa.*

7. Posteriormente en la pestaña Flujo de trabajo - Crear malla. La

malla permitirá visualizar la nube de puntos mediante valores RGB (rojo, verde y

azul), consiguiendo que la imagen renderizada tenga una buena nitidez del terreno.



*Figura 77: Creación de la malla.*

8. En la pestaña Flujo de trabajo - Crear modelo digital de elevación

Estos modelos se constituyen mediante la sustitución de la nube de puntos por la implementación del mallado que esta formado por la resolución de pixeles que permiten gerar el mosaico mediante la resolución del modelo digital de elevación (DEM).

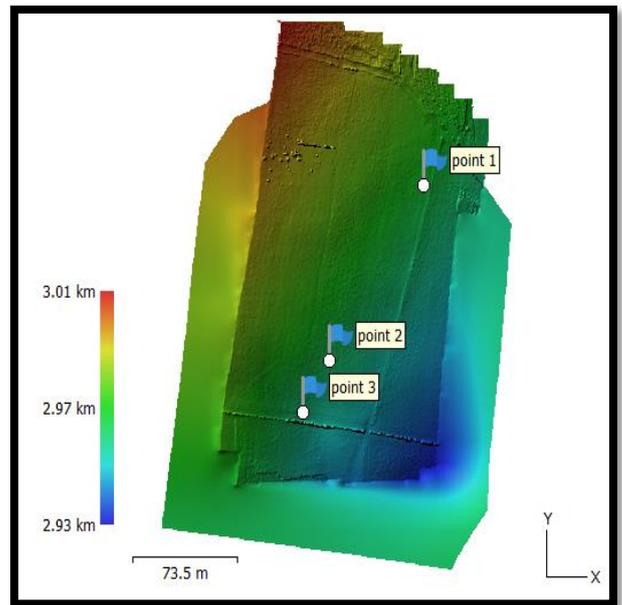
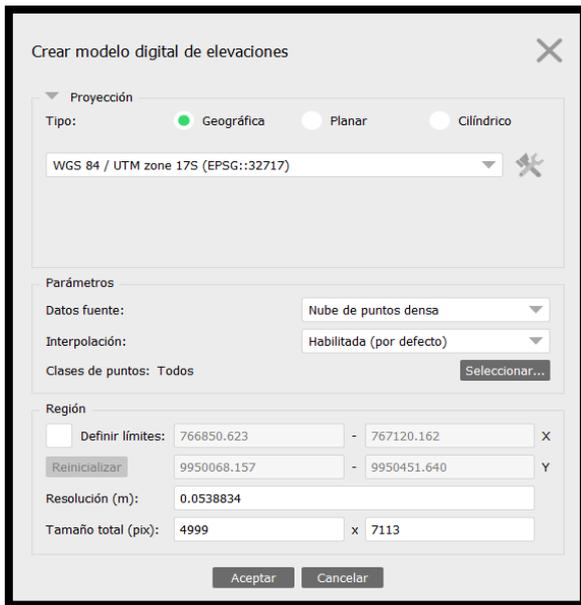
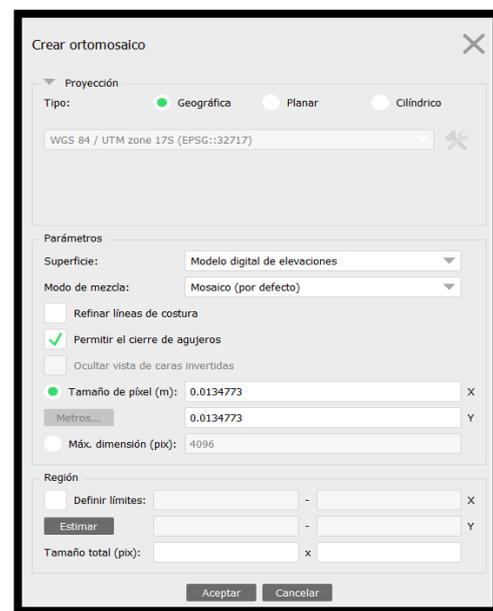
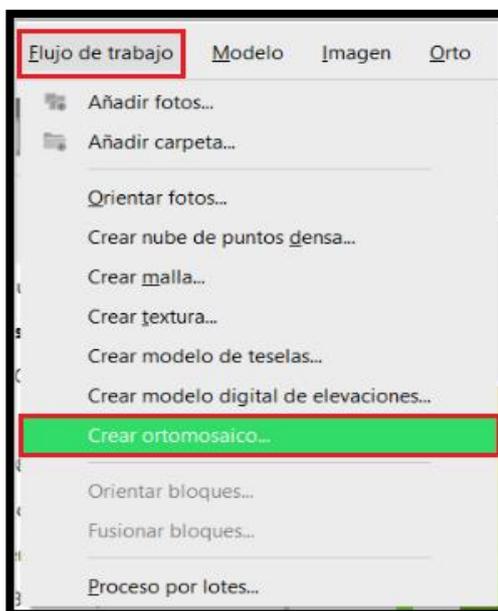
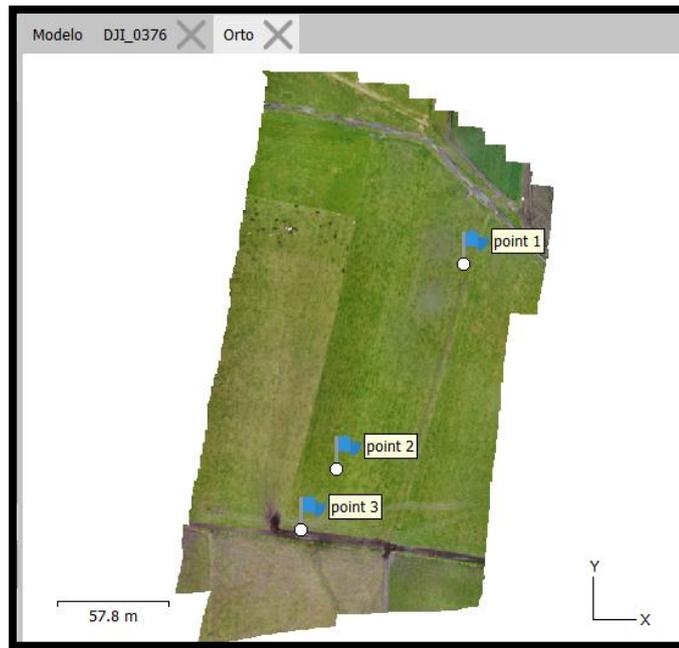


Figura 78: Crear modelo digital de elevación (DEM).

9. En la pestaña Flujo de trabajo - Crear ortomosaico. El ortomosaico no es más que un conjunto de imágenes fotogramétricas ortorrectificadas evitando tener una distorsión geométrica y consiguiendo generar una visualización armoniosa de mosaicos.





*Figura 79: Creación de ortomosaico.*

10. Nos dirigimos a la pestaña `Archivo - Exportar - Exportar DEM`

`Exportar TIFF/BIL/XYZ...`, de esta manera se guardará el Modelo digital de superficie (MDS).

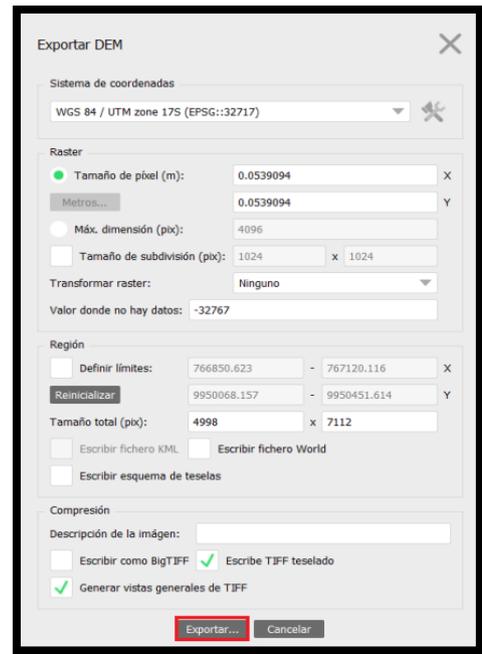
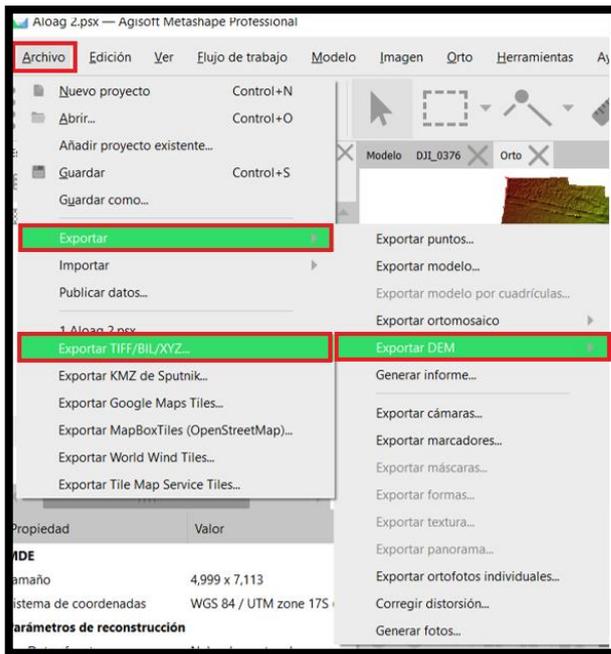
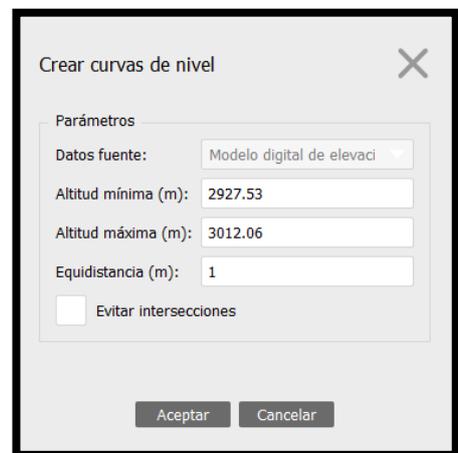
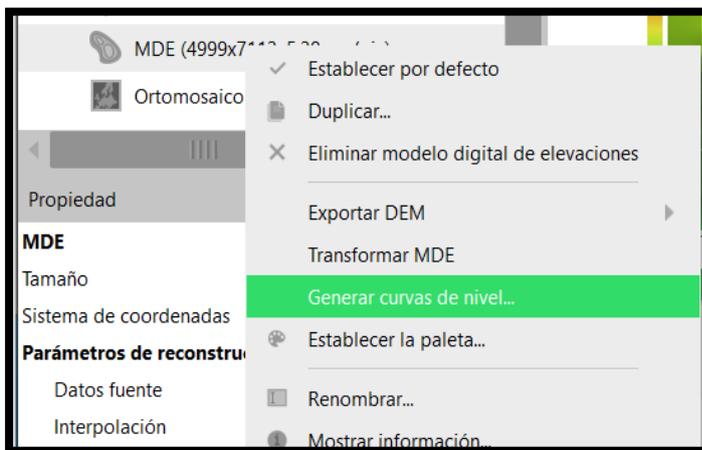


Figura 80: Exportación de formatos TIFF/BIL del modelo digital de elevación (DEM).

11. Una vez creado el Modelo Digital, presionamos clic derecho sobre MDE y escogemos

Generar curvas de nivel , dejamos las alturas mínimas y máximas establecidas

por defecto y visualizamos que se generan curvas de nivel en nuestra ortofoto.



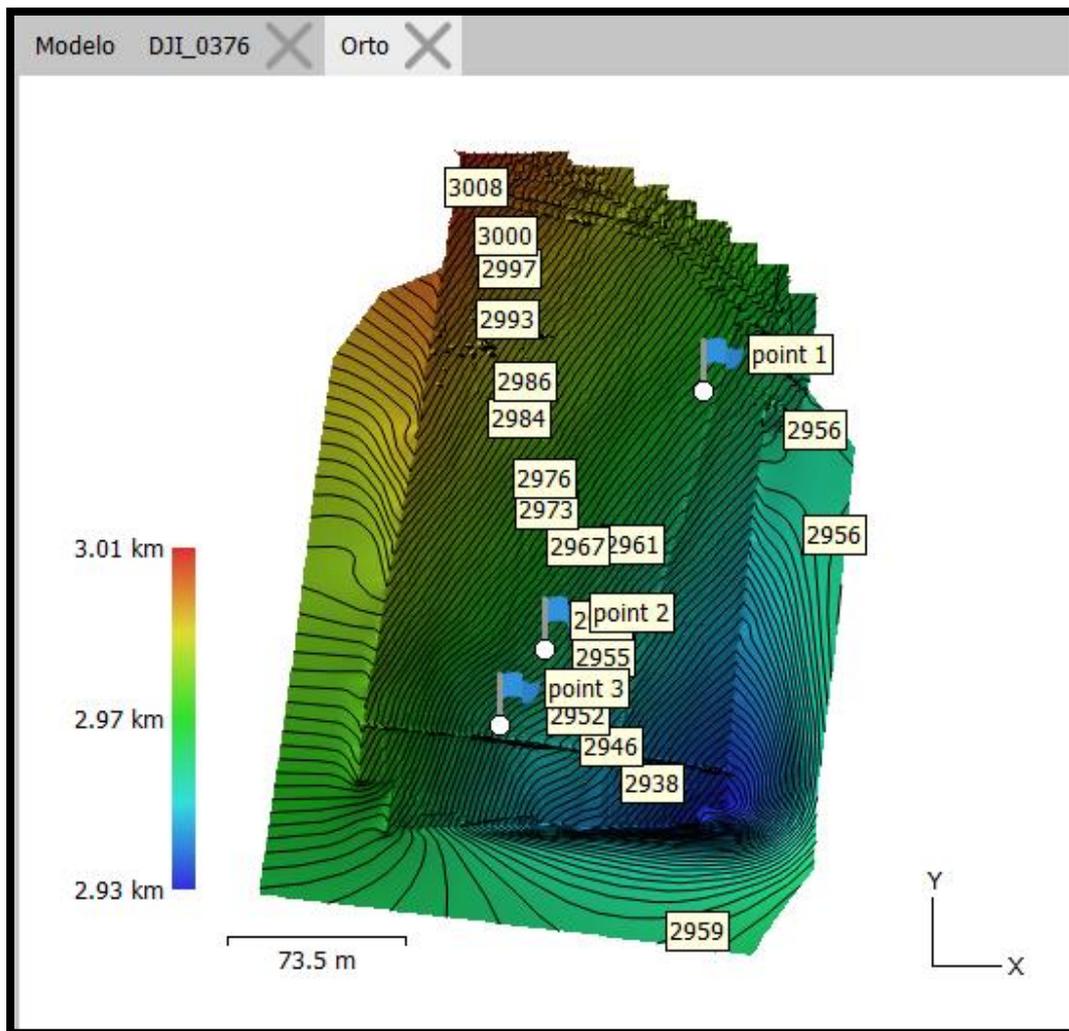
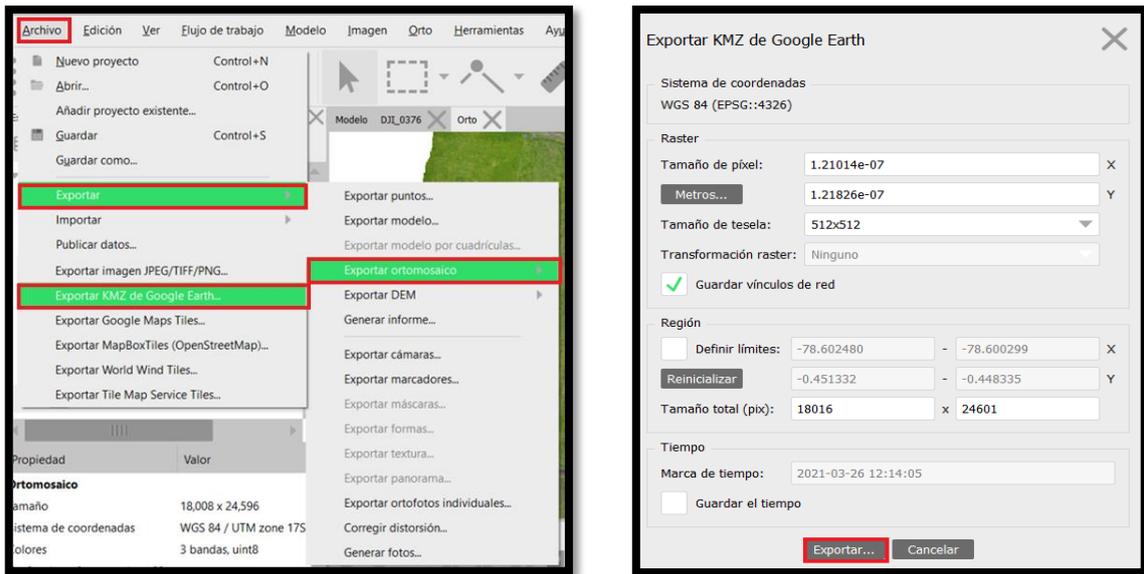


Figura 81: Visualización de curvas de nivel del modelo digital de elevación (DEM).

12. En la pestaña Archivo - Exportar - Exportar ortomosaico

Exportar KMZ de Google Earth,

se generará las siguientes ventanas, las mismas que nos servirán para poder visualizar nuestro terreno en el programa Google Earth.



*Figura 82: Exportación del ortomosaico a Google Earth.*

13. Una vez creado el mapa de profundidad, la nube de puntos, el modelo 3D y el ortomosaico. Se procede a exportar a Google Earth el ortomosaico para ubicar el levantamiento en tiempo real, comprobando de esta manera que coincida la ubicación del terreno en el que se realizó el levantamiento fotogramétrico, además del correcto procesamiento de imagen.

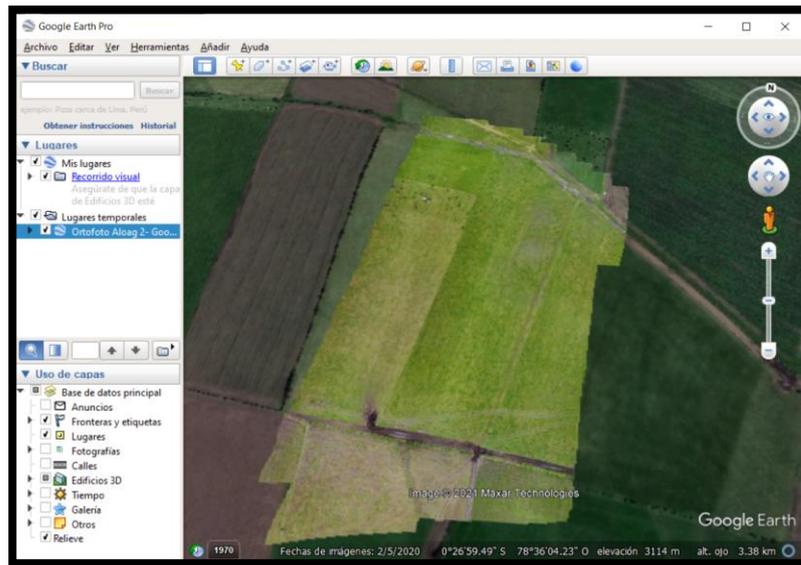


Figura 83: Ubicar en Google Earth en tiempo real el ortomosaico exportado.

### 3.6.1 Procesamiento en Civil CAD 3D

1. Abrimos el programa Civil CAD 3D donde exportaremos la información que será procesada del programa RECAP PRO. Una vez abierto el programa nos dirigimos a la pestaña `New Project - Import Point Cloud` y crearemos un nuevo proyecto.

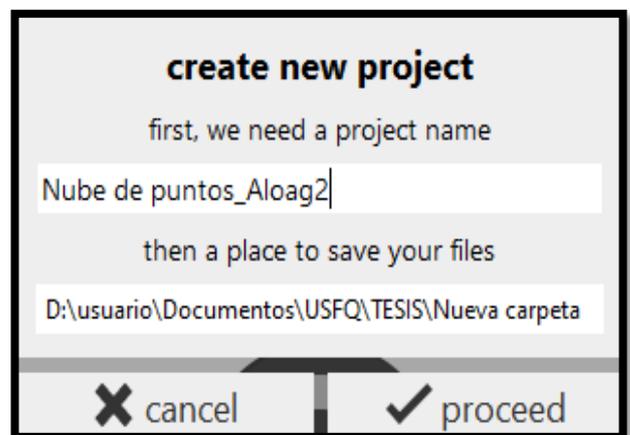
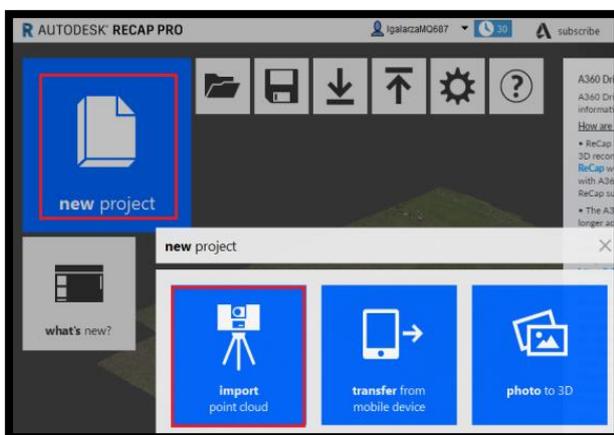


Figura 84: Creación de un nuevo proyecto en Autodesk ReCap Pro.

2. Posteriormente, se selecciona la opción Select Files to import y se agrega el archivo creado de *Nube de Puntos\_Aloag 2* con la extensión “pts”. En la siguiente imagen se muestra la nube de puntos creada del terreno Alóag – Santo Domingo en una vista 3D.

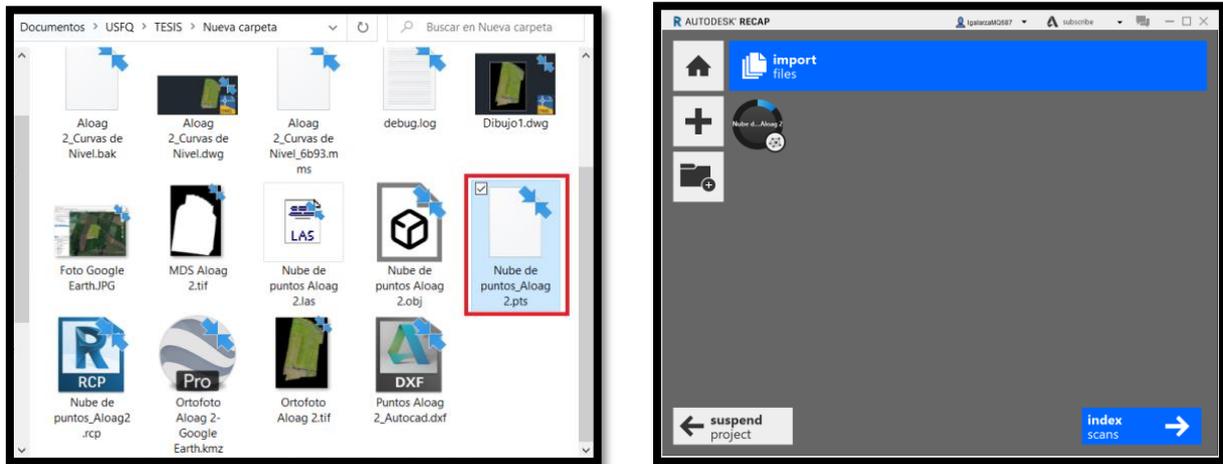


Figura 85: Exportación de la nube de puntos del terreno Alóag - Santo Domingo.

Se guarda el archivo creado con extensión “rcp” y se sobrescribe el proyecto creado anteriormente.

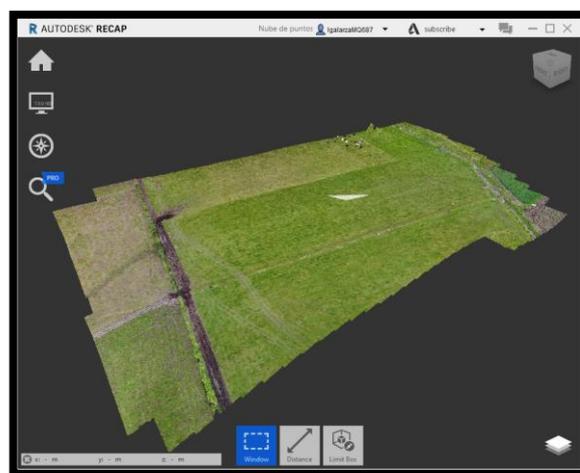


Figura 86: Guardar el archivo creado de la nube de punto en la extensión “rcp”.

3. Abrimos el programa Civil 3D y en la opción `Insertar - Enlazar`, procedemos a importar el archivo que se creó del ReCap con extensión “rcp”. A continuación, aparecerá una ventana que enlaza la nube de puntos y precisamos el lugar donde queremos que se genere los puntos.

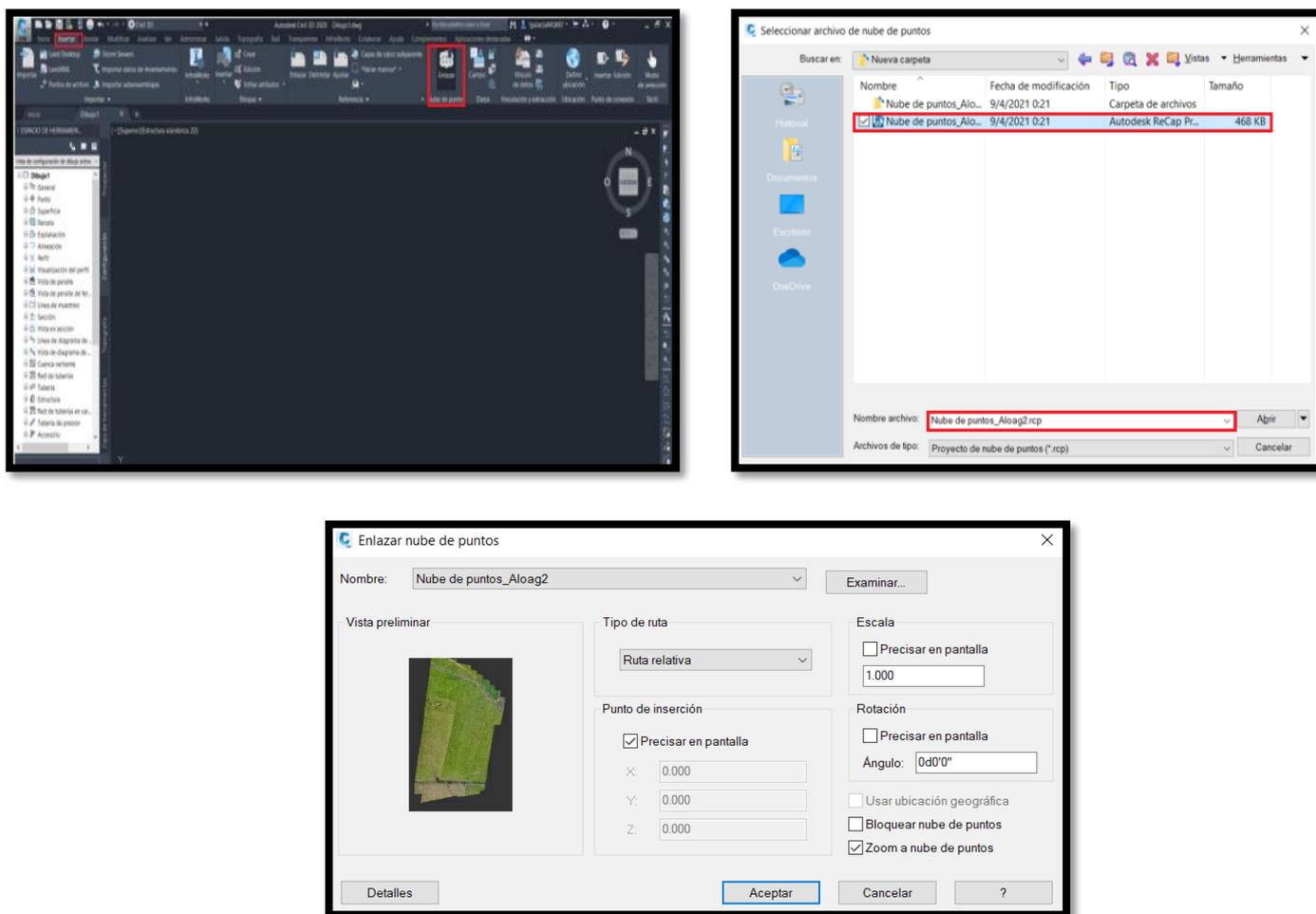


Figura 87: Exportar a Civil CAD 3D el archivo del ReCap con extensión "rcp".

4. Para poder crear el modelo de elevaciones escribimos en el programa Civil CAD 3D el comando `_AECCSURFACEFROMPOINTCLOUD`, donde a continuación, se desplegará una ventana donde crearemos el nombre de nuestra superficie. Seguidamente continuamos con los pasos mostrados:

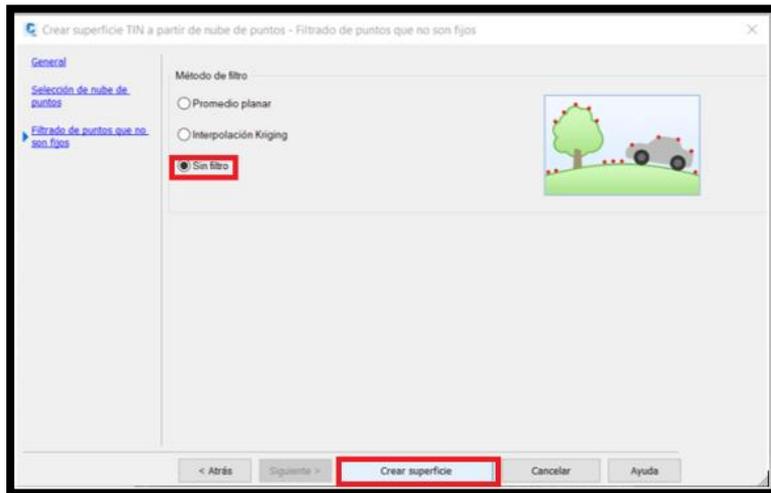
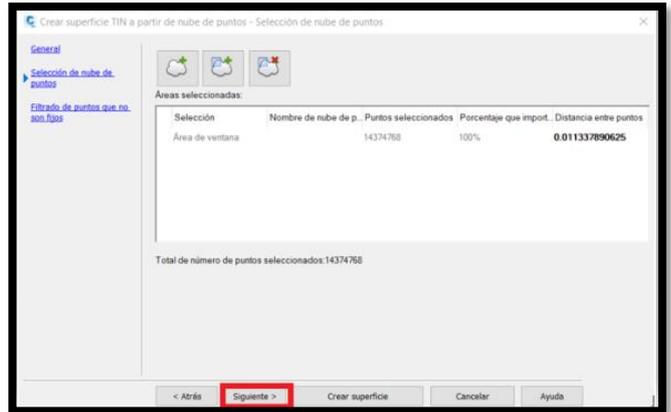
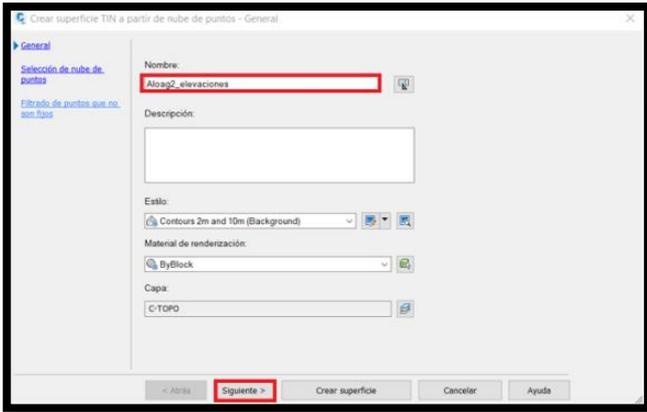
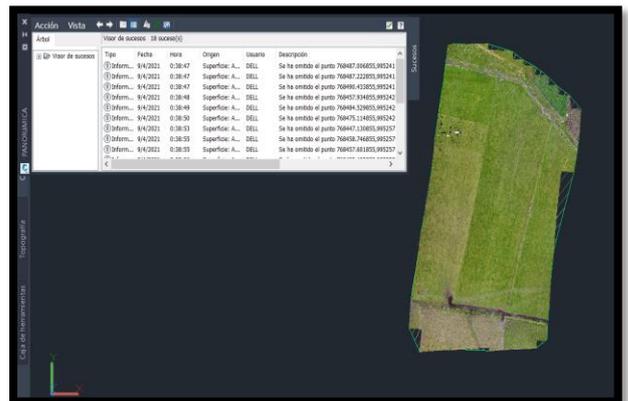
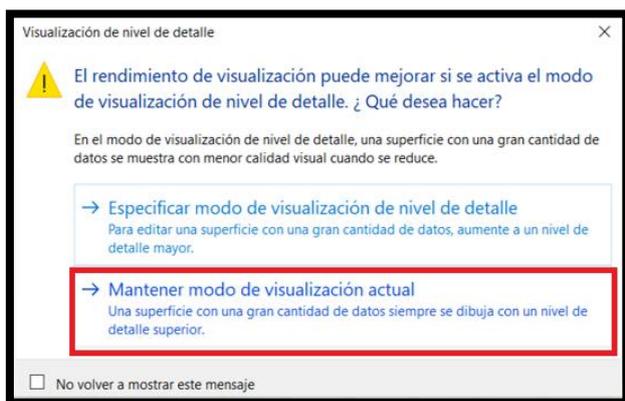
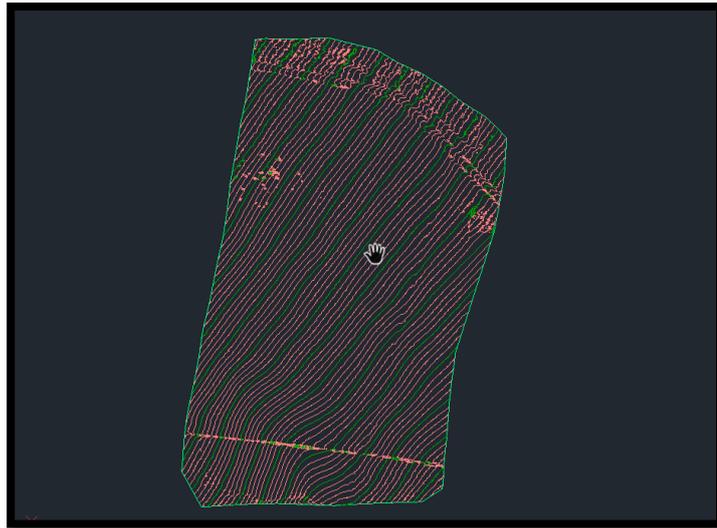


Figura 88: Configuración del estilo de superficie.

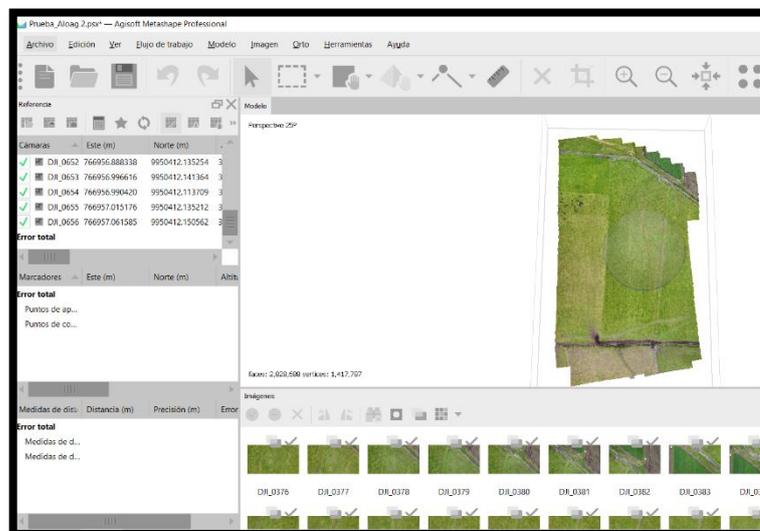
5. Una vez realizado este proceso tomará tiempo en procesar las elevaciones que nos genera las curvas de nivel. Esto dependerá de la cantidad de puntos que se haya tomado. Al finalizar el proceso aparecerá la siguiente ventana donde se escogerá la segunda opción.



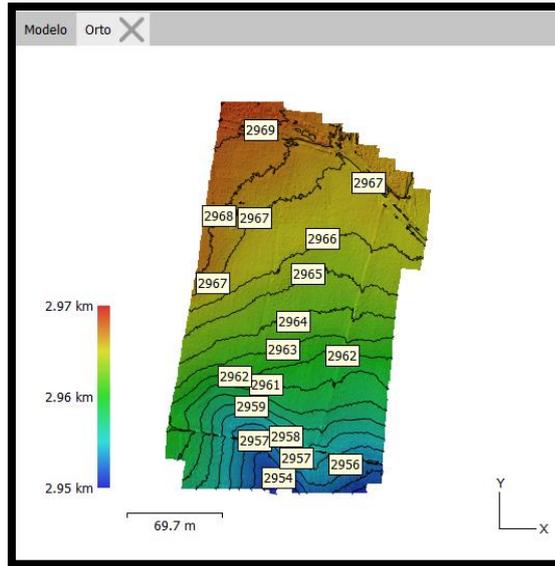


*Figura 89: Imagen de la superficie y curvas de nivel del terreno de Alóag -lote 2.*

A continuación se muestra el otro procesamiento de la fotogrametría realizado solo con las fotografías tomadas con el dron del terreno Alóag – Santo Domingo. Cabe mencionar que es el mismo proceso explicado anteriormente pero en este caso, al programa Agisoft Metashape no se le exportan los puntos tomados con el RTK, con la finalidad de poder comparar la precisión que tiene solo el levantamiento con UAV (dron).



*Figura 90: Generación de nube de puntos densa sin puntos de control.*



*Figura 91: Modelo digital de elevación (MDE) – Ortomosaico sin puntos de control.*

Para concluir se muestra un análisis comparativo que se realizó con el procesamiento de los puntos tomados con el equipo RTK + UAV (dron) y otro solo con el procesamiento de las fotografías tomadas con UAV, con la finalidad de relizar la medición de una línea que va desde el punto de control 1 hasta el punto de control 3 para de esta manera analizar la presición que tienen los equipos mencionados.

Posteriormente, se muestra el proceso para determinar la distanica de la línea de los puntos de control mediante las coordenadas UTM obtenidas del equipo de posicionameinto RTK.

<b>Coordenadas UTM de los puntos de control fotogramétrico obtenidos con RTK</b>		
<b>No.</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	9950299.93	767046.352
<b>2</b>	9950193.89	766980.139
<b>3</b>	9950162.87	766962.5

*Tabla 2: Coordenadas UTM de los puntos de control obtenidos con RTK.*

Distancia de punto 1 a punto 2 (Figura 76).

$$d1 = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$$

$$d1 = \sqrt{(9950193.89 - 9950299.93)^2 + (766980.139 - 767046.352)^2}$$

$$d1 = 125.014 \text{ m}$$

Distancia de punto 2 a punto 3 (Figura 76).

$$d2 = \sqrt{(x2 - x1)^2 + (y2 - y1)^2}$$

$$d2 = \sqrt{(9950162.87 - 9950193.89)^2 + (766962.5 - 766980.139)^2}$$

$$d2 = 35.684 \text{ m}$$

$$d_{total} = d1 + d2$$

$$d_{total} = 125.0145714 \text{ m} + 35.6843764 \text{ m}$$

$$d_{total} = 160.698 \text{ m}$$

El valor de la distancia total medida manualmente de la posición de las marcas en el programa Civil CAD 3D es de 160.437 m solo con el levantamiento UAV (dron).

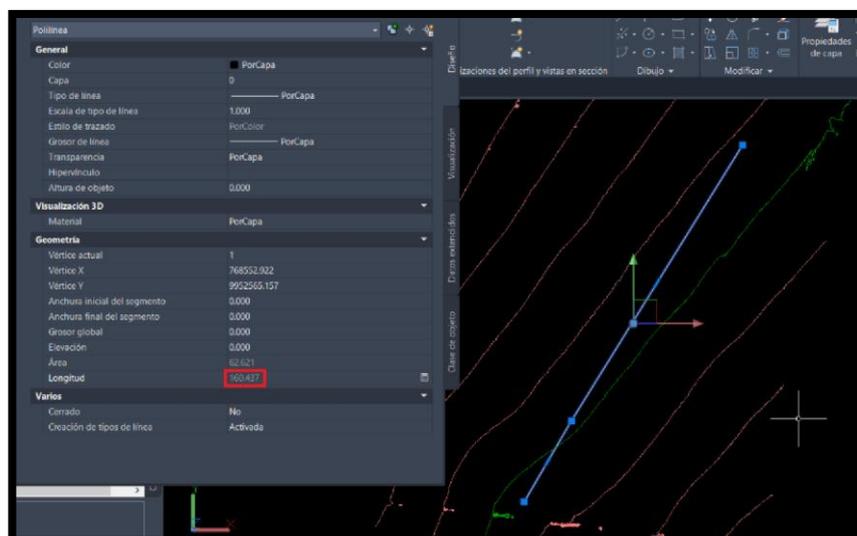


Figura 92: Medición del levantamiento con UAV + RTK (puntos de control).

Finalmente mediante una tabla comparativa se muestra la precisión realizada con el equipo Dron + RTK y otra solo con el levantamiento realizado con dron.

<b>Precisión</b>	
<b>Dron + RTK (m)</b>	<b>Dron (m)</b>
160.698	160.437
<b>Diferencia de precisión (m)</b>	
<b>0.261</b>	

*Tabla 3: Diferencia de precisión de los equipos dron +RTK y solo dron.*

Con estos resultados de la precisión de cada equipo, podemos ver que al unificar el procesamiento de datos realizado con dron, más los puntos de control tomados con el RTK se tienen una precisión milimétrica, mientras que los resultados que se hicieron solo con el equipo UAV (dron), sin la exportación de las coordenadas de puntos de control, refleja una variación centimétrica de 26,195 cm.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- **Conclusiones**

1. En el presente trabajo de titulación se consiguió construir, ensamblar, calibrar e instalar el hardware y software para el funcionamiento de la caja de arena de realidad aumentada “AR Sandbox”, que servirá como una herramienta innovadora para el aprendizaje de los estudiantes.
2. Al ejecutar el programa AR Sandbox se logró la correcta generación y visualización de curvas de nivel, modelación de la topografía de la tierra en 3D, gama de colores para representar altitudes y generación de lagos, ríos con simulaciones de represas por medio de la generación de lluvia.
3. Se realizó una guía de los pasos a seguir para la correcta utilización de los equipos de posicionamiento RTK y fotogramétricos UAV.
4. Se llevó a cabo el levantamiento de dos terrenos, el uno ubicado en la vía Alóag – Santo Domingo de la provincia de Pichincha y el otro en la parroquia Cunchibamba en la provincia de Tungurahua, para ejemplificar el uso de los equipos.
5. Al comparar la medición de los puntos de control fotogramétricos realizados solo con el UAV (dron), se puede concluir que estos valores nos dan un margen de error centimétrico de 26.195 cm en una distancia de 160.69 m que equivale a 16.30 cm por cada 100 metros de medición, en comparación con los valores tomados con el equipo de posicionamiento satelital RTK + UAV (dron) que tiene un margen de error milimétrico.

- **Recomendaciones**

1. Se recomienda que para la calibración de la caja de arena se realice en un cuarto oscuro ya que la presencia de luz produce variación en las coordenadas (x, y, z) al disminuir la nitidez de las imágenes proyectadas en la caja de arena.
2. La relación de largo y ancho recomendado para la construcción de la caja de arena debe ser de 4:3 debido a que concuerdan con la relación del lector cámara-sensor del Kinect.
3. El sensor Kinect al menos debe tener una altura desde el fondo de la caja de arena a 90 cm y horizontalmente debe ubicarse a la mitad de la caja. En este caso la posición de nuestro Kinect se ubicó en “x” a 50 cm y en “y” a 35cm, como se muestra en la imagen.



*Figura 93: Visualización de la correcta ubicación del Kinect y proyector.*

4. Después de realizar la instalación del programa Linux Mint con sus respectivas librerías, se recomienda un PC de las características mencionadas a continuación o con características superiores a esta. En nuestro caso finalmente funcionó la generación de la lluvia con CPU de marca Q-one LGX-5908 Procesador Intel (R) Core (TM) i7-9700 con

salida HDMI y VGA que tiene una memoria RAM 8192 MB y con una tarjeta gráfica Intel (R) UHD Graphic 630 con 4154 MB de memoria total, memoria de pantalla (VRAM) de 4154 MB y memoria compartida de 4026 MB para que se conecte con los equipos. Además, cuenta con un Kinect XBOX360 que posee un sensor de profundidad 3D, cámara RGB, micrófono multi- arreglo y un soporte de inclinación motorizada y un proyector de marca EPSON EX5220 de corto alcance.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abel Herrero Herranz, Ainhoa Godoy Guaza, Flaviu E. Hongu y Alejandra González Campesino. (2019). Ar sandbox: an interactive educational resource for modeling and simulation of geological processes in the classroom. En *Teaching of Earth Sciences*(94). Madrid: Kolima.
- Bonneval, H. (1972): *Photogrammétrie Générale*. París: Ed. Eyrolles.
- Cajas, J., Gabriel, W., & Prado Garrido, J. D. (2018). Análisis técnico comparativo entre los métodos topográficos tradicionales y el método de aerofotogrametría con vehículo aéreo no tripulado.
- Castaña, M. (2017). Fundamentos del sistema GPS. Obtenido de: [http://www.edu.xunta.gal/centros/cfcoruna/aulavirtual2/pluginfile.php/8894/mod\\_resource/content/0/Manual\\_GPS\\_Rev01.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/cfcoruna/aulavirtual2/pluginfile.php/8894/mod_resource/content/0/Manual_GPS_Rev01.pdf).
- Cepeda Naula, R. A. (2017). Investigación y desarrollo metodológico del uso de vehículo aéreo no tripulado (UAV) en las Geo ciencias (Bachelor's thesis, Quito: UCE.).
- Dirección General de Aviación Civil. (2020). Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R. 12/04/2021, de Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) Sitio web: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/5-DGAC-DGAC-2020-0110-R-Reglamento-de-RPAs.pdf>
- Jenkins, H. S., R. Gant, and D. Hopkins (2014), Shifting sands and turning tides: Using 3D visualization technology to shape the environment for undergraduate students, Abstract ED53B-3489 presented at Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 15–19 Dec.
- Lara, G. (2017). Caja de arena de realidad aumentada (Augmented Reality Sandbox) – EIT. *Actualidad EIT*, 1, 4.

Peña, J. S. (2001). Integración de orto fotografía digital en sistema de información geográfica: aplicación a la determinación de la superficie catastral rústica (Doctoral dissertation, Universidad Pública de Navarra).

Reed, S., Kreylos, O., Hsi, S., Kellogg, L., Schladow, G., Yikilmaz, M.B., Segale, H., Silverman, J., Yalowitz, S., and Sato, E., *Shaping Watersheds Exhibit: An Interactive, Augmented Reality Sandbox for Advancing Earth Science Education*, American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2014, Abstract no. ED34A-01 (2014)

Reed, S., Hsi, S., Kreylos, O., Yikilmaz, M.B., Kellogg, L.H., Schladow, S.G., Segale, H., and Chan, L., *Aumented Reality Turns a Sandbox into a Geoscience Lesson*, EOS 97, <https://doi.org/10.1029/2016EO056135> (2016)

REGME. (2017). Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador.

Woods, T. L., J. A. Woods, and M. R. Woods (2015), Using the Kreylos Augmented Reality Sandbox to teach topographic maps and surficial processes in an introductory geology lab at East Carolina University, *Geol. Soc. Am. Abstr. Programs*, 47(7), 111.

## 6. ANEXO



# PROYECTO: ALOAG 2- SANTO DOMINGO



## FICHA TÉCNICA

### LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON DRON

Tesista : Lissette Galarza

#### Tipos de Fotografías Aéreas

Fotografías Verticales	Fotografías Oblicuas
90 °	

Altura de Vuelo	Superposición Fotográfica	Número de Fotografías
35 m	70 %	281 fotos
Resolución de sensor	Velocidad (max)	Número de Fotos
6.17mm x4.65mm	32.2 km/h	281 fotos

#### Clima

Soleado	Normal	Nublado	Otros
	x		

#### Viento

Ligero	Normal	Fuerte
	x	



Ambato - Ecuador



0987937294- 032527527



aniliss\_g47@hotmail.com

## Croquis



Punto Inicial	Punto Final	Observaciones	Hora
P1	-	Junto a lote 1	10:30
P2	-	Aproximadamente a 1.25 m del punto 3	10:35
P3	-	Fin de lote 2	10:40





- Planimetría Terreno Alóag- Santo Domingo Lote 2.

