



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**  
**LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO PARA INVENTARIO DE ARCILLAS EN**  
**UNA FÁBRICA DE PORCELANATOS**

**Línea de investigación:**

**Procesamiento digital de imágenes y señales**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de  
Ingeniero Geógrafo

**Autor:**

Sotelo Collazos, Luis Alberto

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado:**

Alva Velásquez, Miguel

Legua Terry, Alberto Israel

Gonzales Alarcon, Angelino Oscar

**Lima - Perú**

**2024**



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**  
**LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO PARA INVENTARIO DE ARCILLAS EN**  
**UNA FÁBRICA DE PORCELANATOS**

**Línea de investigación:**

Procesamiento digital de imágenes y señales

Informe de suficiencia profesional para optar por el título profesional de Ingeniero Geógrafo

**Autor**

Sotelo Collazos, Luis Alberto

**Asesor**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado**

Alva Velásquez, Miguel

Legua Terry, Alberto Israel

Gonzales Alarcon, Angelino Oscar

**Lima - Perú**

**2024**

## ÍNDICE

RESUMEN .....	7
ABSTRAC .....	8
I. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1. Trayectoria del Autor .....	10
1.2. Descripción de la Empresa.....	10
1.3. Política empresarial.....	11
1.2.1 Misión: .....	13
1.2.2 Visión: .....	13
1.2.3 Valores .....	13
1.4. Organigrama de la Empresa UAV Latam Perú.....	14
1.5. Áreas y funciones desempeñadas.....	15
II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON RPAS PARA CÁLCULO DE VOLUMEN	18
2.1 Objetivos .....	21
2.1.1 Objetivo General.....	21
2.1.2 Objetivos Específico.....	21
2.2 Antecedentes .....	22
2.3 Marco Conceptual .....	23
2.4 Metodología .....	24
2.4.1 Reconocimiento de Campo.....	24
2.4.2 Planificación .....	26
2.4.3 Trabajo de campo .....	40
2.4.4 Geoprocesamiento de la información .....	46
2.5 Resultados .....	55
2.5.1 Desarrollo de la Metodología.....	55
2.5.2 Modelos tridimensionales .....	56
2.5.3 Curvas de Nivel y cálculo de volumen .....	58
2.5.4 Ensayos de Densidad y estimación de pesos.....	66
2.5.5 Comparativa de resultados. ....	69
2.5.6 Análisis mensual .....	71
2.6 Discusión de resultados.....	79
2.6.1 Respecto a la metodología .....	79
2.6.2 Respecto al stock.....	79
2.6.3 Respecto del volumen.....	80

2.6.4	<i>Respecto de las imágenes</i> .....	80
2.6.5	<i>Respecto de la densidad</i> .....	81
III	APORTES DESTACABLES A LA EMPRESA .....	82
IV.	CONCLUSIONES .....	83
V.	RECOMENDACIONES .....	84
VI.	REFERENCIAS .....	86
VII.	ANEXOS.....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas perimetales del almacén de arcillas.....	25
Tabla 2	Características Cámara Zenmuse P1.....	35
Tabla 3	Cuadro comparativo de RPAS y cámaras.....	36
Tabla 4	Parámetros del Plan de Vuelo.....	38
Tabla 5	Cronograma de actividades.....	40
Tabla 6	Resultado de la información capturada.....	46
Tabla 7	Resultado de corrección de punto geodésico.....	48
Tabla 8	Resultado de corrección de puntos de control.....	50
Tabla 9	Productos obtenidos.....	56
Tabla 10	Productos obtenidos.....	59
Tabla 11	Nombre de Materiales por grupos de trabajo.....	63
Tabla 12	Volumen calculado por montículo.....	65
Tabla 13	Densidad y Masa calculada.....	67
Tabla 14	Comparativa de volúmenes.....	69
Tabla 15	Caolín 501 del mes de marzo.....	71
Tabla 16	Caolín 501 del mes de abril.....	72
Tabla 17	Caolín 501 del mes de mayo.....	73
Tabla 18	Caolín 501 del mes de junio.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Organigrama estructural de la empresa UAV Latam Perú.....	14
Figura 2	Ubicación de la Fábrica de porcelanatos.....	24
Figura 3	Perímetro del almacén de arcillas.....	25
Figura 4	Ortomosaico del vuelo de exploración.....	26
Figura 5	Estructura de Punto Geodésico P01.....	28
Figura 6	Ubicación de Puntos de Control Fotogramétrico.....	29
Figura 7	Delimitación de Acopios.....	29
Figura 8	Levantamiento superficial.....	30
Figura 9	Flujo de trabajo topografía y geodesia.....	31
Figura 10	Espectro electromagnético visible.....	33
Figura 11	Cámaras RGB DJI Zenmuse P1 (RGB) y Zenmuse H20T (RGB+Termico).....	34
Figura 12	Matrice 300 RTK y Cámara Zenmuse P1.....	35
Figura 13	Variación del Tamaño del Pixel.....	36
Figura 14	Plan de vuelo 01 – UGCS.....	38
Figura 15	Plan de vuelo 02 - perpendicular – UGCS.....	39
Figura 16	Flujo de trabajo de planificación y ejecución de vuelos.....	39
Figura 17	Punto geodésico P-01.....	40
Figura 18	Receptor Geodésico R8s instalado Punto Geodésico P-01.....	41
Figura 19	Receptor Geodésico R8s instalado Punto de control fotogramétrico .....	42
Figura 20	Levantamiento convencional RTK – Delimitación de Acopios.....	42
Figura 21	Levantamiento superficial.....	41
Figura 22	Centro de operaciones.....	44
Figura 23	Armado e instalación de aeronave.....	44
Figura 24	Seguimiento de vuelo.....	45
Figura 25	Flujo de trabajo del procesamiento digital.....	47
Figura 26	Software Trimble Business Center (TBC).....	47
Figura 27	Estación de Rastreo Permanente Li04 – Pucusana.....	48
Figura 28	Resultado del procesamiento de Línea Base del TBC.....	49
Figura 29	Resultado del procesamiento de Línea Base del TBC.....	49
Figura 30	Visualización del Levantamiento convencional RTK.....	50
Figura 31	Procesamiento en RedToolBox.....	51
Figura 32	Superficies para cálculo de volumen.....	53
Figura 33	Diferencia posible entre superficies .....	54
Figura 34	Perfil de elevación real de un depósito de arcilla.....	54
Figura 35	Flujo de trabajo.....	55
Figura 36	Nube de puntos generada en Agisoft Metashape.....	56
Figura 37	MDT generada en Agisoft Metashape.....	57
Figura 38	Malla 3D generada en Agisoft Metashape.....	57
Figura 39	Ortomosaico en Agisoft Metashape.....	58
Figura 40	Curvas de nivel generada en Agisoft Metashape.....	59
Figura 41	Superficie con rumas en Civil3D.....	60
Figura 42	Superficie base de rumas en Civil3D.....	60
Figura 43	Superposición de superficies.....	61
Figura 44	Superficie final.....	61
Figura 45	Comparación de superficies.....	62
Figura 46	Corte de superficie independiente.....	62

Figura 47	Distribución de materiales por grupo de trabajo.....	64
Figura 48	Cono según norma ASTM d 1556.....	66
Figura 49	Ortomosaico del mes de marzo.....	72
Figura 50	Ortomosaico del mes de abril.....	73
Figura 51	Ortomosaico del mes de mayo.....	74
Figura 52	Ortomosaico del mes de junio.....	75
Figura 53	Variación mensual de la muestra.....	75
Figura 54	Comparación de cálculos de febrero.....	76
Figura 55	Comparación de cálculos de marzo.....	77
Figura 56	Comparación de cálculos de abril.....	77
Figura 57	Comparación de cálculos de mayo.....	78
Figura 58	Comparación de cálculos de junio.....	78

## RESUMEN

En el presente informe se detallan las actividades realizadas por el autor como parte de su experiencia profesional en el ámbito topográfico y geodésico, aplicado a los cálculos volumétricos de materias primas, en este caso, las arcillas utilizadas en la producción de porcelanatos. En este contexto, nos referimos a como adecuar la metodología para realizar un cálculo volumétrico de arcillas mediante el uso de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en una fábrica de porcelanatos. La metodología utilizada en el presente estudio explora las aplicaciones prácticas de los RPAS que inician desde la planificación y la ejecución del levantamiento topográfico y conseguir realizar una comparativa respecto a métodos convencionales, dando como resultado una mejor precisión tomando en cuenta criterios de supervisión en el geoprocesamiento de la información. Es por lo mencionado que este informe concluye en que la implementación de los RPAS permite realizar cálculos con los productos obtenidos, como es el modelo digital de terreno, que nos permite tener una mayor precisión en un tiempo reducido y evitando la interacción y riesgos sobre una superficie donde el traslado del personal puede repercutir. Es así que la metodología propuesta permite impulsar la productividad y promover prácticas industriales más sostenibles y eficientes.

*Palabras clave:* Topografía, Fotogrametría, Sistema de Aeronaves Piloteadas a Distancia, Cubicación.



## ABSTRAC

In an environment where porcelain tile production requires efficient management of natural resources, such as clays, the implementation of advanced technologies becomes crucial to ensure the viability and sustainability of industrial processes. In this regard, the introduction of innovative methodologies, such as the use of RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), emerges as a promising strategy with the potential to transform resource management and improve operational efficiency. The objective of this study is to examine the benefits of integrating RPAS into the process of accurate volumetric calculation to enhance logistics and optimize strategic planning and decision-making in the industrial context. A focus on innovation and sustainability is sought. In summary, this study explores the practical applications of RPAS in topographic surveying and compares its performance with conventional methods. The results demonstrate greater precision and efficiency in information processing. The implementation of RPAS allows for more accurate topography in less time, avoiding interaction and risks associated with personnel transportation on the work surface. This proposed methodology drives productivity and promotes more sustainable and efficient industrial practices.

*Keywords:* Topography, Photogrammetry, Remotely Piloted Aircraft System, Cubage.

## I.INTRODUCCIÓN

En el contexto de la ejecución de actividades y producción, el uso logístico eficiente de los recursos naturales o materias primas desempeña un papel crucial en la producción sostenible y rentable. La disponibilidad y calidad de estas materias primas, tienen un impacto directo en la composición, propiedades y rendimiento de los productos finales, por lo tanto, es fundamental contar con un sistema de gestión preciso y actualizado que permita monitorizar de manera eficaz el inventario de estas materias primas. En este caso, este inventario se basa en realizar comparaciones de los volúmenes obtenidos mediante métodos de levantamiento de información con RPAS (Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia) con el conteo de los volúmenes dispuestos por cada descarga de material, así mismo este inventario puede reflejarse en el conteo de la masa de cada material que se calcula interactuando tanto el volumen con la densidad específica de cada uno. En este sentido, la implementación de metodologías innovadoras para el cálculo de volumen, representa una oportunidad única para mejorar la eficiencia, la precisión y la sostenibilidad en la gestión de los recursos naturales. En este informe se propone explorar en detalle el impacto y los beneficios de la integración de tecnologías avanzadas como es el uso de RPAS en el proceso de inventario de arcillas, destacando su potencial para optimizar la planificación estratégica, mejorar la toma de decisiones y garantizar la viabilidad a largo plazo de la producción de porcelanatos. Con un enfoque en la innovación y la sostenibilidad, esta investigación pretende ofrecer una visión integral y actualizada, respondiendo así la interrogante ¿cómo las tecnologías emergentes pueden revolucionar la industria y contribuir a un desarrollo más eficiente?

### **1.1. Trayectoria del Autor**

Como profesional egresado de la escuela de Ingeniería Geográfica, a lo largo de mi trayectoria me he desempeñado en diversos rubros como el Catastro, Saneamiento Físico Legal, Gestión Urbana y Minería, enfocándome en todos estos casos en el desarrollo de actividades topográficas y geodésicas. He trabajado en entidades como en la Municipalidad de San Martín de Porres, en el Gobierno Regional del Callao, Municipalidad Provincial del Callao desempeñándome en actividades de gestión urbana aplicando mis conocimientos en levantamientos topográficos para la actualización de la información cartográfica, utilizando softwares como Autocad, Autocad MAP, ArgGis, Envi y Erdas Image.

Es después de diez años de experiencia en estos rubros que decidí optar por una nueva propuesta y entre a trabajar a la Unidad Minera Apumayo, perteneciente al Grupo Aruntani en la provincia de Lucanas, en el departamento Ayacucho, donde amplie mis conocimientos y habilidades. Es en este punto donde inicie con la aplicación de nuevas tecnologías para levantamientos topográficos, específicamente utilizando los RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) para levantamientos fotogramétricos que dan como resultado, después de un procesamiento detallado, productos de calidad y alta precisión. Es durante mis últimos tres años de experiencia que vengo laborando en UAV LATAM PERÚ, empresa del sector privado que se dedica a la aplicación de RPAS en diferentes rubros, desempeñándome como Ingeniero de Operaciones encargado del Área de Topográfico y Geodesia.

### **1.2. Descripción de la Empresa**

UAV Latam Perú SAC inició como una propuesta para ingresar al mercado de Aeronaves No Tripuladas también conocidas como RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) o UAV (Unmanned Airplane Vehicle). Se enfocó principalmente en el segmento de RPAS de Alta Gama, abarcando tecnologías en Aeronaves de Ala Fija, Aeronaves de Ala Rotatoria y la combinación de estas que se denominan Aeronaves VTOL (Vertical Take-Off and Landing).

Desde sus inicios, el objetivo primordial de la empresa ha sido la comercialización de productos y servicios relacionados con esta tecnología, tanto a nivel nacional como en toda la región de Latinoamérica. La empresa ha llevado a cabo diversos proyectos en distintos mercados, incluyendo Minería, Agricultura, Defensa, y Servicios Públicos. UAV Latam Perú se encuentra destacada como líder en el mercado de Defensa, siendo reconocida por todas las Fuerzas Armadas del Perú debido a su participación en operaciones militares de carácter reservado. Actualmente, la empresa ha decidido expandirse de manera significativa en el sector minero en Perú. Cada miembro de la empresa está abordando esta tarea de manera responsable y eficiente, marcando un hito importante en nuestra trayectoria.

### **1.3. Política empresarial**

De acuerdo al portal web de la empresa UAV del Perú, la política empresarial se centra en proveer a los clientes productos y soluciones de Alta Tecnología procesando e integrando información con Inteligencia Artificial a través de la captura de información con UAV Drones, asistidos por un Sistema Integrado de Gestión , que nos permite efectuar las actividades, cumpliendo especificaciones, cuidando el medio ambiente, asegurando la seguridad y salud en el trabajo, respaldando la información y confidencialidad de los resultados, con una sólida integridad de nuestros colaboradores y partes interesadas.

Para lograrlo, el compromiso con la gestión se fundamenta en:

- Optimizar la gestión de procesos orientándolos hacia la calidad a través de la prevención de riesgos, mediante la identificación, evaluación y control de los factores que la pudieran afectar, centrándonos en la satisfacción de nuestros clientes y partes interesadas pertinentes, cumpliendo con los estándares establecidos.
- Implementar mecanismos cumpliendo con el ciclo de vida de los recursos, protegiendo el medio ambiente, la biodiversidad y los ecosistemas con el uso sostenible de los

recursos naturales y la atención oportuna de emergencias ambientales que se pudiesen presentar dentro de nuestras operaciones.

- Prevenir la ocurrencia de accidentes, incidentes peligrosos y enfermedades ocupacionales de nuestros colaboradores y partes interesadas o aquellas ejecutadas en el desarrollo de nuestras actividades, minimizando y controlando los factores de riesgo de seguridad y salud en el trabajo existentes y los que se pudiesen generar, garantizando que los trabajadores y su representante sean consultados y participen activamente en la gestión de Seguridad y Salud en el trabajo.

- Participar en el desarrollo de iniciativas, respeto a los derechos humanos declarados en el “Código de Conducta”, tomando en consideración las expectativas relacionadas a la Responsabilidad Social de nuestros colaboradores y partes interesadas.

- Asegurar la consistencia, almacenamiento y protección de la información de la gestión, comprometiéndonos en la gestión de la seguridad de la información que garanticen la confidencialidad, trazabilidad y disponibilidad de la información.

- Fomentar una cultura responsable, prohibiendo las actividades de soborno en nuestras operaciones; promoviendo la integridad de nuestros colaboradores, sin temor a represalias ante el informe de incidentes; contando con una autoridad independiente para ejercer la función antisoborno, y con el establecimiento de canales de denuncia y aplicación de medidas disciplinarias ante el incumplimiento de esta política de Gestión, principios y valores, garantizando la autoridad e independencia de la función de cumplimiento.

- Cumplir con la legislación aplicable, normas y otros requisitos suscritos por la organización del Sistema integrado de Gestión para establecer medidas necesarias de prevención.

- Garantizar la mejora Continua del desempeño en nuestro Sistema Integrado de gestión revisando periódicamente nuestros servicios, procesos y procedimientos establecidos asegurando el desarrollo sostenible, la responsabilidad social y la competencia sana.

### **1.2.1 Misión:**

Proveer a los clientes soluciones de alta tecnología procesando e integrando información a través de captura de datos con RPAS, respetando y teniendo en cuenta nuestra responsabilidad social y privacidad de los ciudadanos.

### **1.2.2 Visión:**

Ser reconocida como una empresa líder en Latinoamérica por brindar productos y soluciones con RPAS de alta tecnología, evolucionando hacia un modelo de plataforma digital centrada en la creación con los clientes de soluciones de servicios y productos.

### **1.2.3 Valores**

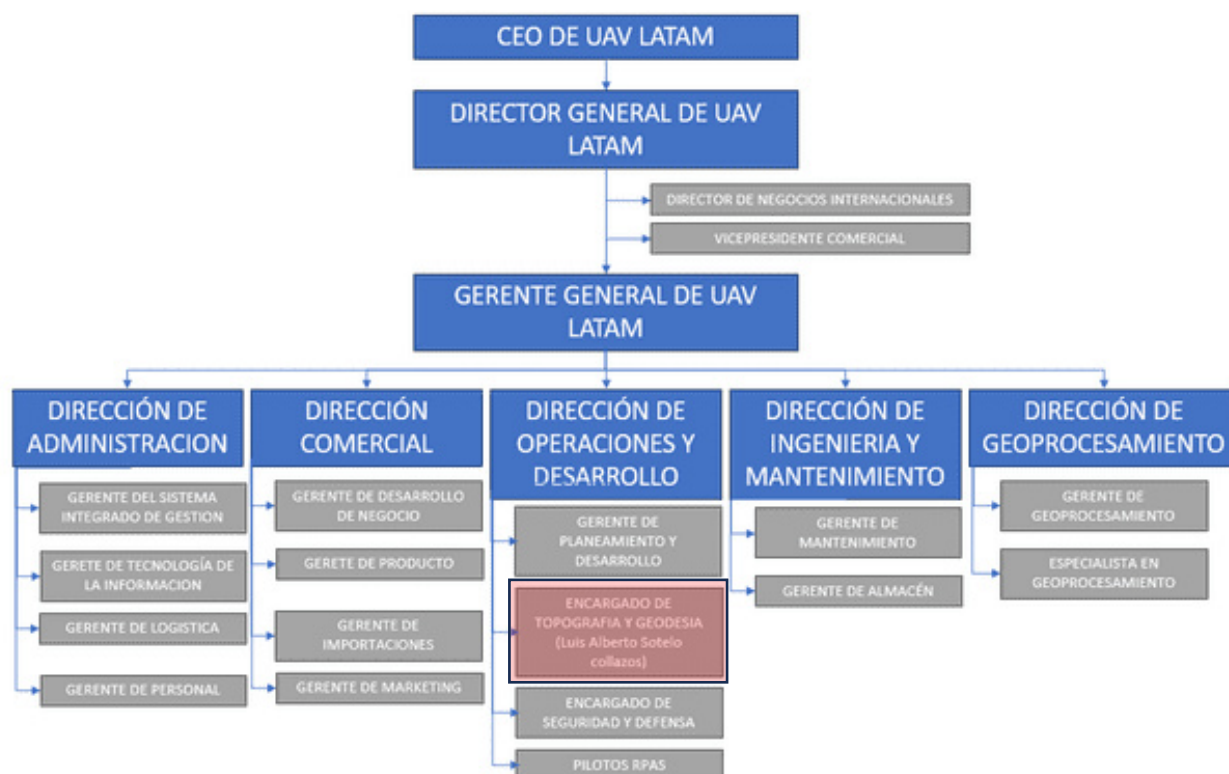
- **Honestidad:** La empresa se compromete a actuar con transparencia y veracidad en todas sus operaciones.
- **Integridad:** Se espera que la empresa mantenga una ética sólida en todas sus acciones y decisiones.
- **Responsabilidad:** UAV Latam Perú asume la responsabilidad de sus acciones y se esfuerza por cumplir con sus compromisos.
- **Innovación:** La empresa busca constantemente nuevas soluciones mediante el uso de drones e inteligencia artificial.
- **Trabajo en equipo:** Fomenta la colaboración entre sus empleados para alcanzar objetivos comunes.
- **Compromiso con la comunidad:** UAV Latam Perú se compromete a contribuir de manera positiva al entorno en el que opera.

#### 1.4. Organigrama de la Empresa UAV Latam Perú

La empresa UAV Latam Perú se ubica actualmente en la avenida Pardo 434 en el distrito de Miraflores, provincia y departamento de Lima y pertenece a la corporación UAV LATAM que tiene presencia en 9 países: Brasil, Argentina, Chile, Colombia, Panamá, Costa Rica, México, Republica Dominicana y Perú. Si bien toda la estructura de esta corporación parte de un mismo CEO o jefatura general, cada país tiene la autonomía de estructurar su propia organización de acuerdo a las necesidades y leyes que los rigen. En el caso de UAV Latam Perú, cuenta con Direcciones que trabajan enfocándose en las necesidades de las actividades administrativas y operativas.

**Figura 1**

*Organigrama estructural de la empresa UAV Latam Perú*



Nota. Organigrama estructural definido por la Gerencia General de UAV Latam Perú y aprobado por el Ceo de UAV Latam en el año 2016. Tomado por cortesía de la empresa UAV Latam Perú.

### 1.5. Áreas y funciones desempeñadas

El autor se ha desempeñado en diferentes rubros dentro de instituciones tanto públicas como privadas a lo largo de su trayectoria profesional.

Inicialmente en el año 2007 participo durante un año en la empresa **Consulting Outsourcing Management Sociedad Anónima** (COMSA), dedicada a brindar servicios auxiliares, como técnico Linderador para el proyecto de actualización del Catastro de servicios para SEDAPAL donde la función principal era la medición de los frentes de lotes y ubicación de las cajas de agua de cada uno. Por el desempeño demostrado durante los primeros meses de trabajo se le otorgó el cargo de confianza para la supervisión, designación de puntos de trabajo y control de las brigadas de trabajo así como participación en la elaboración de la base gráfica digital. Esta experiencia se considera un caso de éxito para el autor ya que en poco tiempo demostró su capacidad de liderazgo y toma de decisiones en la ejecución del proyecto indicado.

Posteriormente ingreso a trabajar al proyecto de implementación catastral en la **Municipalidad distrital de San Martín de Porres**, donde se desempeñó progresivamente en todas las etapas de este proyecto. Inicialmente como Técnico Catastral encargado de inventariar la información predial, demostrando desempeño y capacidad por lo mismo que fue ascendido al puesto de Cadista encargado de actualizar la información cartográfica con los datos obtenidos por el personal de campo. Mas adelante inicio actividades dentro de la brigada de topografía como asistente del topógrafo, encargándose de recolectar la información en campo con una Estación Total de marca Topcon así como actualizar el plano de lotización. Durant estas etapas participo brindando apoyo y sustento al área de calidad, a las brigadas de componente urbano y a la supervisión del proyecto. Toda esta experiencia demostró la capacidad de adaptabilidad del autor a cualquier labor designada, demostrando un buen desempeño como resultados óptimos.



Así mismo durante un periodo de cuatro meses participo en el saneamiento de predios por parte del **Gobierno Regional del Callao** encargado de digitalizar la información registral a fin de identificar las propiedades dentro del área de influencia del Proyecto de ampliación de la Avenida Néstor Gambetta. Las funciones desempeñadas fueron variables dependiendo la necesidad del proyecto, realizando actividades de verificación de coordenadas en campo mediante técnicas de replanteo topográfico, así realizar la lectura y digitalizar la información registral. Esta labor fue un reto personal para el autor debido al alcance e importancia de los resultados que alcanzaron la calidad esperada.

Posteriormente durante 8 años se desempeñó en la Sub Gerencia de Planeamiento Urbano y Catastro adscrita a la Gerencia General de Desarrollo Urbano de **la Municipalidad Provincial del Callao**, donde participo como cadista del proyecto integral de catastro y topógrafo de campo, encargado de realizar el levantamiento topográfico con fines de actualización catastral. De igual manera participo dentro del área de Habilitaciones Urbanas como técnico cartográfico encargado de evaluar los expedientes para la comisión técnica de habilitaciones urbanas. Las labores dentro de esta etapa fueron variadas de acuerdo a la necesidad de la gerencia, participando así como un elemento de importancia para la toma de decisiones frente al manejo de la información catastral y a los tramites de Habilitación Urbana.

Fue a partir del año 2018 que decidió optar por nuevas experiencias e ingreso a trabajar a la **Unidad Minera APUMAYO**, en la provincia de Lucanas – Ayacucho, dentro del área de topografía, desempeñándose como cadista y supervisor de campo, encargado de actualizar la información diaria de los frentes de minado, coordinar las actividades de necesidad para las operaciones mineras en general y supervisar y organizar a las brigadas de trabajo. Es en esta etapa que incursiono en el uso de RPAS para la ejecución de los levantamientos fotogramétricos y sus diferentes aplicaciones. Estas labores fueron un reto que pudieron ser correctamente

superadas debido a la amplitud de diferencias respecto a experiencias previas, demostrando nuevamente la adaptabilidad y capacidad de liderazgo.

Actualmente en la empresa *UAV LATAM PERU*, el autor de esta investigación labora como Ingeniero de Operaciones, Piloto RPAS encargado del área de Topografía y Geodesia. Las labores a desempeñar se basan en las ejecuciones de las operaciones de vuelo en los distintos proyectos enfocados en levantamientos con sensores fotogramétricos y sensores Lidar con fines de levantamiento topográfico así como participar en las actividades de procesamiento de la información. Como encargado del área de topografía y geodesia, la responsabilidad se enfoca en planificar, coordinar, delegar y ejecutar las operaciones y actividades mencionadas. Cabe resaltar que la empresa UAV LATAM PERU abarca los distintos rubros de aplicación de RPAS, pero es en el ámbito topográfico y geodésico donde se presentan más oportunidades de proyectos a ejecutar. Algunos de los proyectos en los que el Autor ha participado son:

- Levantamiento con Sensor Lidar de la cuenca del río Huaura.
- Levantamiento fotogramétrico de la Unidad Minera Chinalco.
- Levantamiento topográfico con RPAS del aeródromo Libmani en San Bartolo.
- Levantamiento topográfico con RPAS en Unidad Minera Contonga.
- Levantamiento topográfico con RPAS para el cálculo de volumen en Punta Hermosa.
- Levantamiento fotogramétrico con fines catastrales de la ciudad de Chancay.

Cabe resaltar que todos estos proyectos se estructuraron desde la planificación, georreferenciación, instalación de puntos de control geodésicos, puntos de apoyo fotogramétricos, levantamientos aéreo topográficos y levantamientos topográficos convencionales complementarios.

## II. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO CON RPAS PARA CÁLCULO DE VOLUMEN

Un levantamiento topográfico es el proceso de medir, mapear y representar las características físicas de un terreno, ya sea natural o elaborado por el hombre, con la finalidad de generar un “Gemelo Digital”, que es la representación gráfica virtual detallada de este terreno, y permite tener una perspectiva real que optimiza la toma de decisiones en proyectos de ingeniería. Para esto, convencionalmente se utilizan instrumentos como Estación Total y Receptor Geodésico, pero en los últimos años una herramienta innovadora, que genera una serie de beneficios para optimizar tiempos y precisión, son los “RPAS” o más conocido por su nombre comercial como “Drone”. Estos equipos o aeronaves se encargan de capturar información de la superficie terrestre mediante la percepción remota utilizando distintos tipos de sensores. La información que se obtiene es procesada en softwares especializados para generar diferentes tipos de productos, tales como “Nubes de puntos”, “Modelo Digital de Terreno” (MDT), “Modelo Digital de Superficie” (MDE), “Modelos en tres dimensiones” (Malla 3D), “Ortomosaico” y las “Curvas de Nivel” que representan la topografía digital del terreno.

En este caso, la empresa dueña de la fábrica de producción de porcelanatos, que en adelante denominaremos “El cliente”, tiene la necesidad de solucionar una “dolencia logística” identificada por las diferencias considerables en el inventario de las materias primas dispuestas sobre la superficie del área de almacenamiento. Estas diferencias se dan en comparación con los volúmenes obtenidos mediante levantamientos topográficos convencionales respecto a la entrada y salida de material, que se refiere al conteo de camiones que ingresan y depositan el material en áreas determinadas, así como el movimiento posterior para utilizarlo como materia prima en los procedimientos de fabricación de los porcelanatos. Estos cálculos no mantenían un criterio estándar entre sí, reflejándose en diferencias e inconsistencias logísticas notorias.

Para poder satisfacer esta necesidad, es importante entender la necesidad del cliente y así poder identificar el procedimiento necesario y proponer una solución adecuada. Ante esto, el cliente solicita lo siguiente:

- Volumen en metros cúbicos de cada acopio de los distintos materiales dispuestos en la zona de almacén.
- Curvas de nivel a una equidistancia de 0.5m.
- Ensayos de densidad por cada tipo de material.
- Peso calculado de cada acopio de material.

De acuerdo a esto, el equipo técnico analizó la necesidad del cliente y recomendó los productos necesarios para satisfacer esta necesidad, siendo estos los siguientes:

- Punto Geodésico de orden C y puntos de control fotogramétrico. Con una verificación anual que permitirá mantener georreferenciada la información obtenida.
- Modelo digital de terreno de la plataforma base de punto de partida para los cálculos de volumen. Con una verificación Anual que permitirá tener la base para los cálculos de volúmenes que permitirán mantener el mismo punto de partida.
- Modelo digital de terreno de los acopios de material. Con una verificación mensual se obtendrá la información del estado real del stock al cierre de cada mes.
- Modelos 3D de la superficie. Con una verificación mensual, que permite el modelado de precisión para los cálculos de volumen.
- Delimitación de los montículos de material. Con un levantamiento mensual se obtendrá la información del estado real del stock al cierre de cada mes.
- Curvas de nivel a 0.5m de equidistancia de cada uno de los modelos digitales de terreno. Con una generación mensual que permitirá realizar los cálculos y comparaciones respecto al movimiento con el mes anterior.

- Ortomosaico georreferenciado. Con una generación mensual, permitirá analizar visualmente el estado del levantamiento al cierre de cada mes.
- Volumen en metros cúbicos de cada acopio de material. Con una entrega mensual que permitirá llevar el inventario y realizar la comparativa con el movimiento del material.
- Ensayo de densidad de cada uno de los materiales. Con una ejecución trimestrales (por cambio estacional) que permitirá obtener la masa relativa a cada acopio de material.
- Comparativa de los volúmenes obtenidos respecto a los volúmenes contados por el movimiento interno.
- Plano mensual de zona de almacenamiento.

Estos entregables fueron aceptados por el cliente, por lo tanto, se procedió a realizar la planificación de los trabajos necesarios. Estos se organizaron en 4 etapas siguiendo en cada un flujo de trabajo específico. Estas etapas se enfocan en el reconocimiento de campo, planificación, trabajo de campo y geoprocesamiento de la información.

## **2.1 Objetivos**

### **2.1.1 *Objetivo General***

- Realizar un levantamiento fotogramétrico para inventariar las arcillas de una fábrica de porcelanatos utilizando RPAS.

### **2.1.2 *Objetivos Especifico***

- Desarrollar una metodología a ser aplicada para realizar el inventario de arcillas en una fábrica de porcelanatos. (diagrama de flujo)
- Generar modelos tridimensionales del área de almacenamiento de arcillas mediante la aplicación de técnicas digitales.
- Determinar la topografía del área de almacenamiento de las arcillas mediante la ejecución de vuelos con RPAS para obtener el volumen a inventariar.
- Determinar la masa del material respecto estudios de densidad de cada montículo.
- Comparar los volúmenes de las arcillas obtenidos mediante el método fotogramétrico con los registros de las arcillas de la fábrica.
- Realizar el análisis del comportamiento del inventario de forma mensual

## 2.2 Antecedentes

Vásquez (2021) en su tesis titulada “Análisis del volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con dron, comparado con el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con estación total”, tuvo como objetivo principal determinar si ambos tipos de levantamiento son estadísticamente similares, es por esto que su análisis principal se basa en la comparativa de procedimientos y resultados utilizando Drone DJI Phantom 4 Pro y una Estación Total Trimble 5603 DR200. Este análisis dio como resultado que ambos procedimientos generan productos estadísticamente iguales con una diferencia menor al error máximo permisible del 5%, concluyendo que el valor agregado del levantamiento con RPAS es la optimización del tiempo y, por tal motivo, la reducción de los gastos operativos.

Riva (2023) en el artículo titulado “Delimitación de polígonos sobre la superficie base, para el cálculo volumétrico de material de acopio, utilizando tecnología RPAS” menciona que estas “Pilas De Acopio” no siempre están dispuestas sobre una superficie plana con perfiles uniformes. Sus cálculos de volumen se realizaron integrando tres softwares que dieron resultados distintos en función a sus propias herramientas y le permitieron analizar la influencia de la delimitación de los acopios que, sin contar con la superficie, generan variaciones en los cálculos. Su conclusión se enfoca en la importancia de realizar el levantamiento topográfico de la superficie antes de disponer el material, además que la aplicación de la tecnología con drones funciona de manera satisfactoria para la cuantificación de los volúmenes.

López (2023) en la investigación “Cálculo de volúmenes de acopios mediante láser escáner 3d en una concretera” explora el uso de herramientas tecnológicas para levantamientos topográficos, centrando su objetivo principal en obtener de esta manera los volúmenes de acopios aplicando. El análisis de este procedimiento reveló en el transcurso de las actividades las ventajas operativas para la obtención del volumen que según sus resultados se ajusta a los

tiempos y precisión esperada. Su estudio concluye en el beneficio del tiempo de levantamiento que es un 66% más rápido que otros procedimientos convencionales, aportando también mayor seguridad para el personal, pero considerando que la data obtenida tiene un mayor peso y por lo tanto un mayor tiempo en procesamiento.

### 2.3 Marco Conceptual

Para el desarrollo de este informe, se deben de considerar los siguientes conceptos generales:

- **Aeronave Pilotada a Distancia (Remotely Piloted Aircraft - RPA):** Es una aeronave operada por un “piloto remoto” que la monitorea y tiene responsabilidad directa de la conducción segura durante todo su vuelo. Una RPA puede poseer varios tipos de tecnología de piloto automático, pero, en todo momento, el piloto remoto puede intervenir en la gestión del vuelo.
- **Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (Remotely Piloted Aircraft System- RPAS):** Un RPAS se trata no solo de la aeronave, sino de todos los elementos y componentes que intervienen en las operaciones de vuelo, tales como el enlace de comunicaciones y telemetría, la estación en tierra desde donde se controla al dron y los accesorios de georreferenciación con los receptores geodésicos en tierra.
- **Software de Planificación de vuelo:** Programa que se utiliza para realizar la planificación y configuración del RPA, para el vuelo automático.
- **Plan de vuelo:** Es el informe donde se indican todos los datos referentes al vuelo del RPA.
- **Dirección General De Aeronáutica Civil (DGAC).** La DGAC supervisa e inspecciona y garantiza la seguridad aérea, ejerce la Autoridad Aeronáutica Civil del Perú. Dependencia especializada del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).



- **Tripulación Remota (TR):** Es el equipo de trabajo encargado de realizar las operaciones y está conformado por el Piloto RPAS (PRPAS) y un copiloto.
- **Cubicación:** Procedimiento que consiste en medir las dimensiones de un objeto con la finalidad de calcular su volumen.

## 2.4 Metodología

El levantamiento topográfico utilizando RPAS es una metodología que en los últimos años se ha impuesto como una opción que optimiza tanto los tiempos, recursos y seguridad del personal en comparación con los métodos topográficos convencionales. Este levantamiento de información se centra en la “Percepción Remota” que nos permite obtener la representación topográfica de la superficie con alta calidad y precisión.

### 2.4.1 Reconocimiento de Campo

La fábrica propiedad del cliente se encuentra ubicada en el distrito de Punta Hermosa, en la provincia y departamento de Lima y es el centro principal de la producción de porcelanatos.

## Figura 2

*Ubicación de la Fábrica de porcelanatos*



Fuente: Imagen obtenida de Google Earth.

El área de trabajo propuesta para este proyecto se extiende en una superficie de aproximadamente veinte hectáreas, ubicadas en la zona posterior de la fábrica, cuyo límite georreferenciado en el Sistema de Coordenadas UTM WGS84 – 18S, se indica a continuación.

**Tabla 1**

*Coordenadas perimetrales del almacén de arcillas*

Vértice	Sistema de Coordenadas UTM 18S	
	Datum WGS84	
	Este	Norte
A	301635.8817	8638268.2940
B	301960.9641	8638471.7642
C	301684.5979	8638745.7048
D	301440.3751	8638951.8443
E	301285.6092	8638774.8106
F	301553.1976	8638411.9460

**Figura 3**

*Perímetro del almacén de arcillas*



Fuente: Google Earth

Entendiendo la necesidad del cliente y conociendo la ubicación de la zona de análisis, se determinó la siguiente información que permitirá iniciar con la planificación.

- Ubicación y distribución de los acopios de material.
- Identificar las posibles ubicaciones de los puntos de control, así como del punto geodésico.
- Identificar la zona más adecuada para el despegue del RPA.
- Identificar las rutas de acceso, zonas de seguridad y zonas de riesgo.
- Realizar un vuelo de reconocimiento con un Mavic 2pro.

**Figura 4**

*Ortomosaico del vuelo de exploración*



Fuente: Elaboración Propia - software Agisoft Metashape.

## 2.4.2 Planificación

**2.4.2.1 Punto Geodésico.** De acuerdo a la Resolución Jefatural N° 139-2015/IGN/UCCN publicada el 28 de diciembre del 2015 que aprueba la norma técnica geodésica, para realizar el control de la georreferenciación enlazada a la Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo para el desarrollo de proyectos de ingeniería en áreas urbanas,

rurales y para todo trabajo que requiera una precisión a un nivel máximo de 10mm, es requerido instalar un Punto Geodésico de Orden C.

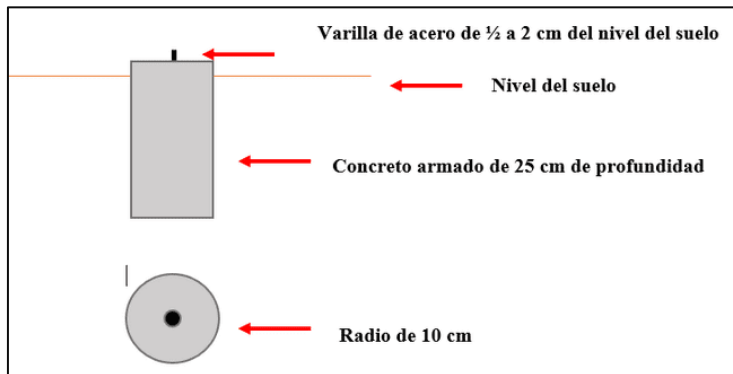
Esta instalación se basa en una monumentación con características específicas, acompañadas de una placa con datos que identificara el punto de orden C para que posterior a una recolección de datos, un procesamiento, informe y solicitud se logre la certificación otorgada por el mismo IGN.

**A. Discusión:** En este caso particular, el cliente nos indicó que para ellos no es necesario que se instale este punto, ya que su interés se centra en que, así sea con un sistema de referencia local, la información siempre parta de un mismo punto de coordenadas arbitrarias.

**B. Recomendación:** Fue por criterio técnico del autor que se indicó la importancia de mantener georreferenciada la información y enlazada a la red geocéntrica nacional, debido a que, en el transcurso del tiempo, siendo sobre todo una zona de trabajo sujeta a una dinámica constante, esta red arbitraria local mencionada por el cliente, puede perderse o alterarse. Este criterio se basa en que, de ocurrir alguna eventualidad sobre los puntos instalados, la información obtenida seguirá enlazada a la red geocéntrica nacional y podrá reinstalarse y mantener la precisión inicial.

Es por lo mencionado que se decidió instalar un hito geodésico bajo los criterios técnicos indicados por el Instituto Geográfico Nacional, pero sin la certificación del mismo. Para poder instalar el punto de control geodésico se consideraron los siguientes materiales:

- Concreto. Una bolsa de concreto instantáneo
- Varilla metálica. Una varilla de acero de 5/8" de 30cm.

**Figura 5***Estructura de Punto Geodésico P01*

Fuente: Elaboración Propia

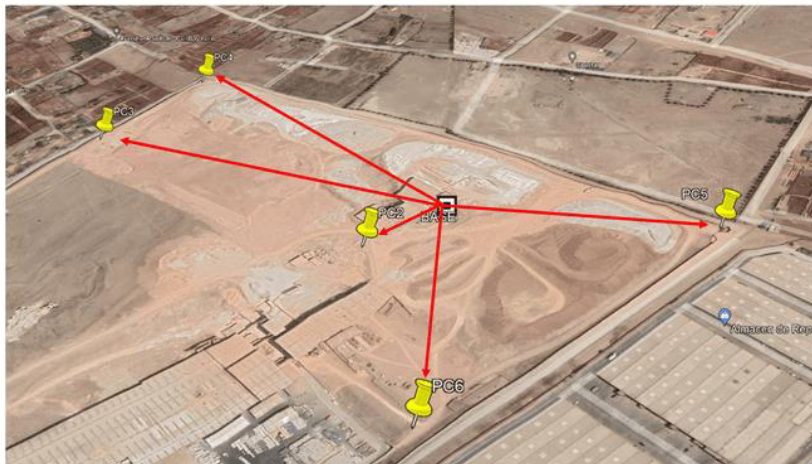
Para realizar la lectura de las coordenadas del punto monumentadas, se consideró utilizar el siguiente equipo con sus accesorios:

- Receptor Geodésico Trimble R8s, mas accesorios.
- Trípode de aluminio marca Trimble.
- Colector de datos Trimble TSC03.
- Flexómetro tres metros.

**2.4.2.2 Puntos de Control.** Se planifico que a partir del punto geodésico denominado P-01 se colocaran 5 puntos de control fotogramétrico. Esta planificación se centra en colocar una varilla de acero enterrada al nivel de la superficie que servirá como el centro de una marca hecha con cal en forma de cruz, donde se colocará el Receptor Geodésico R8s configurado como Rover en modo de corrección RTK (corrección en tiempo real) configurando la opción “Punto de Control Observado” que registra épocas a un segundo durante 3 minutos.

**Figura 6**

*Ubicación de Puntos de Control Fotogramétrico*



Fuente: Elaboración propia.

**2.4.2.3 Delimitación de los montículos.** Se definirá el límite de cada montículo de realizando el levantamiento perimetral de cada uno de ellos utilizando una antena R8s como Rover para realizar el levantamiento superficial con corrección en tiempo real (RTK).

**Figura 7**

*Delimitación de Acopios*



Fuente: Elaboración propia.



**2.4.2.4 Levantamiento superficial de plataforma:** En el reconocimiento de campo se identificó una zona libre que, según el cliente, está destinada a depositar nuevos acopios de material. Con la finalidad de verificar la precisión del levantamiento con RPAS en relación al método de georreferenciación elaborada, se incluyó en la planificación realizar el levantamiento superficial de la misma. Esto permitirá comparar el nivel de precisión final que se obtendrá.

### Figura 8

*Levantamiento superficial*



Fuente: Elaboración Propia.

Hasta este punto, las actividades planificadas se basan en el uso de instrumentos topográficos convencionales, por lo tanto la planificación de esta primera etapa se resume en el siguiente flujo de trabajo:

**Figura 9**

*Flujo de trabajo topografía y geodesia.*



Fuente: Elaboración Propia

**2.4.2.5 Escala de trabajo.** Para establecer esta escala se tomó en cuenta la Resolución Jefatural N° 053-2021/IGN/DIG/SDNGC “Especificaciones Técnicas para Generación de Ortoimágenes” que establece la relación del GSD máximo a una escala de trabajo para que la generación de productos topográficos llegue a tener la precisión adecuada para poder visualizarse correctamente en la escala indicada. Ante esto y de acuerdo a al portal web del software Pix4D (software de procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales), la escala de impresión indica el error aceptable que puede tener un ortomosaico impreso. Este error se basa en la diferencia más pequeña que la vista humana puede distinguir en un gráfico, que en una escala 1:1 es de aproximadamente 0,25mm. Este error debe multiplicarse por la escala de impresión para poder calcular el error aceptable que debe tener un ortomosaico impreso.



**Ejemplo:**

Para una escala de impresión de 1: 1000, el error aceptable es:

$$0,25 * 1000 \text{ mm} = 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm}.$$

El error aceptable define el GSD que se debe obtener para el proyecto, y este debe ser al menos tres veces más pequeño que el error aceptable.

**Ejemplo:**

Para una escala de impresión de 1: 1000 y un error aceptable de 25 cm, el GSD es:

$$25/3 \text{ cm} = 8.33 \text{ cm}.$$

Esto es compatible con la relación entre el GSD y escala de trabajo indicada en el “Especificaciones Técnicas para Generación de Ortoimágenes” que indica que para una escala de trabajo de 1/1000, el GSD máximo debe ser de 10cm y por lo tanto se entiende que no hay inconveniente si el GSD es más pequeño (8 cm, 5 cm, 2,5 cm).

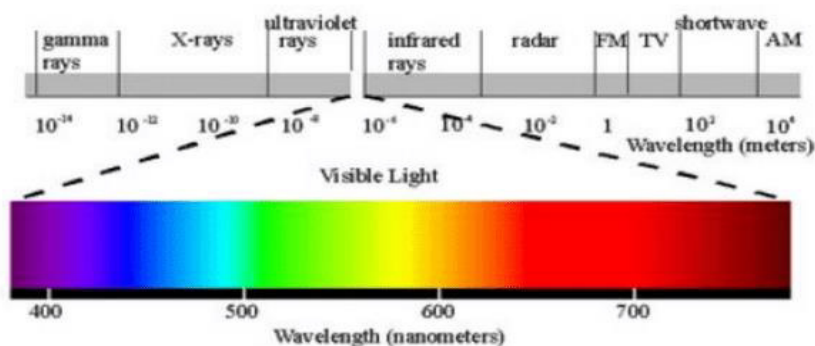
Ante esto, y de acuerdo al requerimiento del cliente sobre la equidistancia entre curvas de nivel de 50cm, esta sería visualmente adecuada para una escala de 1/1000, por lo tanto, para este trabajo se trabajará con un GSD menos a los diez centímetros por pixel.

**2.4.2.6 Tipo de Sensor.** Para un levantamiento fotogramétrico con RPAS, tenemos principalmente que definir dos detalles dependiendo los alcances y la necesidad del servicio.

A. **Cámara RGB:** La aplicación directa de este sensor es la Fotogrametría, y se basa en la captación de la luz dentro del espectro visible (Red, Green and Blue), es decir el que es capaz de ser percibido por el ojo humano. Por tal motivo, con una cámara RGB vamos a poder visualizar e interpretar los colores tal y como se ve en la realidad.

**Figura 10**

*Espectro electromagnético visible*



Fuente: Internet.

La ventaja de este tipo de sensor es que permite visualizar productos en la misma gama de colores que se presentan en la realidad, lo que facilita la comparación y análisis sobre los resultados. Según la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS): " la fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de Imágenes y patrones de energía electromagnética reflectante".

Según Castro (2018) en su tesis "Medidas de volúmenes de acopios en la cantera de Aljibe-Almonacid de Toledo utilizando el sistema RPAS", la palabra fotogrametría deriva del vocablo "fotograma" (de "phos", "photos", luz, y "gramma", trazado, dibujo), como algo listo,

disponible (una foto), y "metrón", medir. Por lo que resulta que el concepto de fotogrametría es: "medir sobre fotos".

Hay que tener en cuenta que como disciplina la fotogrametría nos permite realizar mediciones tridimensionales, es por esto que en un proceso fotogramétrico digital donde intervienen de dos a más fotografías, se generan modelos tridimensionales que permiten obtener la topografía del terreno.

### Figura 11

*Cámaras RGB DJI Zenmuse P1 (RGB) y Zenmuse H20T (RGB+Termico)*



Fuente: Página oficial DJI.

**2.4.2.7 RPAS a utilizar.** Para este proyecto se ha destinado el uso del Matrice 300 RTK que cuenta con un sensor fotogramétrico denominado Zenmuse P1. Este equipo se seleccionó al evaluar las ventajas y desventajas en comparación con otros.

**B. Matrice 300 RTK:** El Matrice 300 RTK es un RPA desarrollado por la empresa china DJI. Este modelo maneja una alta precisión en posicionamiento en tiempo real (RTK) y cuenta con una gran capacidad para ejecutar tareas de mapeo y topografía de buena. Para esta ocasión se utilizó la cámara Zenmuse P1. Esta aeronave al contar con un módulo RTK incorporado nos permite realizar la corrección en tiempo real, o de ser el caso realizar la corrección en un postproceso (PPK).

## Figura 12

*Matrice 300 RTK y Cámara Zenmuse P1*



Fuente: Página oficial DJI.

## Tabla 2

*Características Cámara Zenmuse P1*

<b>Resolución de Imagen</b>	Horizontal	8192	42 mega Pixeles
	Vertical	5460	
<b>Dimensiones de Imagen</b> (125-150)	Horizontal	60-100	2400 - 6700
	Vertical	40-67	
<b>Tamaño de Pixel</b>	2.5 – 3.0		cm/pix

**Tabla 3**

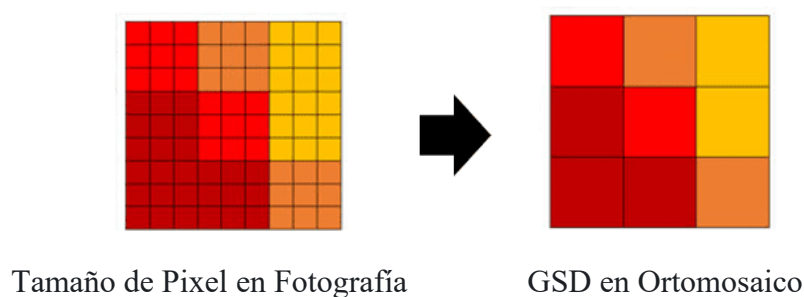
Cuadro comparativo de RPAS y cámaras.

<b>Aeronave</b>	<b>Resolución</b>	<b>Tamaño de Pixel</b>	<b>Observación</b>
<b>WingtraOne Gen II</b>	42mp	1.7 – 2.0	Susceptibilidad a fuertes vientos. Logística
<b>Matrice 300 RTK</b>	42mp	1.6 – 2.0	Logística
<b>Phantom 4 pro</b>	20mp	3.0 – 4.0	Autonomía de vuelo insuficiente. No cuenta con opción PPK

Para determinar que esta aeronave es la más idónea, se debe considerar que el GSD adecuado para este proyecto es máximo de 10cm/pix, que es el tamaño del pixel después de procesamiento fotogramétrico y difiere del tamaño del pixel de la fotografía. No existe un cálculo preciso para determinar el resultado del GSD ya que este va a depender del comportamiento del vuelo sobre las variaciones de la superficie, presentando una altura respecto a la superficie no siempre constante. Por tal motivo es recomendable considerar un tamaño de pixel (de la fotografía) menor al tamaño del GSD solicitado para asegurar su obtención.

**Figura 13**

*Variación del Tamaño del Pixel*



Fuente: Elaboración Propia.

Otro punto a considerar es que la zona de operación se encuentra a un kilómetro y medio del mar y es un lugar susceptible a fuertes vientos, es por esto que la aeronave a considerar debe de presentar una estabilidad constante para evitar variaciones en la planificación de vuelo, características que se adaptan más a un multicopter que a un ala fija. Es por lo expuesto que se determinó que la mejor opción para las operaciones de vuelo es el Matrice 300 RTK con la cámara Zenmuse P1.

**2.4.2.8 Planificación de vuelo.** Para esto se utilizó el “Universal Ground Control Software”, más conocido por sus siglas como UGCS. Este software permite planificar y controlar los vuelos de los RPAS de manera más eficiente y segura, ya que nos permite diseñar rutas de vuelo, establecer puntos importantes y automatizar misiones de vuelo pudiendo verificar el progreso de las aeronaves. Este planificador consta de dos elementos, el primero instalado en el radiocontrol de la aeronave y el segundo instalado en un computador instalado como centro de operaciones en campo y servirá como centro de operaciones.

Para esta planificación se consideraron dos vuelos en sentidos perpendicular uno del otro, para garantizar la obtención de resultados en una vista de tres dimensiones (3D) más precisa. Así mismo se planificó instalar una base GNSS de marca Trimble modelo R8s para realizar el postproceso (PPK). No se utilizó la estación D-RTK de la marca DJI para corregir las fotografías en tiempo real (RTK) debido a que se pretende mantener la precisión del punto geodésico y de los puntos de control, ya que al tener las fotografías geotiquetadas la orientación dentro del software de fotogrametría se realizará con una mayor precisión y permitirá generar modelos de un mayor contraste tridimensional. Se debe de tener en cuenta que si utiliza otro equipo GNSS se puede generar variación en la georreferenciación obtenida. Dicho esto, y de acuerdo a la información requerida por el software UGCS, se han considerado los siguientes parámetros de vuelo.

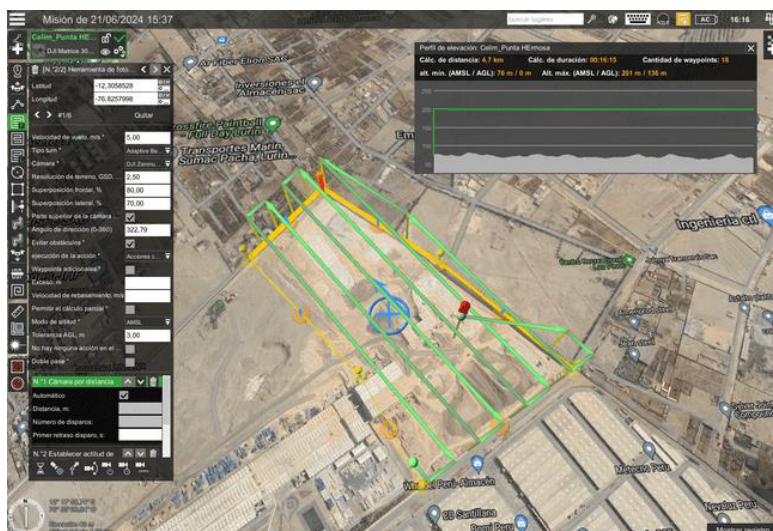
Tabla 4

## Parámetros del Plan de Vuelo

Parámetro	Valor
Altura de Vuelo	125 (2.5 tamaño de pixel)
Velocidad de Despegue	5.00m/s
Velocidad de Vuelo	8.00m/s
Traslape Frontal	80%
Traslape Lateral	70%
Modo de vuelo	AMSL (Altura de vuelo constante)
Angulo de cámara	90°
Tiempo de Vuelo	17.00 min.

Figura 14

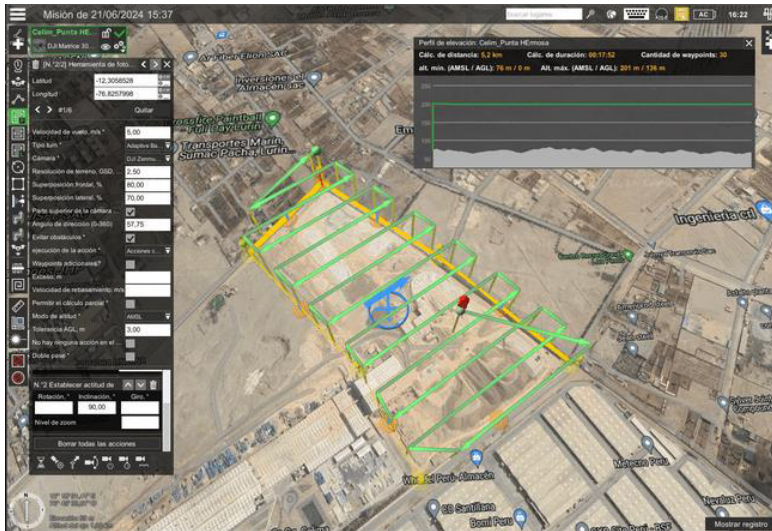
## Plan de vuelo 01 - UGCS



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 15**

*Plan de vuelo 02 - perpendicular - UGCS*

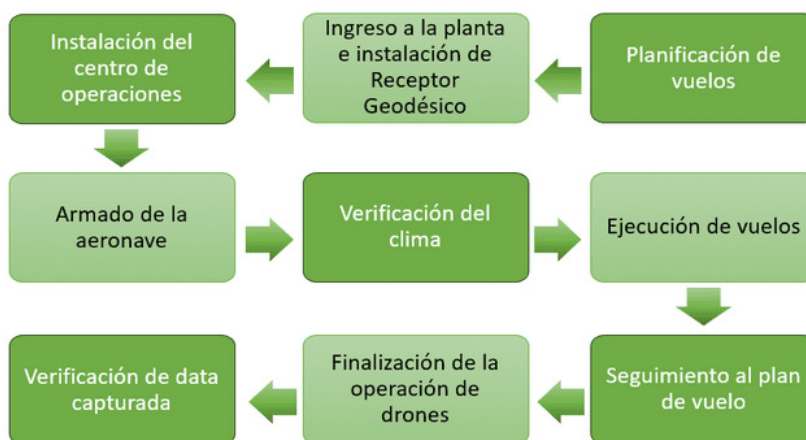


Fuente: Elaboración propia.

Desde el proceso de planeación hasta la ejecución de vuelos se estableció el siguiente flujo de trabajo:

**Figura 16**

*Flujo de trabajo de planificación y ejecución de vuelos*



Fuente: Elaboración propia.



**2.4.2.9 Cronograma:** La planificación se resume de la siguiente manera:

**Tabla 5**

*Cronograma de actividades*

Actividades	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Punto geodésico	X			
Puntos de control	X			
Levantamiento topográfico convencional	X			
Vuelos fotogramétricos		X		
Procesamiento de información		X	X	X

### 2.4.3 Trabajo de campo

**2.4.3.1 Monumentación del punto de control geodésico:** Siguiendo el flujo de trabajo establecido en la planificación se monumento el punto de control geodésico mediante un hito de concreto de 25 centímetros de profundidad por diez centímetros de radio con una varilla de acero de media pulgada al centro, dándole la denominación de P-01.

**Figura 17**

*Punto geodésico P-01*



Fuente: Elaboración propia.

**2.4.3.2 Instalación Receptor Geodésico.** Siguiendo con el flujo de trabajo se instaló el Receptor Geodésico Marca Trimble modelo R8S en el punto geodésico P-01. La lectura de información se configuro en modo estático con recepción de épocas al segundo y una máscara de elevación de  $10^\circ$ .

### Figura 18

*Receptor Geodésico R8s instalado Punto Geodésico P-01*



Fuente: Captura fotográfica en campo.

**2.4.3.3 Instalación y levantamiento de puntos de control.** De acuerdo al flujo de trabajo se instalaron 5 puntos de control fotogramétrico que tienen como finalidad georreferenciar el modelo generado por el procesamiento de las fotografías. Se introdujo la varilla metálica a nivel de la superficie y sirvió como centro de la marca con cal en forma de cruz. En este punto de instalo un receptor geodésico configurado como rover enlazado a la estación base del punto P-01 para que se corrija en tiempo real.

**Figura 19**

*Receptor Geodésico R8s instalado Punto de control fotogramétrico*



Fuente: Captura fotográfica en campo.

**2.4.3.4 Delimitación de los montículos.** De acuerdo al seguimiento de las actividades, se realizó el levantamiento del perímetro de cada montículo, con la finalidad de definir el corte de la superficie. Este levantamiento se realizó con un receptor geodésico Trimble R8 configurado como rover en modo RTK.

**Figura 20**

*Levantamiento convencional RTK – Delimitación de Acopios*



Fuente: Captura fotográfica en campo.

**2.4.3.5 Levantamiento superficial de plataforma.** Este levantamiento se realizó sobre la plataforma libre que se proyecta a ser la superficie donde se colocaran más montículos a futuro. Este levantamiento se realizó con un receptor geodésico Trimble R8 configurado como rover en modo RTK.

### Figura 21

*Levantamiento superficial*



Fuente: Captura fotográfica en campo.

**2.4.3.6 Instalación del centro de operaciones.** Se instaló el centro de operaciones que consta de una laptop de procesador I9 de 32 gigabytes de memoria RAM. Esta servirá para enlazarse con el radiocontrol y seguir la ejecución del vuelo así como para verificar la data capturada.

**Figura 22**

*Centro de operaciones.*



Fuente: Captura fotográfica en campo.

**2.4.3.7 Armado de la aeronave.** En este paso se realiza en correcto armado del DJI Matrice300 RTK que se refiere a la sujeción de los brazos, tren de aterrizaje, instalación de las baterías así como la instalación de la cámara Zenmuse P1. El armado se realizó en el punto de despegue designado.

**Figura 23**

*Armado e instalación de aeronave*



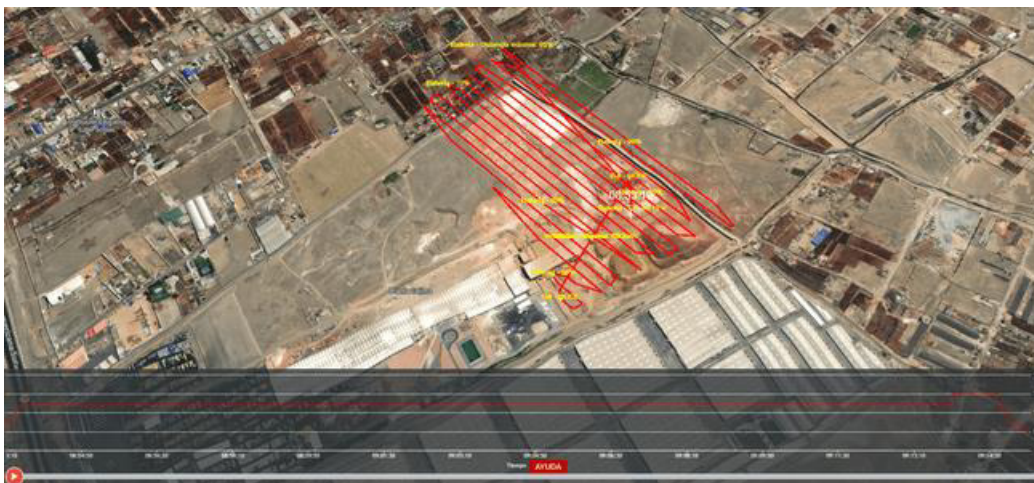
Fuente: Captura fotográfica en campo.



**2.4.3.8 Ejecuciones del vuelo.** Una vez realizado los pasos anteriormente mencionados y asegurándose que el espacio aéreo esté libre de la incursión de otra aeronave, se procedió a realizar el inicio del vuelo automático. Para esto se pone en marcha el software UGCS que inicia con un chek-list previamente configurado, permitiendo el encendido de la aeronave y posteriormente el despegue. En el centro de operaciones se puede tomar el control de la programación del vuelo y en el radiocontrol se puede tomar el control de la aeronave en caso de suscitarse algún inconveniente.

#### **Figura 24**

*Seguimiento de vuelo*



Fuente: Elaboración propia.

**2.4.3.9 Verificación de data capturada.** Por recomendación del autor, después de cada vuelo es recomendable realizar la verificación de la data capturada. Esta verificación se debe realizar observando los detalles de las fotos y realizar una orientación rápida de las imágenes en el software de procesamiento fotogramétrico. Esto permite evaluar la calidad de la información y de ser necesario, repetir el vuelo con parámetros que se acomoden a la situación actual y así obtener un resultado adecuado. En este caso ambos vuelos presentaron una correcta orientación relativa.

**Tabla 6**

*Resultado de la información capturada*

<b>Vuelo</b>	<b>Cantidad de Fotografías</b>	<b>Tiempo de Vuelo</b>	<b>Tamaño de Pixel</b>	<b>Área levantada</b>
Plan de Vuelo 01	212	24	2.5	20 ha
Plan de Vuelo 02	221	22	2.5	20ha
<b>Total</b>	<b>433</b>	<b>46</b>	<b>2.5</b>	<b>40ha</b>

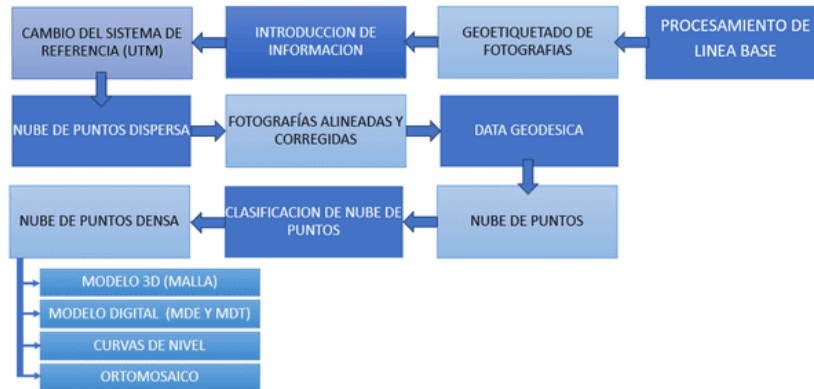
Nota: Elaboración propia.

#### **2.4.4 Geoprocesamiento de la información**

El geoprocesamiento se refiere tanto a los procesos digitales en softwares especializados, como al análisis de los productos obtenidos. La información resultante de estos procedimientos debe enfocarse en encontrar la solución a la necesidad latente. Para esto, se han utilizado Softwares especializados siguiendo el siguiente flujo de trabajo:

**Figura 25**

*Flujo de trabajo del procesamiento digital*



Fuente: Elaboración propia.

**2.4.4.1 Procesamiento de línea base – Punto Geodésico, Puntos de control y levantamiento convencional.** Se realizó la corrección de línea base utilizando el software Trimble Business Center (TBC), y la Estación de Rastreo Permanente LI04, obteniendo las siguientes coordenadas.

**Figura 26**

*Software Trimble Business Center (TBC)*



Fuente: Captura de pantalla del software ejecutable.



**Tabla 7**

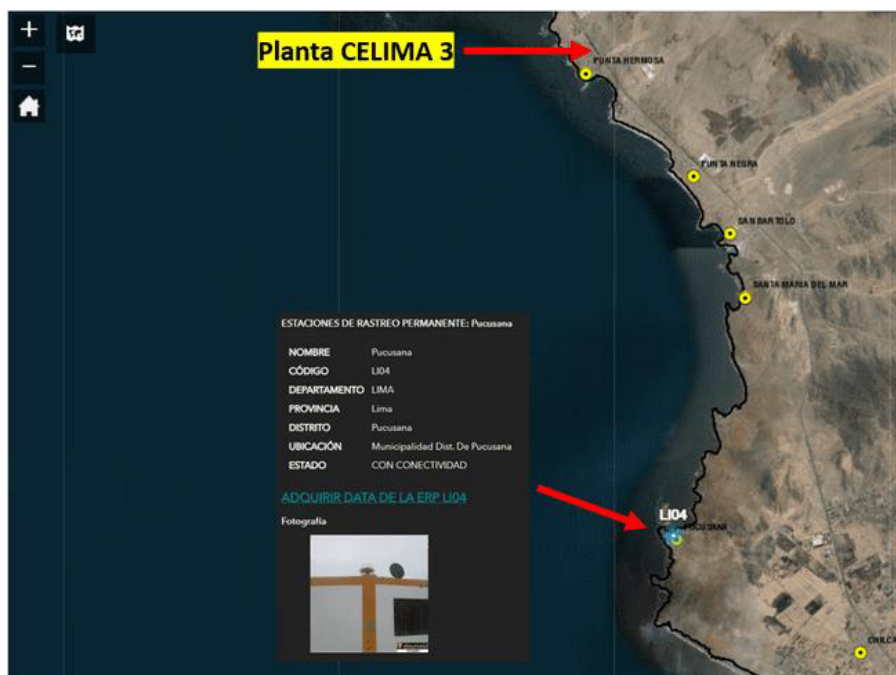
*Resultado de corrección de punto geodésico*

<b>PUNTO DE CONTROL GEODÉSICO CORREGIDO</b>				
<b>Punto</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altura</b>	<b>Tiempo</b>
<b>P-01</b>	<b>301711.2310</b>	<b>8638540.7179</b>	<b>75.817</b>	<b>04h 12 min</b>

Nota: Resultados obtenidos de acuerdo a las consideraciones estipuladas por el IGN en la Norma Técnica Geodésica.

**Figura 27**

*Estación de Rastreo Permanente Li04 – Pucusana*



Fuente: Portal IGN.

**Figura 28**

*Resultado del procesamiento de Línea Base del TBC*

Procesando resumen										
Observación	De	A	Hora de inicio de ocupación	Hora de detención de ocupación	Tipo de solución	Prec. H. (Metro)	Prec. V. (Metro)	Acl. geod.	Dist. elip (Metro)	ΔAltura (Metro)
LI04 --- P01 (B2)	LI04	P01	1/31/2023 9:38:16 AM	1/31/2023 1:12:04 PM	Fija	0.007	0.026	351°34'35"	19263.2	60.266

Resumen de aceptación			
Procesado	Pasado	Indicador	Fallida
1	1	0	0

Observación de línea base:	LI04 --- P01 (B2)
Procesados:	2/3/2023 8:36:09 AM
Tipo de solución:	Fija
Frecuencia utilizada:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.007 m
Precisión vertical:	0.026 m
RMS:	0.027 m
PDOP máximo:	1.994
Efemérides utilizadas:	Preciso/a
Modelo de antena:	NGS Absolute
Hora de inicio de procesamiento:	1/31/2023 9:38:17 AM (Local: UTC-5hr)
Hora de detención de procesamiento:	1/31/2023 1:12:02 PM (Local: UTC-5hr)
Duración del procesamiento:	03:33:45
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Fuente: Resultado de procesamiento propio.

Asi mismo, a partir de este punto geodésico corregido se corrigieron los puntos de control instalados, obtenido como resultado el siguiente cuadro de coordenadas:

**Figura 29**

*Resultado del procesamiento de Línea Base del TBC*

Project file data				Coordinate System			
Name:	D:\UAVLATAM\CELIMA\010723\celima.vce	Name:	World wide/UTM				
Size:	52 KB	Datum:	WGS 1984				
Modified:	2/07/2023 23:00:02 (UTC-5)	Zone:	18 South				
Time zone:	Hora estándar del Este (México)	Geoid:	egmperu2008				
Reference number:		Vertical datum:					
Description:		Calibrated site:					
Comment 1:							
Comment 2:							
Comment 3:							

Baseline Processing Report									
Processing Summary									
Observation	From	To	Solution	H. Prec.	V. Prec.	Geodetic	Ellipsoid	ΔHeight	
PCB1 --- PC2 (B7)	PCB1	PC2	Fixed	0.0079	0.0096	262°23'00"	42.1547	-4.6725	
PCB1 --- PC6 (B1)	PCB1	PC6	Fixed	0.0019	0.0039	197°10'33"	252.2080	-12.3616	
PCB1 --- PC7 (B3)	PCB1	PC7	Fixed	0.0063	0.0125	72°36'05.1"	136.0381	-2.7598	
PCB1 --- PC5 (B2)	PCB1	PC5	Fixed	0.0107	0.0209	105°51'14"	243.7634	-2.4510	
PCB1 --- PC8 (B6)	PCB1	PC8	Fixed	0.0022	0.0030	329°25'27"	147.1279	0.1303	
PCB1 --- PC3 (B5)	PCB1	PC3	Fixed	0.0056	0.0089	309°08'10"	472.1591	-9.8050	
PCB1 --- PC4 (B4)	PCB1	PC4	Fixed	0.0051	0.0093	326°35'17"	484.1781	-7.8696	

Acceptance Summary			
Processed	Passed	Flag	Fail
7	7	0	0

Fuente: Resultado de procesamiento propio.

**Tabla 8**

*Resultado de corrección de puntos de control*

<b>Código</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altura Ortométrica</b>
PC2	301669.483	8638534.85	71.151
PC3	301342.955	8638836.26	66.05
PC4	301441.858	8638943.1	67.964
PC5	301946.189	8638475.71	73.335
PC6	301638.383	8638299.24	63.481

De igual manera se corrigieron los puntos obtenidos del levantamiento convencional, tanto de la delimitación de los montículos y del levantamiento de la plataforma.

**Figura 30**

*Visualización del Levantamiento convencional RTK*

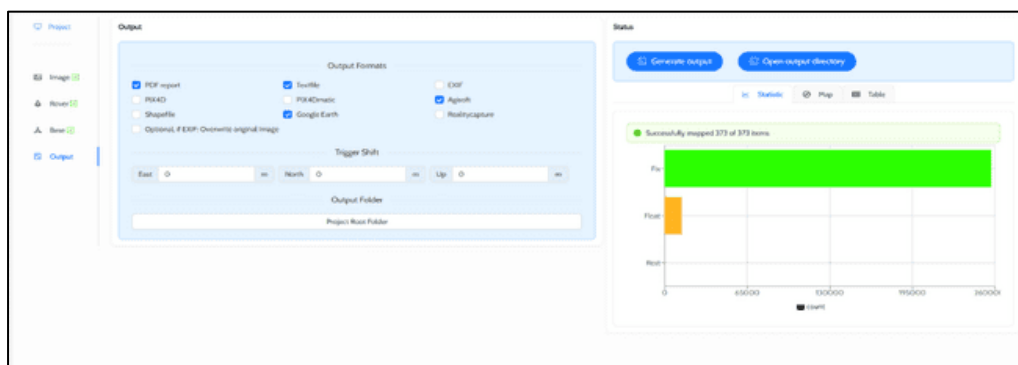


Fuente: Elaboración propia.

**2.4.4.2 RedToolBox:** Es un software de geoetiquetado de fotografías mediante un post proceso (PPK), que integra la información de salida de equipos de la marca DJI con los archivos de colección de datos GNSS en formato RINEX de múltiples constelaciones que logra una precisión centimetrada. En este caso se realizaron dos procesamientos, uno por cada vuelo obtenido en total 433 fotografías geoetiquetadas.

**Figura 31**

*Procesamiento en RedToolBox*



Fuente: Procesamiento propio.

**2.4.4.3 Agisoft Metashape:** Es un software especializado en el procesamiento de imágenes fotogramétricas y modelado 3D. Para este procesamiento se ingresó la información de las 433 fotografías geoetiquetadas con la finalidad de orientar con mayor detalle y obtener productos óptimos en una perspectiva en tres dimensiones. En este software, la generación de productos se basa en consideraciones específicas que van a depender del desarrollo de las actividades de campo, tal como fue la planificación del vuelo a seguimiento o no del terreno, la cantidad y distribución de puntos de control y la dinámica propia del área a medir.

**2.4.4.4 AutoCAD Civil 3D.** Es un software que se aplica principalmente para procesamientos topográficos, que permite realizar vectorizados y generación de superficies a partir de un listado de puntos. En este caso se utilizó para realizar la cubicación y obtener los volúmenes por cada montículo de material. Para esto debemos necesitamos interactuar con elementos denominados “Tin surface” que es una superficie formada en base a la triangulación de puntos con una ubicación específica (XYZ) que modelan de forma digital al terreno levantado.

El proceso de medición de volumen utilizando superficies en Civil 3D es una técnica comúnmente utilizada en la industria de la construcción y la topografía para calcular movimiento de tierras y la gestión de estas. El proceso se puede resumir en los siguientes pasos:

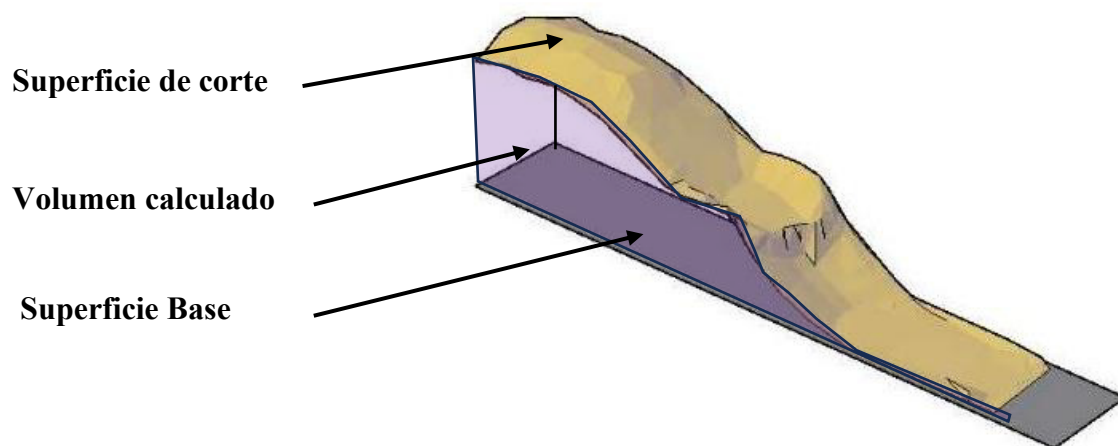
- Creación de una superficie base. Esta se crea una superficie mediante la combinación de datos de elevación obtenidos a través de técnicas de levantamiento topográfico generadas por la fotogrametría. Para la creación de la superficie base se utiliza como insumo la topografía ya obtenida y criterios automáticos supervisados.
- Creación de una superficie objetivo: Se crea una segunda superficie, que puede ser un modelo digital del terreno o una superficie de diseño que representa la forma en que se

espera que se construya el terreno después del proyecto. Para la creación de la superficie objetivo se utiliza como insumo la nube de puntos.

- Cálculo de volumen: Se utiliza la herramienta "Comparar superficies" en Civil 3D para calcular el volumen entre la superficie original y la superficie objetivo. La herramienta compara las dos superficies y genera una imagen en la que se visualizan las áreas de excavación y relleno.

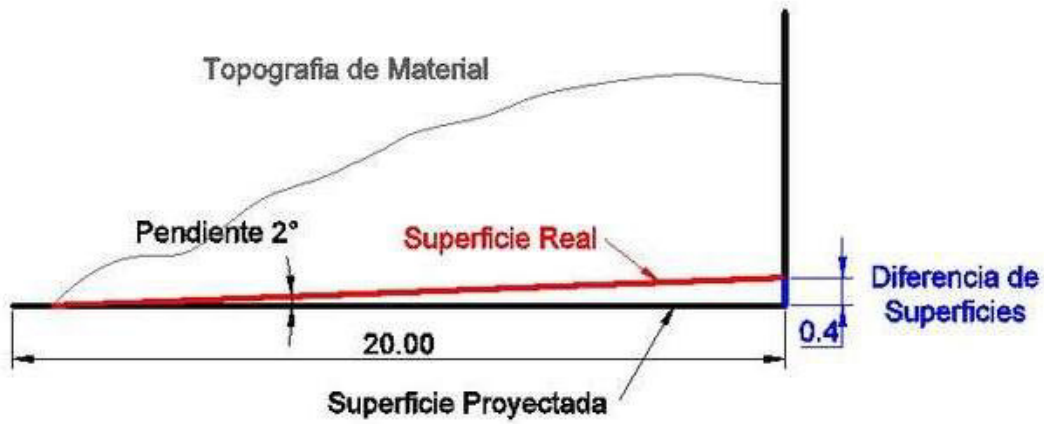
**Figura 32**

*Superficies para cálculo de volumen*

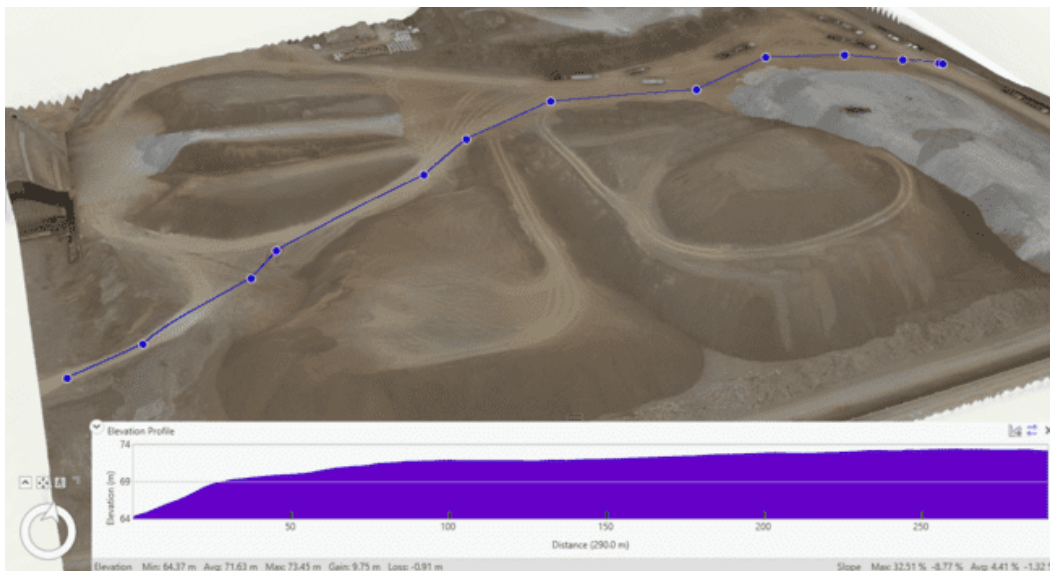


Fuente: Elaboración propia.

Para poder obtener la “superficie base” es necesario considerar que el levantamiento topográfico no alcanza a obtener la superficie debajo de los montículos, por lo mismo el software calculara automáticamente esta superficie.

**Figura 33***Diferencia posible entre superficies*

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34***Perfil de elevación real de un depósito de arcilla*

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, como se puede apreciar en la Figura 40, los depósitos de arcilla se encuentran sobre una plataforma irregular que no es visible y hace que al momento de calcular

los volúmenes de los montículos no se logre identificar un plano único que permita realizar una medición real. Es por esto que se superviso este cierre automático para que la superficie estimada se modele acorde a la superficie visible.

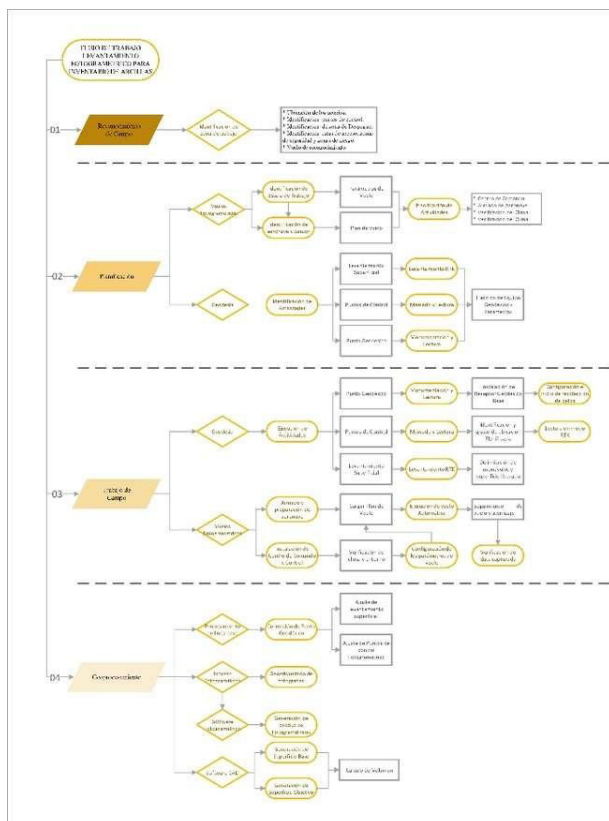
## 2.5 Resultados

### 2.5.1 Desarrollo de la Metodología

La metodología implementada en este estudio deja como precedente un punto de partida para regularizar los trabajos de cálculo de volumen enfocados a la identificación de valores individuales que permitieron inventariar correctamente los recursos de la fábrica. Es por lo tanto que esta metodología se define de cuerdo al siguiente flujo de trabajo:

**Figura 35**

*Flujo de trabajo*



Nota: Ver Anexos



### 2.5.2 Modelos tridimensionales

Siguiendo el flujo de trabajo establecido, utilizando los softwares mencionados anteriormente, se han obteniendo los siguientes productos como resultado:

**Tabla 9**

*Productos obtenidos*

Productos	Características
Nube de Puntos Densa	9'272,171 puntos
MDE/MDT	10cm/pix
Malla	110,707 caras
Ortomosaico	5cm/pix

**Figura 36**

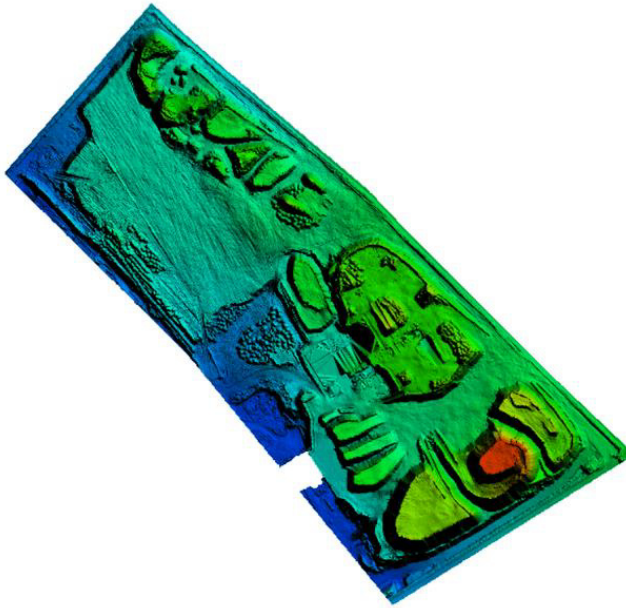
*Nube de puntos generada en Agisoft Metashape*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 37**

*MDT generada en Agisoft Metashape*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 38**

*Malla 3D generada en Agisoft Metashape*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39**

*Ortomosaico en Agisoft Metashape*



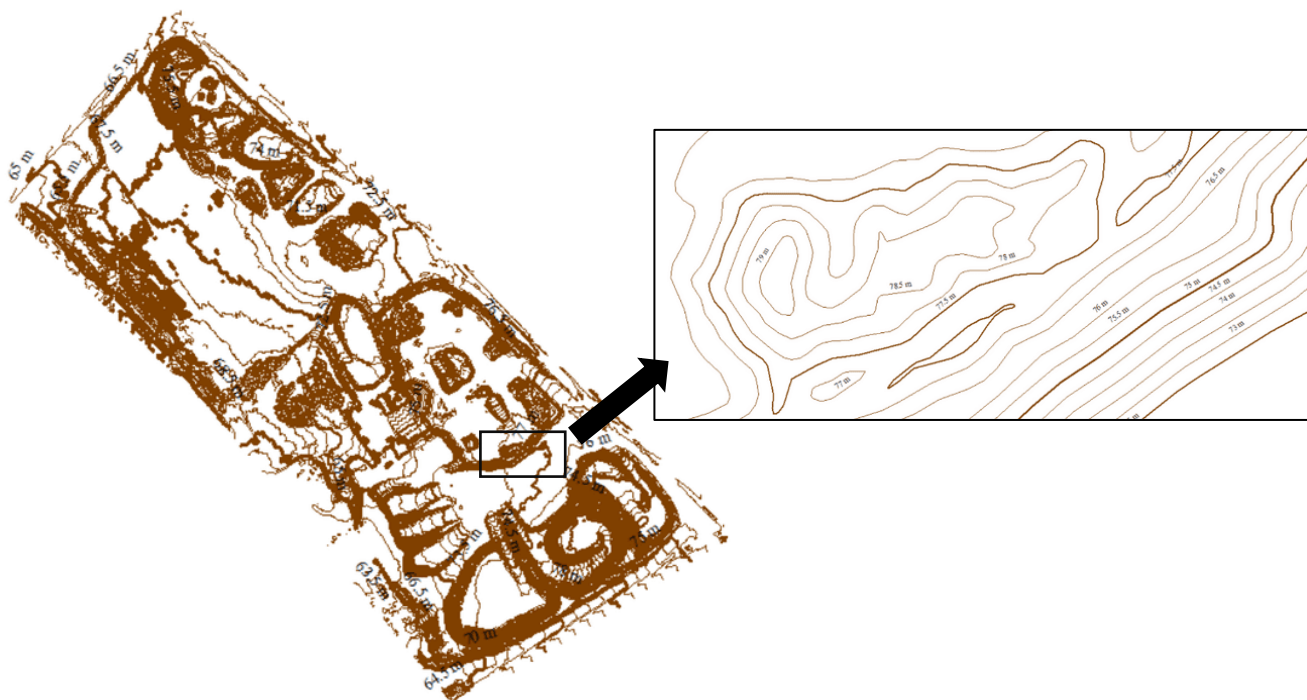
Fuente: Elaboración propia.

### **2.5.3 Curvas de Nivel y cálculo de volumen**

Como lo indica las “Especificaciones Técnicas para la Generación de Ortoimágenes”, la escala de trabajo está sujeta al tamaño del GSD obtenido, y es de esta escala que se va a definir el error máximo permisible que se ajuste a una correcta representación cartográfica. Asimismo, es desde este GSD que se obtendrán las curvas de nivel solicitadas por el cliente, y que, de acuerdo al análisis realizado, se debe considerar el GSD del modelo digital de terreno para identificar estos valores permisibles, ya que es desde este producto que se generaran las curvas de nivel, y no del ortomosaico. Teniendo esto presente, el MDT resultante maneja un GSD de diez centímetros por pixel el es el adecuado para trabajar en una escala de uno en mil (1/1000) y que así mismo permite una tolerancia de veinticinco centímetros de error.

**Tabla 10***Productos obtenidos*

Productos	Características
MDE/MDT	10cm/pix
Curvas de nivel	E:25cm

**Figura 40***Curvas de nivel generada en Agisoft Metashape*

Nota: Curvas generadas a una equidistancia de veinticinco centímetros (25cm).

**2.5.3.1 Superficie base:** A partir de las curvas de nivel obtenidas se generó el objeto “TIN Surface” que se configuro con una equidistancia de 0.25 metros entre isohipsas.

**Figura 41**

*Superficie con rumas en Civil3D*

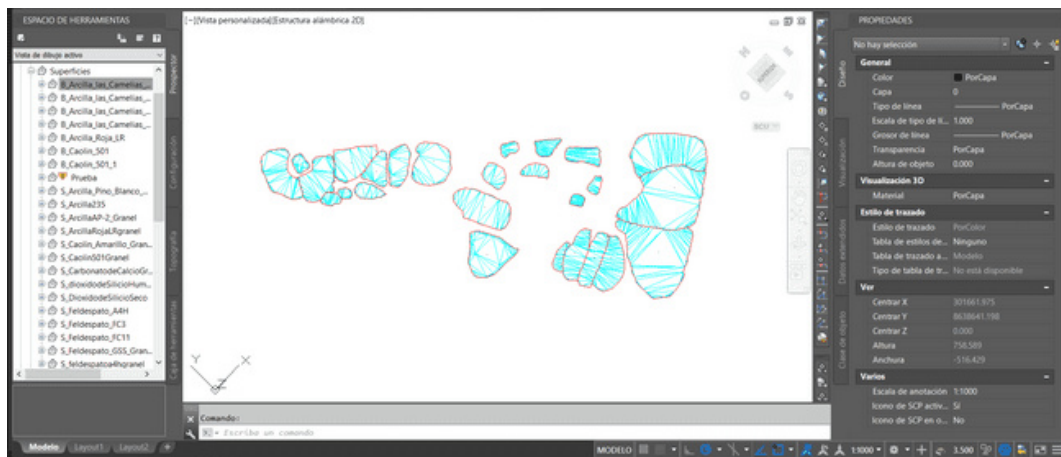


Fuente: Elaboración propia.

Así mismo se generaron superficies independientes a partir de las delimitaciones de cada uno de los montículos siguiendo una forma acorde a al seguimiento de la superficie visible.

**Figura 42**

*Superficie base de rumas en Civil3D*



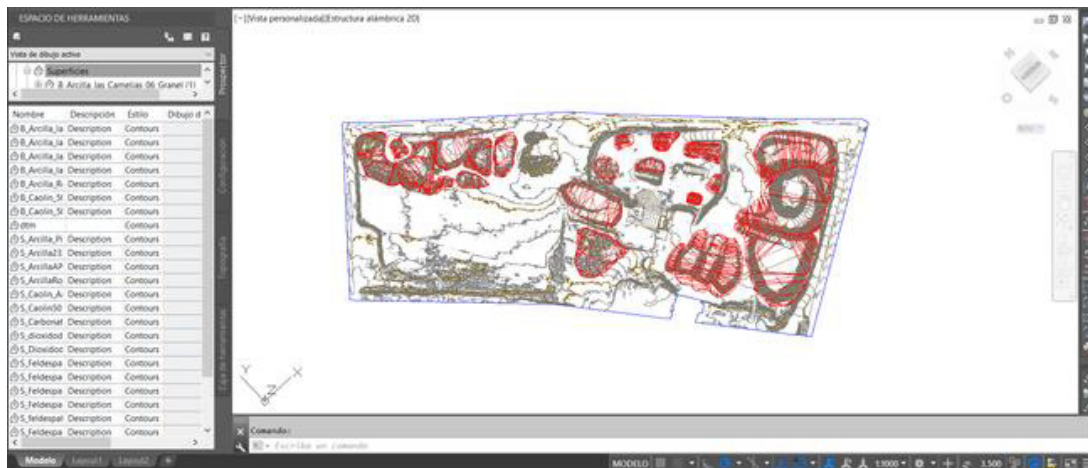
Fuente: Elaboración propia.



Se realizó la superposición de ambas superficies para ejecutar el comando “Paste Surface” que pegara la superficie a nivel del suelo de las rumas, en la superficie de total visible con las rumas, obteniendo así una superficie total sin rumas.

**Figura 43**

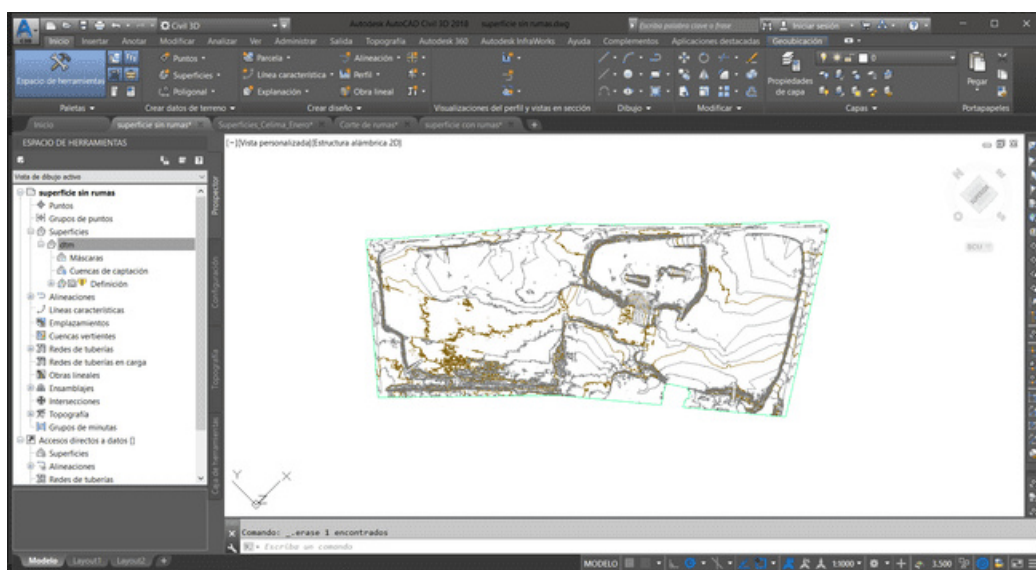
*Superposición de superficies*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 44**

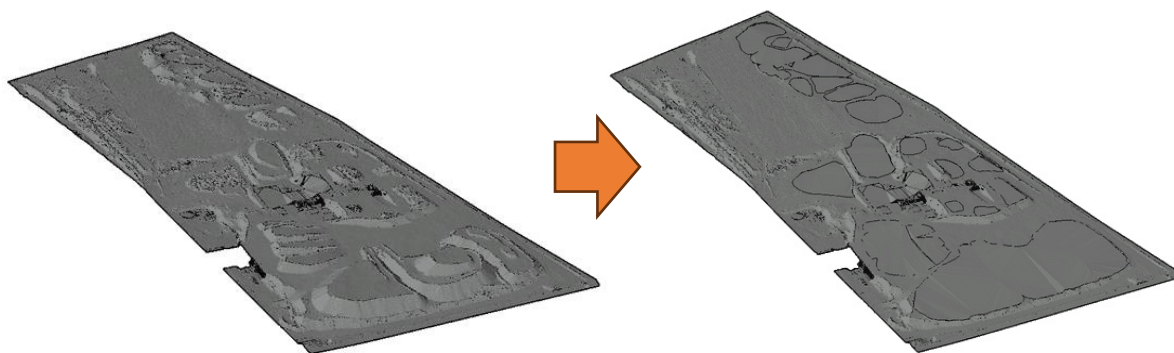
*Superficie final*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 45**

*Comparación de superficies*



Nota: Superficie con rumas y superficie final sin rumas (delimitadas).

**2.5.3.2 Volumen por montículos:** De igual manera a partir del delineado perimetral de cada montículo, obtenido en el levantamiento convencional, se realizó el corte exterior para poder generar un objeto “TIN Surface” por cada uno de ellos. Esto se realiza ejecutando la herramienta “Boundaries” que permite realizar el corte de una superficie a partir de una polilínea cerrada.

**Figura 46**

*Corte de superficie independiente*



Fuente: Elaboración propia.

En total se obtuvieron 26 objetos de superficie identificado por el tipo de material que corresponde:

**Tabla 11**

*Nombre de Materiales por grupos de trabajo*

<b>Nombre</b>	<b>Código</b>	<b>Grupo</b>
<b>Feldespató FC3</b>	G1-01	Grupo 01
<b>Por Definir2</b>	G1-02	Grupo 01
<b>Arcilla235</b>	G1-03	Grupo 01
<b>Feldespató A4H</b>	G1-04	Grupo 01
<b>Feldespató GSS Granel</b>	G1-05	Grupo 01
<b>Feldespató FC11</b>	G1-06	Grupo 01
<b>Dióxido de Silicio Seco</b>	G2-01	Grupo 02
<b>Dióxido de Silicio Húmedo</b>	G2-02	Grupo 02
<b>Feldespató FC10 Granel</b>	G2-03	Grupo 02
<b>FeldespatóFC11</b>	G2-04	Grupo 02
<b>Feldespató A4h granel</b>	G2-05	Grupo 02
<b>Feldespató T Granel</b>	G2-06	Grupo 02
<b>Carbonato de Calcio Granel</b>	G2-07	Grupo 02
<b>Caolín 501_2</b>	G3-01	Grupo 03
<b>Arcilla Roja LR granel</b>	G3-02	Grupo 03
<b>Caolin501 Granel</b>	G3-03	Grupo 03
<b>Arcilla Roja LR</b>	G3-04	Grupo 03
<b>Arcilla las Camelias 06 Granel_1</b>	G3-05	Grupo 03



Caolín 501_1	G3-06	Grupo 03
Arcilla las Camelias Promesa Granel 1	G3-07	Grupo 03
Arcilla las Camelias Promesa Granel	G3-08	Grupo 03
Arcilla las Camelias 06 Granel	G3-09	Grupo 03
Caolín 501	G3-10	Grupo 03
Caolín Amarillo Granel	G4-01	Grupo 04
Arcilla Pino Blanco Granel	G4-02	Grupo 04
Arcilla AP-2 Granel	G4-03	Grupo 04

Nota: Los grupos de trabajo son considerados de acuerdo al manejo interno de la empresa.

**Figura 47**

*Distribución de materiales por grupo de trabajo*



Fuente: Elaboración propia.

Descrito las etapas del procedimiento, y obtenidos lo 26 objetos “TIN Surface” creados en AutoCAD Civil 3D, se procedió a realizar los cálculos aplicando la herramienta “Volumen Dashboard” para obtener el volumen de cada uno de los montículos de material.

**Tabla 12***Volumen calculado por montículo*

<b>Nombre</b>	<b>Código</b>	<b>Grupo</b>	<b>Volumen m<sup>3</sup></b>
<b>Feldespató FC3</b>	G1-01	GRUPO 01	10,603.31
<b>Por Definir2</b>	G1-02	GRUPO 01	406.95
<b>Arcilla235</b>	G1-03	GRUPO 01	7,898.72
<b>Feldespató A4H</b>	G1-04	GRUPO 01	5,777.13
<b>Feldespató GSS Granel</b>	G1-05	GRUPO 01	3,811.06
<b>Feldespató FC11</b>	G1-06	GRUPO 01	2,430.36
<b>Dióxido de Silicio Seco</b>	G2-01	GRUPO 02	967.74
<b>Dióxido de Silicio Húmedo</b>	G2-02	GRUPO 02	289.52
<b>Feldespató FC10 Granel</b>	G2-03	GRUPO 02	1,338.09
<b>FeldespatóFC11</b>	G2-04	GRUPO 02	977.83
<b>Feldespató A4h granel</b>	G2-05	GRUPO 02	1,292.02
<b>Feldespató T Granel</b>	G2-06	GRUPO 02	320.37
<b>Carbonato de Calcio Granel</b>	G2-07	GRUPO 02	325.76
<b>Caolín 501 _2</b>	G3-01	GRUPO 03	5,546.44
<b>Arcilla Roja LR granel</b>	G3-02	GRUPO 03	2,486.62
<b>Caolin501 Granel</b>	G3-03	GRUPO 03	8,871.39
<b>Arcilla Roja LR</b>	G3-04	GRUPO 03	449.52
<b>Arcilla las Camelias 06 Granel_1</b>	G3-05	GRUPO 03	3,743.86
<b>Caolín 501_1</b>	G3-06	GRUPO 03	3,202.68
<b>Arcilla las Camelias Promesa Granel 1</b>	G3-07	GRUPO 03	5,652.11

<b>Arcilla las Camelias Promesa Granel</b>	G3-08	GRUPO 03	49,438.85
<b>Arcilla las Camelias 06 Granel</b>	G3-09	GRUPO 03	57,825.59
<b>Caolin501</b>	G3-10	GRUPO 03	20,585.81
<b>Caolín Amarillo Granel</b>	G4-01	GRUPO 04	686.46
<b>Arcilla Pino Blanco Granel</b>	G4-02	GRUPO 04	194.44
<b>Arcilla AP-2 Granel</b>	G4-03	GRUPO 04	1,392.14

#### 2.5.4 *Ensayos de Densidad y estimación de pesos*

Según la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales se definió la norma ASTM D 1556, el ensayo de densidad con el cono de arena es un procedimiento utilizado para medir la densidad in situ de un suelo compactado en el campo. Este consiste en excavar un agujero en el suelo, insertar el cono de arena con un volumen conocido de arena seca y compactar la arena en capas con una cantidad fija de golpes. Después de retirar el cono, se mide el diámetro y la altura de la masa de arena. La densidad se calcula dividiendo la masa de arena por el volumen ocupado por la misma.

#### **Figura 48**

*Cono según norma ASTM d 1556*



Nota: Los ensayos de densidad fueron realizados por una empresa tercerizada.

### 2.5.4.1 Estimación de pesos:

Para la estimación de peso partimos de la siguiente fórmula:

$$M = \rho * V$$

(masa = densidad por volumen)

Donde:

- **M**: Peso es la masa del objeto, medida en kilogramos o gramos, dependiendo de la unidad de medida que se esté utilizando.
- **V**: Volumen es el espacio que ocupa el objeto, medido en metros cúbicos, centímetros cúbicos, litros u otras unidades de volumen.
- **$\rho$** : Densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen, medida en kilogramos por metro cúbico, gramos por centímetro cúbico u otras unidades de densidad.

Los ensayos de densidad se realizaron considerando un material estable promediando los resultados obtenidos en varios puntos de un mismo material. Para el cálculo de la masa se consideró un material seco debido a que se realizaron los primeros días del mes de febrero en época de verano.

**Tabla 13**

*Densidad y Masa calculada*

Nombre	Código	Grupo	Volumen (m3)	Densidad (g/cm3)	Masa (Tn)
Feldespató FC3	G1-01	Grupo 01	10603.31	1.714	18174.07
Por Definir2	G1-02	Grupo 01	406.95	1.376	559.96
Arcilla235	G1-03	Grupo 01	7898.72	1.89	14928.58
Feldespató A4H	G1-04	Grupo 01	5777.13	1.618	9347.39

Feldespatos GSS Granel	G1-05	Grupo 01	3811.06	1.652	6295.87
Feldespatos FC11	G1-06	Grupo 01	2430.36	1.779	4323.61
Dióxido de Silicio Seco	G2-01	Grupo 02	967.74	1.344	1,300.64
Dióxido de Silicio Húmedo	G2-02	Grupo 02	289.52	1.383	400.4
Feldespatos FC10 Granel	G2-03	Grupo 02	1338.09	1.841	2,463.42
Feldespatos FC11	G2-04	Grupo 02	977.83	1.721	1,682.84
Feldespatos A4h granel	G2-05	Grupo 02	1292.02	1.562	2,018.13
Feldespatos T Granel	G2-06	Grupo 02	320.37	1.972	631.76
Carbonato de Calcio Granel	G2-07	Grupo 02	325.76	2.121	690.93
Caolín 501 2	G3-01	Grupo 03	5546.44	1.41	7,820.48
Arcilla Roja LR granel	G3-02	Grupo 03	2486.62	2.136	5,311.42
Caolín 501 Granel	G3-03	Grupo 03	8871.39	1.786	15,844.30
Arcilla Roja LR	G3-04	Grupo 03	449.52	2.136	960.17
Arcilla las Camelias 06 Granel_1	G3-05	Grupo 03	3743.86	2.135	7,993.14
Caolín 501_1	G3-06	Grupo 03	3202.68	1.415	4,531.79
Arcilla las Camelias Promesa Granel 1	G3-07	Grupo 03	5652.11	2.095	11,841.17
Arcilla las Camelias Promesa Granel	G3-08	Grupo 03	49438.85	2.095	103,574.39
Arcilla las Camelias 06 Granel	G3-09	Grupo 03	57825.59	2.135	123,457.63
Caolín 501	G3-10	Grupo 03	20585.81	1.41	29,025.99
Caolín Amarillo Granel	G4-01	Grupo 04	686.46	1.946	1,335.85
Arcilla Pino Blanco Granel	G4-02	Grupo 04	194.44	1.689	328.4
Arcilla AP-2 Granel	G4-03	Grupo 04	1392.14	1.681	2,340.18

Nota: Información levantada el primero de febrero (01/02/2023)

### 2.5.5 Comparativa de resultados.

El cliente nos facilitó el inventario que realizaron internamente de manera convencional. Este inventario se basa en el conteo de volquetes que ingresan a la fábrica a depositar material, en contraste con la masa indicada por una balanza de camiones que se encuentra dentro de la planta. El problema de este método es que los valores obtenidos no reflejan la realidad, esto debido a que un volquete no siempre contiene el material exacto de acuerdo a su capacidad de carga (20m<sup>3</sup>). Como lo indica Mamani (2018) en el proyecto de cubicación de volquetes para obtener la capacidad de carga promedio de los equipos dentro de la unidad minera Apumayo, considerar una cantidad exacta para establecer un volumen o masa constante conlleva al error, debido a que no todos los volquetes son llenados correctamente, o a que dependiendo del tipo de granularidad del material en relación al índice de esponjamiento del mismo, puede variar en las dimensiones ocupadas e incluso puede generar una inestabilidad, que en el transporte puede desprenderse y caer por fuera del compartimento de carga. A pesar de esto, el cliente mantuvo este método que conlleva a utilizar resultados erróneos en la mayoría de los casos. La comparación de los resultados obtenido respecto al inventario interno es la siguiente:

**Tabla 14**

*Comparativa de volúmenes*

<b>Nombre</b>	<b>Grupo</b>	<b>Masa (Tn)</b>	<b>Masa Interna</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Δ %</b>
Feldespatos FC3	G 01	18174.07	17848.71	325.36	1.79
Por Definir2	G 01	559.96	361.66	198.3	35.41
Arcilla235	G 01	14928.58	6296.33	8632.25	57.82

Feldespatos A4H	G 01	9347.4	8110.45	1236.95	13.23
Feldespatos GSS Granel	G 01	6295.87	5919.97	375.9	5.97
Feldespatos FC11	G 01	4323.61	3366.83	956.78	22.13
Dióxido de Silicio Seco	G 02	1300.64	1174.68	125.96	9.68
Dióxido de Silicio Húmedo	G 02	400.41	566.39	-165.98	-41.45
Feldespatos FC10 Granel	G 02	2463.42	2408.46	54.96	2.23
FeldespatosFC11	G 02	1682.85	1978.1	-295.25	-17.54
Feldespatos A4h granel	G 02	2018.14	1491.99	526.15	26.07
Feldespatos T Granel	G 02	631.77	510.25	121.52	19.23
Carbonato de Calcio Granel	G 02	690.94	598.26	92.68	13.41
Caolín 501 2	G 03	7820.48	7067.5	752.98	9.63
Arcilla Roja LR granel	G 03	5311.42	3689.64	1621.78	30.53
Caolin501 Granel	G 03	15844.3	12087.34	3756.96	23.71
Arcilla Roja LR	G 03	960.17	907.82	52.35	5.45
Arcilla las Camelias 06 Granel_1	G 03	7993.14	6829.29	1163.85	14.56
Caolín 501_1	G 03	4531.79	4661.64	-129.85	-2.87
Arcilla las Camelias Promesa Granel 1	G 03	11841.17	8979.64	2861.53	24.17
Arcilla las Camelias Promesa Granel	G 03	103574.39	99833.14	3741.25	3.61
Arcilla las Camelias 06 Granel	G 03	123457.63	119888.21	3569.42	2.89
Caolin501	G 03	29025.99	24730.36	4295.63	14.8
Caolín Amarillo Granel	G 04	1335.85	1218.26	117.59	8.8
Arcilla Pino Blanco Granel	G 04	328.41	388.01	-59.6	-18.15
Arcilla AP-2 Granel	G 04	2340.19	2090.56	249.63	10.67

Nota: El diferencial de porcentajes ( $\Delta$  %) refleja en su mayoría la diferencia negativa del material que, a pesar de no existir, era considerado en la proyección mensual como material disponible.

### 2.5.6 *Análisis mensual*

Esta metodología se aplicó durante cuatro meses consecutivos. Para realizar el análisis mensual del comportamiento del stock, tomaremos como muestra los acopios de “Caolín 501”.

**Tabla 15**

*Caolín 501 del mes de marzo*

Muestra	Material	Volumen (m3)	Masa (Tn)
A	Caolín 501	14677.44	20695.19
B	Caolín 501_1	3690.02	5221.38
C	Caolín 501 Granel	8904.72	15903.83
D	Caolín 501_2	5603.85	7901.43

Nota: Información levantada el primero de marzo (01/03/2023)



## Figura 49

*Ortomosaico del mes de marzo*



Fuente: Elaboración propia.

A partir del mes de abril se volvió a realizar un estudio de densidad por el cambio estacional. En este caso para el Caolín se obtuvo un valor promedio de  $1.901 \text{ gr/cm}^3$ . Esto es debido a que al aumentar la humedad, los espacios libres dados por la granularidad, se saturan de partículas de agua y ocupando un mismo volumen, aumenta la densidad y por lo tanto aumenta la masa.

## Tabla 16

*Caolín 501 del mes de abril*

Muestra	Material	Volumen (m3)	Masa (Tn)
A	Caolín 501	13672.89	25987.96
B	Caolín 501 1	3186.75	6057.04
C	Caolín 501 Granel	5445.12	10349.50
D	Caolín 501 2	4630.02	8800.29

Nota: Información levantada el primero de abril (01/04/2023)

## Figura 50

*Ortomosaico del mes de abril*



Fuente: Elaboración propia.

Después de la última visita, la fábrica habilita un nuevo montículo con la finalidad de comparar los cálculos realizados respecto al método convencional. Se pudo apreciar que el método de conteo de volquetes no era compatible con el volumen y masa obtenida por la cubicación.

## Tabla 17

*Caolín 501 del mes de mayo*

Muestra	Material	Volumen (m3)	Masa (Tn)
A	Caolín 501	13763.74	26160.64
B	Caolín 501 1	2264.14	4303.44
C	Caolín 501 Granel	5439.39	10338.61
D	Caolín 501 2	1672.23	3178.41
E	Caolín 501 3	4178.82	7639.07

Nota: Información levantada el primero de mayo (01/05/2023)

**Figura 51***Ortomosaico del mes de mayo*

Fuente: Elaboración propia.

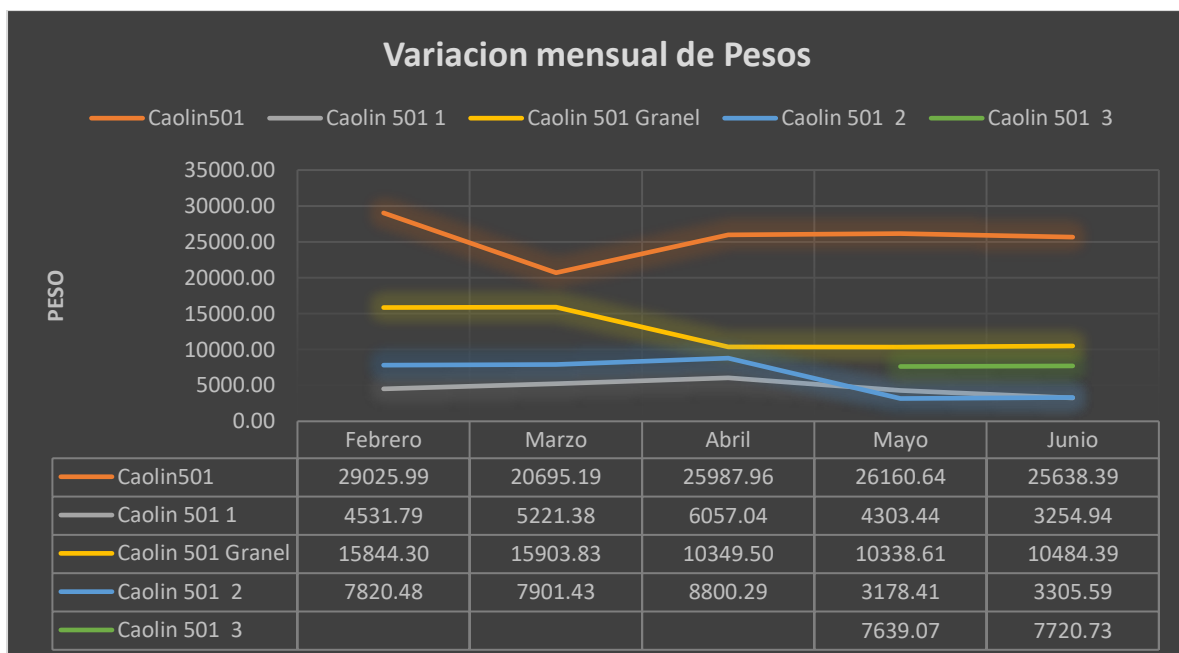
**Tabla 18***Caolín 501 del mes de junio*

Muestra	Material	Volumen (m3)	Masa (Tn)
A	Caolín 501	13488.97	25638.39
B	Caolín 501 1	1712.5	3254.94
C	Caolín 501 Granel	5516.09	10484.39
D	Caolín 501 2	1739.15	3305.59
E	Caolín 501 3	4223.49	7720.73

Nota: Información levantada el primero de mayo (01/05/2023)

**Figura 52***Ortomosaico del mes de junio*

Fuente: Elaboración propia.

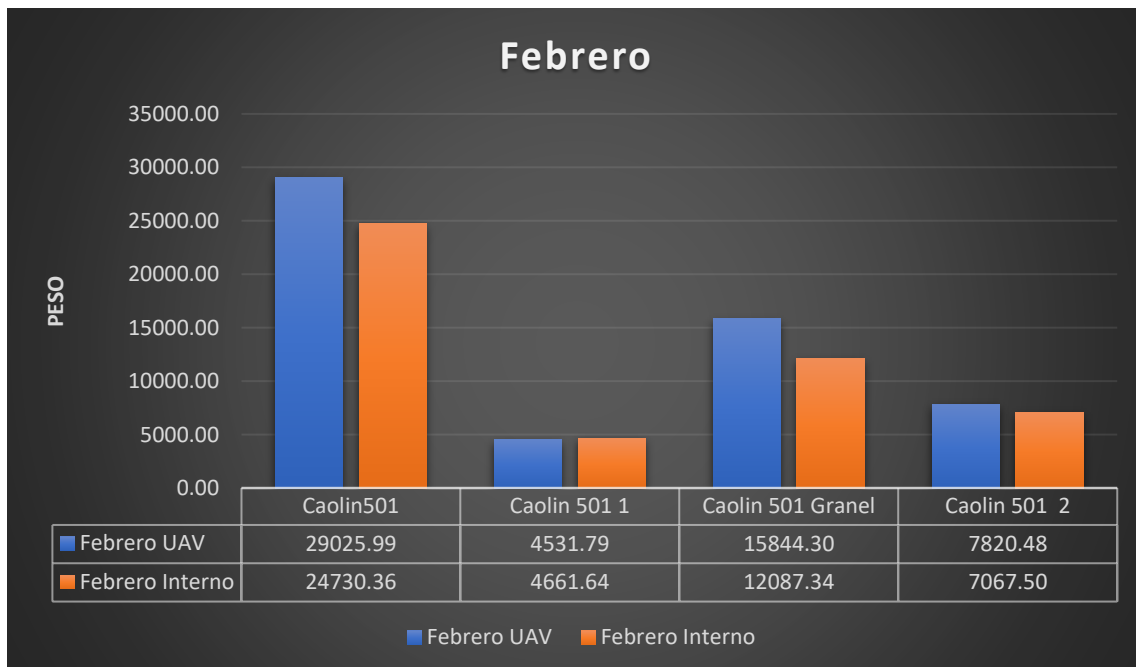
**Figura 53***Variación mensual de la muestra*

Nota: Elaboración en función a la muestra de Caolín.

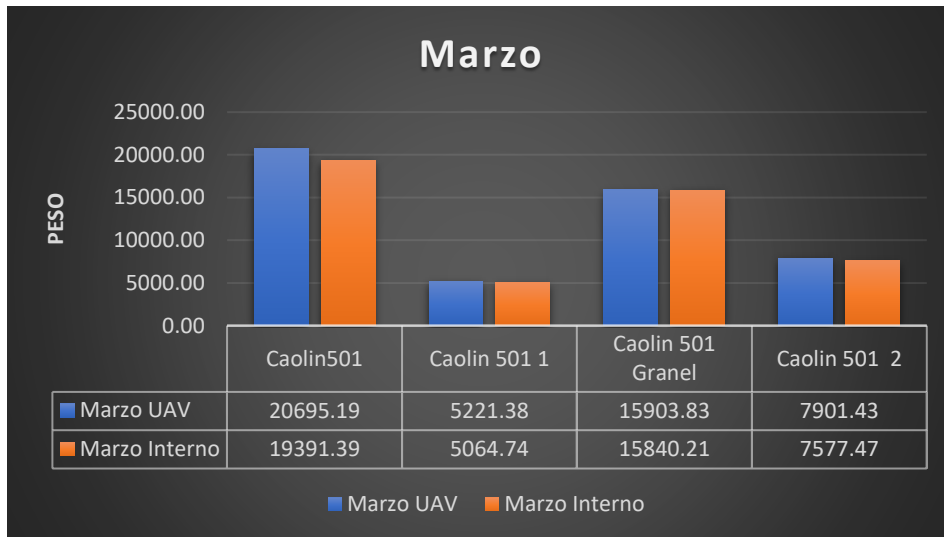
Este análisis mensual dio un punto de partida para comparar los resultados obtenidos las estimaciones periódicas de la empresa, es decir, después de presentar los resultados del primer mes, la empresa realizó un control minucioso manejando el peso de cada volquete que ingresaba a la planta, así como el peso en los movimientos internos. Estos resultados conversaban con los cálculos obtenidos, presentado variaciones menores al 10%.

### Figura 54

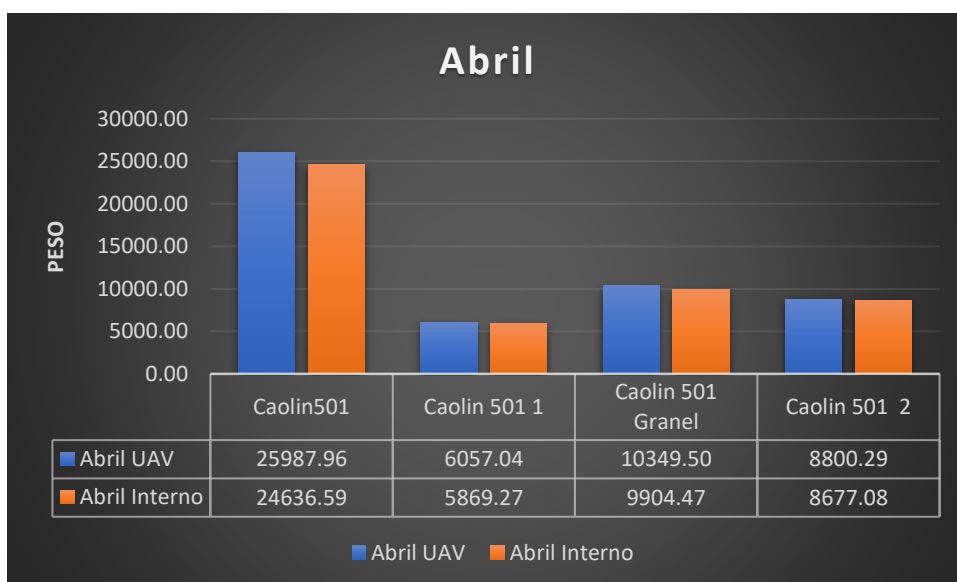
#### Comparación de cálculos de febrero



Nota: Elaboración en función a la muestra de Caolín.

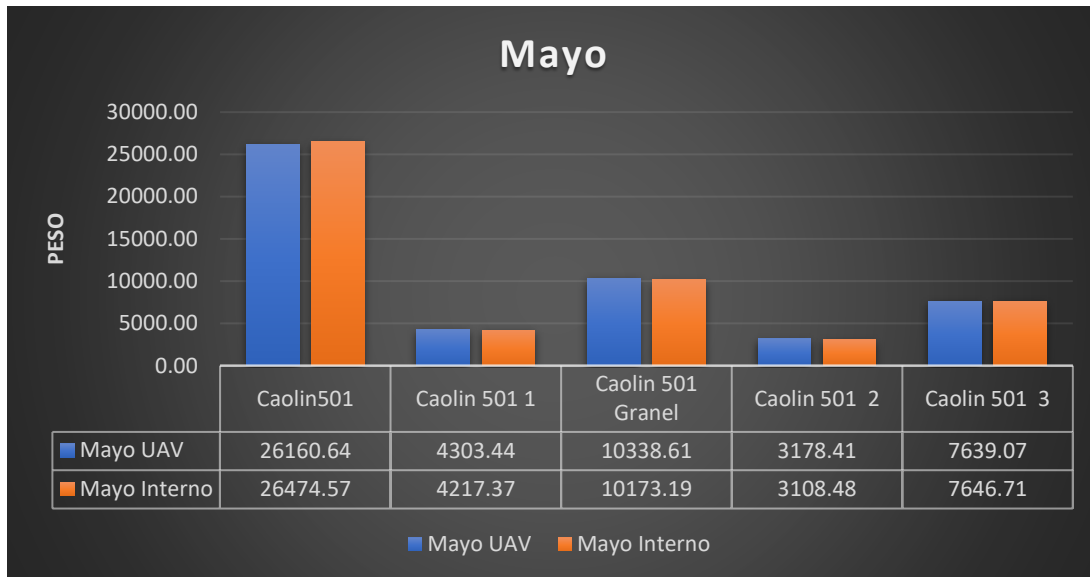
**Figura 55***Comparación de cálculos de marzo*

Nota: Elaboración en función a la muestra de Caolín.

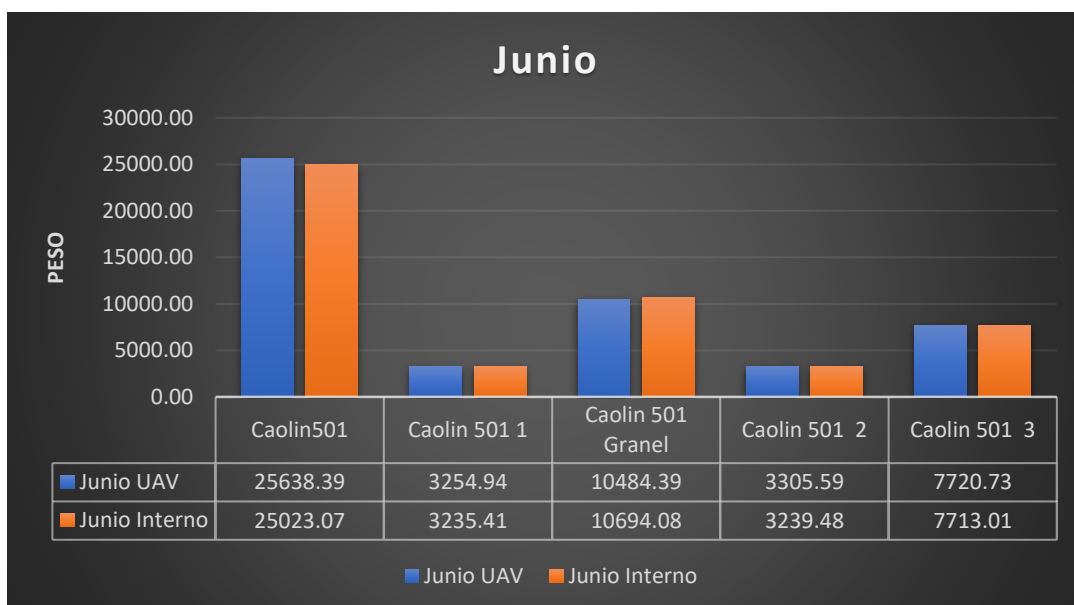
**Figura 56***Comparación de cálculos de abril*

Nota: Elaboración en función a la muestra de Caolín.



**Figura 57***Comparación de cálculos de mayo*

Nota: Elaboración en función a la muestra de Caolín.

**Figura 58***Comparación de cálculos de junio*

Nota: Elaboración en función a la muestra de Caolín.

## **2.6 Discusión de resultados**

### **2.6.1 *Respecto a la metodología***

Rivas (2023) en el artículo titulado “Delimitación de polígonos sobre la superficie base, para el cálculo volumétrico de material de acopio, utilizando tecnología RPAS” concluye en la importancia de realizar un levantamiento superficial previo a la disposición del material a calcular, por tal motivo, ante situaciones donde ya se tiene la superficie cubierta, el cálculo de la misma mediante un proceso digital supervisado que se asemeja lo más posible a la superficie real, permite obtener mejores resultados, por tal motivo esta metodología se adapta a la necesidad específica para optimizar los resultados obtenidos, siendo así una gran herramienta que garantiza resultados reales.

### **2.6.2 *Respecto al stock***

Durante los últimos seis meses de trabajo con la metodología planteada, se ha podido notar la importancia de un inventario como herramienta de evaluación para la producción. Cabe mencionar que, con el método aplicado internamente por la empresa, se presentaron situaciones en las que el inventario no reflejó lo que se tiene en stock. Para esto sería necesario analizar las dinámicas de ingreso y movimiento interno del material, ya que esto puede afectar los cálculos y la estimación del peso, pero esto está sujeto a la carga específica de cada volquete que no siempre cumple con la capacidad de carga considerada en los cálculos.

Otro punto importante que considerar es el tratamiento de las arcillas en la intemperie, ya que esto puede generar variación por agentes climáticos constantes y, por lo tanto, variación en el peso. Si bien esta variación no se presenta con la metodología planteada, no se puede estimar si esto se da al momento de obtener los volúmenes y calcular el peso por la presencia de material seco y húmedo.



### **2.6.3 *Respecto del volumen***

La metodología implementada ha demostrado ser altamente efectiva en el control del volumen de los distintos montículos. Durante los últimos 6 meses de trabajo, hemos realizado mediciones constantes y precisas sin ningún valor anómalo registrado. Esta consistencia en las mediciones ha permitido que la empresa tenga mayor confianza en los datos obtenidos y tome decisiones más precisas y acertadas en su gestión.

Como lo indica López (2023) la ventaja de este tipo de levantamiento donde se aplican avances tecnológicos, se centra en la optimización tanto del tiempo, calidad y seguridad de las labores, demostrando que es una herramienta valiosa para el control y la gestión de los distintos graneles en la planta. Con el uso continuo de esta metodología, se podrá mantener un alto nivel de precisión en el control de volumen y seguir mejorando su productividad.

### **2.6.4 *Respecto de las imágenes***

El uso de imágenes obtenidas con RPAS ha sido fundamental en la evaluación y monitorización de las dinámicas en la fábrica. Estas imágenes han permitido tener una vista detallada de cada uno de los graneles, lo que ha facilitado la tarea de cálculo de volumen y ha permitido detectar cualquier anomalía en la distribución y movimiento de los materiales.

De igual manera, el inventario ha servido como una herramienta de valoración en cuanto a las dinámicas que se dan en la planta. Es importante destacar que estas dinámicas se pueden apreciar en el cálculo del peso, por lo que, si se observa una disminución de este, se debe apreciar que esa variable ha disminuido al revisar la imagen.

En resumen, la imagen obtenida con los RPAS nos permite monitorizar las dinámicas de la planta y relacionarlas con el cálculo del volumen y las dinámicas del inventario. Esto nos permite tener un mayor control sobre la información que estamos manejando y hacer ajustes o correcciones en caso de ser necesario. La utilización de la imagen y los productos, obtenidos a

partir de estas, como herramienta de control en este proceso se muestra como una excelente alternativa que ha demostrado ser efectiva en la detección de anomalías y en la prevención de posibles errores en la toma de decisiones.

#### **2.6.5 *Respecto de la densidad***

La densidad de los materiales es un factor crítico a la hora de estimar el peso en los graneles. Durante estos 6 meses de trabajo, se ha venido obteniendo muestras de densidad con el objetivo de mejorar la precisión en los cálculos de peso. Sin embargo, los resultados obtenidos están lejos de ser concluyentes. Si bien es cierto que en algunos casos se ajusta bien con los valores esperados, en otros casos no. Esto puede deberse a múltiples factores, como la variabilidad en la composición de los materiales o la dificultad en la obtención de muestras representativas.

Es importante destacar que la obtención de muestras de densidad es una tarea compleja que requiere de un alto grado de precisión y exactitud. Las muestras deben ser representativas del material que se está evaluando y deben obtenerse en condiciones similares a las de la operación normal de la planta. Además, se debe considerar que existen diferentes técnicas y metodologías para la obtención de muestras de densidad, lo que puede dar lugar a resultados diferentes.

Por lo tanto, es necesario confrontar los resultados obtenidos con otros métodos de obtención de densidad para determinar la confiabilidad de los resultados. Es importante evaluar diferentes técnicas y metodologías para la obtención de muestras de densidad, así como también evaluar el impacto de la variabilidad en la composición de los materiales. Solo de esta manera se podrá garantizar la precisión y la confiabilidad de los resultados, lo que permitirá mejorar la estimación del peso en los graneles y, por lo tanto, el control del inventario.

### **III APORTES DESTACABLES A LA EMPRESA**

Uno de los principales aportes del autor a la empresa UAV Latam Perú fue proponer los Criterio de supervisión y control tal como se refleja en la metodología de este informe, que permitió mediante el seguimiento supervisado de las actividades secuenciales un mejor control sobre los resultados.

Así mismo el autor estableció los protocolos de levantamiento topográficos y geodésicos que permitieron controlar el orden de los trabajos de campo obteniendo así una mejor organización y resultados uniformes como se vio reflejado en el Levantamiento fotogramétrico para la Unidad Minera Chinalco.

De igual manera se aplicó el criterio de planificación y procesamiento de tridimensionalidad para los levantamientos fotogramétrico como fue el caso de levantamiento fotogramétrico de la ciudad de Chancay para fines catastrales, donde se permitió modelar la ciudad con mayor precisión.

Otro aporte relevante fue la consideración de encargaturas dentro del organigrama de la dirección de operaciones proponiendo que las funciones se dividan de acuerdo a los tipos de trabajos aplicativos designando un responsable que tenga experiencia en el campo específico tales como topografía, inspecciones y seguridad.

#### IV.CONCLUSIONES

- Esta metodología demuestra ser una mejor opción debido a que se adaptada para realizar un inventario de materias primas basado en las aplicaciones de los RPAS integrando procedimientos y cálculos detallados que permitirán mantener una mayor precisión en las mediciones y una disminución de los errores en las estimaciones.
- El uso de la aeronave Matrice 300 RTK para los vuelos fotogramétricos permitió obtener imágenes con la calidad adecuada para poder generar los modelos tridimensionales de precisión, el cual permite generar una topografía con mayor detalle.
- Aplicando estas herramientas se pudo obtener la topografía del área de almacenamiento con la precisión adecuada a la escala de trabajo uno en mil (1/1000), permitiendo así obtener un cálculo de volumen preciso y detallado por cada montículo de material.
- Los estudios de densidad dependes directamente de los agentes externos que afectan la superficie analizada, es por lo mismo que la estimación de la masa de cada montículo puede no alcanzar un valor de confianza que se recomiende registrar.
- La comparativa entre los resultados obtenidos respecto a los registros de la fábrica permitieron demostrar la falencia cometida en el seguimiento del inventario, siendo así la metodología aplicada la mejor herramienta para poder llevar un inventario más preciso.
- La aplicación de esta metodología en el análisis mensual de una muestra de elementos permite resaltar la efectividad y la precisión respecto al manejo interno de la fábrica.
- El inventario que se obtuvo a partir de la ejecución de los vuelos integrando RPAS con herramientas y procedimientos planteados, demostró ser una herramienta muy valiosa para evaluar el nivel de incertidumbre generado por lo métodos convencionales utilizados, es por lo mismo que esta metodología permitirá optimizar la producción y equilibrar los costos de producción de la fábrica.

## V.RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar esta metodología ya que mantiene un orden y organización en el desarrollo de los procedimientos, permitiendo a su vez analizar cada uno de los mismos, manteniendo así una coordinación con los criterios, búsqueda de resultados y normativas vigentes.
- Se recomienda utilizar los puntos de referencia ya implementados en el proyecto para cualquier estimación de volumen o medición geométrica para tener una confiabilidad de los resultados y evitar mediciones inconsistentes.
- Se recomienda utilizar el cálculo del volumen para definir el inventario, así mismo se debe de revisar y actualizar periódicamente las fórmulas utilizadas para estimar el peso y considerar la posibilidad de incorporar nuevas variables o métodos de cálculo que puedan mejorar la precisión de los resultados, tales como puede ser el nivel de ganancia y pérdida de humedad.
- Se recomienda documentar adecuadamente todas las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos para tener una trazabilidad de los trabajos realizados y un registro histórico de los datos obtenidos. Además, se sugiere considerar la posibilidad de compartir los resultados y las metodologías utilizadas con otros profesionales del área para que puedan evaluar y validar los resultados obtenidos.
- Se recomienda evaluar el impacto del porcentaje de humedad en la estimación de peso y considerar técnicas de análisis estadístico para identificar y eliminar los valores atípicos en las muestras de densidad. Además, se sugiere aumentar la cantidad de muestras de densidad que se obtienen en la fábrica y hacer un análisis exhaustivo del comportamiento del volumen y peso para obtener estimaciones más precisas.
- Se recomienda aumentar los ensayos de densidad y considerar ensayos por estadios para entender mejor el comportamiento físico de las arcillas y tener una mayor

precisión en la estimación del peso correspondiente. También se sugiere considerar la posibilidad de realizar ensayos con diferentes métodos de densidad para tener una mayor variedad de datos y una mejor interpretación de los resultados.

## VI.REFERENCIAS

- Blog de Billboyheritagesurvey (03 de mayo de 2018). *Mavic Pro 2 - GSD y Escala de Mapa*.  
<https://es.scribd.com/document/378125657/ASTM-D-1556>
- Castro, J. (2018). *Medidas de volúmenes de acopios en la cantera de Aljibe-Almonacid de Toledo utilizando el sistema RPAS* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPUM. <https://oa.upm.es/52917/>
- Espinoza, J. (2022). *Medición volumétrica del material sedimentado aplicando el ecosonda south y gps diferencial en el embalse 01 Quicapata* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo] Repositorio de la Universidad César Vallejo.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97206>
- Fernández, A. (2020). *Aplicación de la técnica fotogramétrica Structure From Motion en un levantamiento topográfico mediante el uso de aeronave pilotada a distancia (RPA'S)* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión] Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2819432>
- López, H. (2023). *Cálculo de volúmenes de acopios mediante láser escáner 3d en una concretera* [Informe de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional Federico Villarreal] Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal.  
<http://190.12.84.13:8080/handle/20.500.13084/7666>
- Resolución Directoral N° 501-2015-MTC/12. Resolución Directoral que aprueba la Norma Técnica Complementaria 001-2015 (03 de noviembre de 2015).  
<https://www.gob.pe/8032-ministerio-de-transportes-y-comunicaciones-direccion-general-de-aeronautica-civil>
- Resolución Jefatural N° 139-2015/IGN/UCCN. Resolución jefatural que aprueba la Norma Técnica Geodésica: Especificaciones Técnicas para el posicionamiento geodésico

estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global. (28 de diciembre de 2015)

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/670923/ESPECIFICACIONES-TECNICAS-PARA-POSICIONAMIENTO.pdf?v=1588286032>

Riva, M. (2023) Delimitación de polígonos sobre la superficie base, para el cálculo volumétrico de material de acopio, utilizando tecnología RPAS.

<https://www.proquest.com/openview/1f29f74f4cdb6807902e219a0d164d41/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>

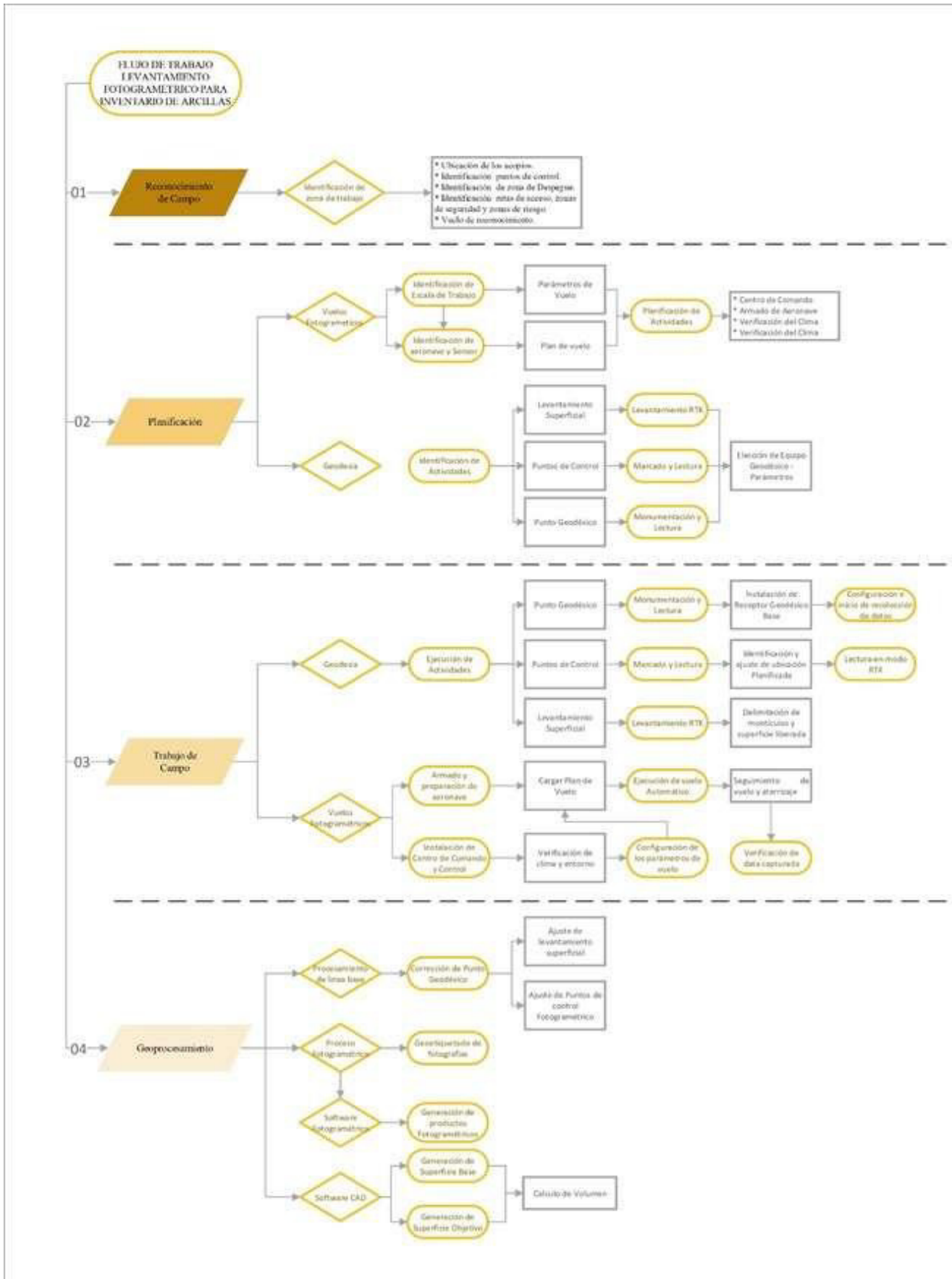
Vásquez, A. (2021). *Análisis del volumen de material apilado obtenido de un levantamiento topográfico con drone comparado con el volumen obtenido de un levantamiento topográfico con estación total* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca] Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4747>

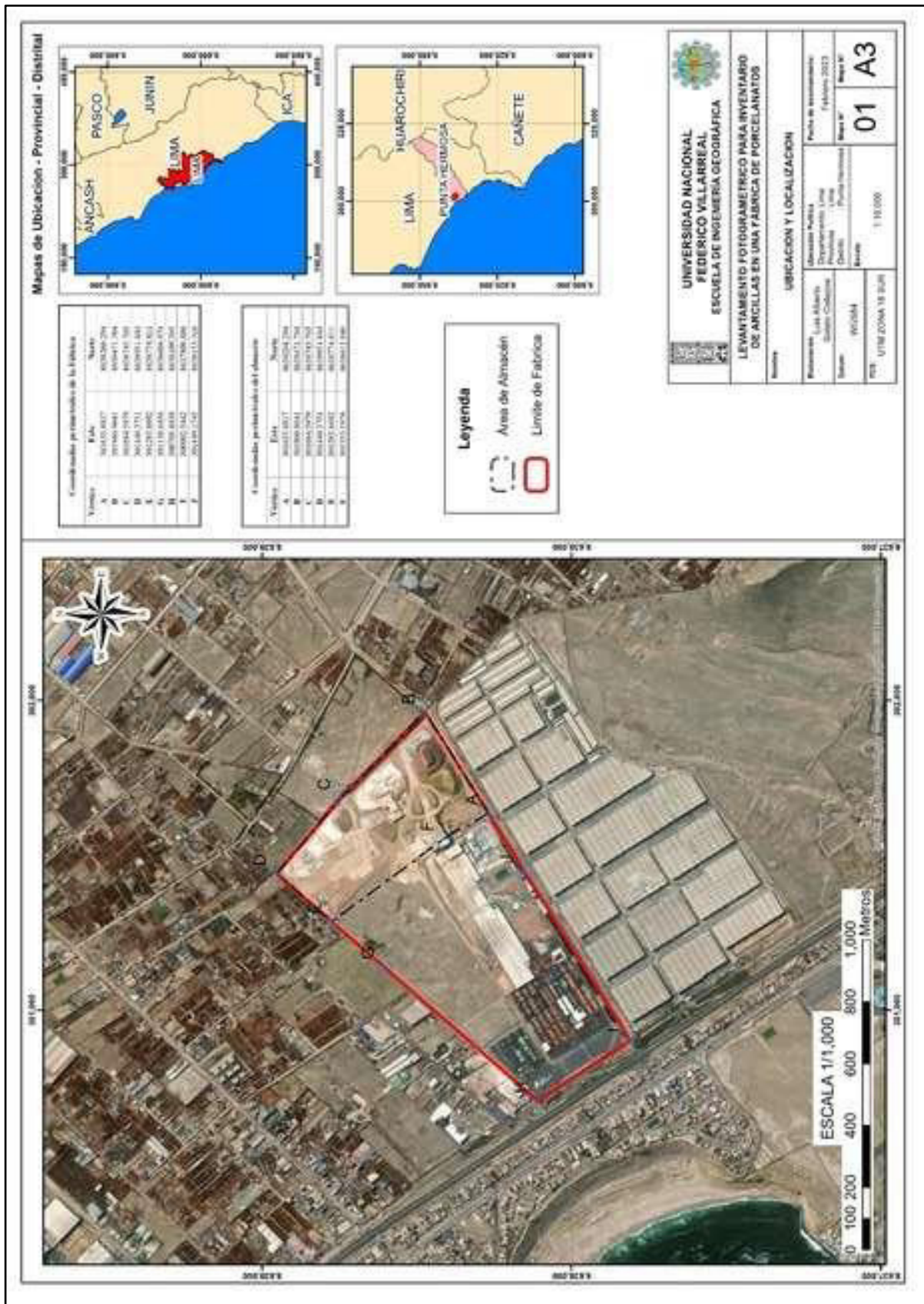


VII. ANEXOS

Anexo A: Diagrama de Flujo



Anexo B. Plano de Ubicación







Anexo D. Plano de Curvas de nivel E 0.5

