



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES Y
AGRIMENSURA**

**“RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO DE ACOPIO
EN UNA CANTERA DE CURUZÚ CUATIÁ:
CÁLCULO DEL VOLUMEN, COMPARACIÓN Y
ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS
MEDICIONES CON DRON Y GNSS”**

**TRABAJO FINAL – INGENIERIA EN AGRIMENSURA
AÑO 2025**

Autores:

- Gómez Robaina, Ezequiel.
- Alarcón Viccini, Juan Martín.

Profesor Orientador:

- Caballero Tajan, Víctor Hugo

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la **Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura** por brindarnos el espacio y las herramientas necesarias para formarnos como profesionales, por fomentar un ambiente de aprendizaje riguroso, comprometido y de profundo respeto por nuestra futura labor profesional.

A los **docentes**, quienes desde el inicio de la carrera nos han tratado como futuros colegas, brindándonos su confianza y reconociendo el valor de nuestra profesión. Su generosa disposición para compartir conocimiento, tiempo y experiencia ha sido fundamental en cada etapa de nuestra formación académica, promoviendo nuestro desarrollo con dedicación y acompañamiento constante.

Agradecemos especialmente al **Agrimensor Victor Hugo Caballero Tajan**, tutor de este trabajo final, por su permanente disposición para responder nuestras inquietudes y guiarnos con claridad durante todo el desarrollo del proyecto.

A los **Agrimensores Juan Pablo Robaina y Emanuel Ulises Schweizer**, por involucrarse activamente en la ejecución del relevamiento fotogramétrico y relevamiento GNSS, brindando sus instrumentos, conocimientos y apoyo técnico en todo momento, demostrando generosidad y colaboración constante.

A la empresa **PROMIN S.A.**, por permitirnos realizar el trabajo en sus instalaciones, facilitando el desarrollo de nuestra propuesta profesional.

Finalmente, extendemos nuestro más profundo agradecimiento a nuestras **familias, amigos y compañeros**, quienes nos han apoyado de forma incondicional en cada paso del camino, celebrando nuestros logros y brindándonos fuerza en los momentos difíciles. Gracias por ser parte fundamental de este cierre de etapa universitaria.

"Relevamiento topográfico de Acopio en una Cantera de Curuzú Cuatiá: Cálculo del Volumen, Comparación y Análisis de Resultados de las Mediciones con Dron y GNSS"

ÍNDICE

1 – INTRODUCCIÓN.....	3
2. GENERALIDADES.....	4
2.1 - OBJETIVOS GENERALES.....	4
2.2 - OBJETIVOS PARTICULARES.....	5
3 - PLANIFICACIÓN.....	5
4 – HIPÓTESIS.....	6
5 - SOFTWARE E INSTRUMENTAL UTILIZADO.....	7
5.1 SOFTWARE.....	7
5.1.1 - Google Earth.....	7
5.1.2 - AutoCAD.....	7
5.1.3 – Excel.....	7
5.1.4 - Trimble Business Center.....	8
5.1.5 - Agisoft PhotoScan Professional.....	8
5.1.6 - Surfer.....	8
5.1.7 - DroneDeploy.....	8
5.1.8 - DJI GO 4.....	9
5.2 – INSTRUMENTAL UTILIZADO.....	9
5.2.1 - Receptor GNSS (Base).....	9
Características.....	9
5.2.2 - Receptor GNSS (Móvil).....	10
Características.....	11
5.2.3 – Drone.....	11
5.2.4 – Controladora South H6.....	12
5.2.5 - Elementos utilizados.....	13
5.2.6 - CPU utilizada para el procesamiento de datos:.....	13
6. ANÁLISIS PREVIO.....	13
6.1 - ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
6.1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	13
6.1.2 - ACCESO A LA CANTERA.....	15
6.1.3 - Información de la empresa PROMIN S.A.....	17
6.1.4 - VENTAJAS Y DESVENTAJAS PRESENTADAS.....	18
6.1.5 ASPECTO LEGAL DE LA EMPRESA.....	18
6.2 - RECONOCIMIENTO / INSPECCIÓN DE CAMPO.....	19
6.3 - Plan de vuelo.....	20
6.3.1 - Herramientas de planificación de vuelo.....	20
6.3.1.1 - Software de planificación de vuelo.....	20

6.3.1.2 - Mapas y Datos Topográficos.....	20
6.3.1.3 - Uso de Aplicaciones Móviles y GNSS.....	20
6.3.2 - Pasos para una Planificación Exitosa.....	20
6.3.2.1 - Definir Objetivos Específicos.....	20
6.3.2.2 - Selección de Ruta y Puntos de Interés.....	21
6.3.2.3 - Configuración de Altura y Parámetros de Vuelo.....	21
6.3.2.4 - Verificación de Batería y Tiempo de Vuelo.....	21
6.3.2.5 - Revisión de Protocolos de Emergencia.....	21
6.3.3 - Ejecución y Seguimiento de la Misión.....	21
6.3.3.1 - Monitoreo en Tiempo Real durante el Vuelo.....	21
6.3.3.2 - Registro de Datos y Análisis Post Vuelo.....	21
7 - EJECUCIÓN DEL TRABAJO.....	22
7.1 - RESUMEN.....	22
7.2 - Levantamiento GNSS.....	23
7.3 - Relevamiento Fotogramétrico.....	25
7.3.1 - Distribución y medición de PAF.....	26
7.3.2 - Proyección del vuelo sobre los acopios.....	29
8. - PROCESAMIENTO DE DATOS.....	32
8.1 - Procesamiento de datos GNSS para los PAF.....	32
8.2 - Procesamiento de fotografías aéreas obtenidas durante el vuelo fotogramétrico.....	37
8.2.1 Procedimiento con Agisoft Photoscan Professional.....	38
8.3 - Procesamiento de datos GNSS para el cálculo de volumen con software.....	51
8.3.1 Procedimiento con Autocad.....	51
8.3.2 Procedimiento con TBC.....	53
9 - Metodología para el cálculo de volumen de acopios con aplicación de softwares para las mediciones con drones y GNSS.....	55
9.1 - Con Agisoft Photoscan Professional.....	55
9.2 - Con Surfer.....	57
9.3 - Con TBC.....	64
10- RESULTADOS OBTENIDOS.....	68
10.1 - ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	70
10.2 - Modelo Digital de Elevación.....	74
10.3 - Ortomosaico.....	74
10.4- Inventario de acopios.....	75
11 - CONCLUSIÓN.....	76
12 - MARCO TEÓRICO.....	78
12.1 - Noción de minería a cielo abierto.....	78
12.2 - Topografía.....	79
12.3 - Fotogrametría.....	81
12.4 - Noción de Geodesia y Posicionamiento.....	93

1 – INTRODUCCIÓN

Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se extraen diversos materiales como piedra, arena, grava, arcilla, mármol, entre otros. Las canteras son utilizadas principalmente en la industria de la construcción y en la fabricación de materiales como cemento, ladrillos y cerámicas.



Fotografía N°1 - Acopio de la cantera "La Milagrosa"



Fotografía N°2 - Acopio de la cantera "La Milagrosa"

Un aspecto fundamental requerido por las empresas que se dedican al rubro de la explotación minera es tener un control exacto del material extraído, el cual permite planificar futuras explotaciones, conocer los recursos disponibles, no generar un exceso de inventario, asegurar la productividad, ejecutar trabajos con mayor eficacia.

Debido a esto se debe efectuar cálculos de gran precisión, que en tiempos pasados debido a los pocos avances tecnológicos requería de gran esfuerzo, duración prolongada y menor precisión en las mediciones.

En la actualidad, los tiempos, esfuerzos y errores en la realización de trabajos relacionados con el relevamiento topográfico han disminuido de manera significativa gracias a los avances tecnológicos. Instrumentos como drones y GPS, utilizados en las ramas de la Fotogrametría y la Geodesia, resultan de gran utilidad en la Agrimensura.

El relevamiento fotogramétrico utilizando Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) permite obtener imágenes con diversas resoluciones, según la precisión requerida para cada tipo de trabajo. Estas imágenes, procesadas con un software específico, generan nubes de puntos de alta resolución, modelos digitales de elevación de alta precisión y otros resultados que describen correctamente la topografía del área de estudio y muestran la apariencia real del terreno.

Para reflejar en detalle las características geográficas, geométricas, variaciones y alteraciones de la zona de estudio, se deben realizar levantamientos planimétricos, altimétricos y cubicaciones. Debido a la complejidad de estas tareas, es fundamental analizar un método integral que cumpla con los requerimientos de precisión en el menor tiempo posible. Este método debe facilitar la recolección de información en lugares de difícil acceso o riesgo, cubrir un área extensa y reducir costos y esfuerzos.

En este contexto, la fotogrametría se presenta como una solución ideal.

El relevamiento mediante GNSS es una técnica avanzada que permite obtener datos precisos y detallados sobre puntos, líneas, recorridos y áreas geográficas. Este método es fundamental en proyectos de ingeniería, cartografía y análisis geográfico debido a su alta precisión y eficiencia.

Es una herramienta eficaz y precisa que facilita la obtención de datos confiables y detallados, esenciales para una amplia variedad de aplicaciones.

2. GENERALIDADES

2.1 - OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general del trabajo consiste en realizar el cálculo del volumen de acopio completo de una cantera y comparar los resultados obtenidos a través de las mediciones efectuadas por GNSS y Drone.

A partir de la aplicación conjunta y separada de la fotogrametría y la geodesia, y utilizando la última tecnología disponible para la obtención de imágenes aéreas y la

medición de puntos, se logran resultados que cumplen con los requerimientos de precisión necesarios para estos trabajos, teniendo en cuenta las dimensiones de los elementos medidos.

Los datos serán procesados con diferentes softwares para comparar los resultados y evaluar la precisión y eficiencia de las herramientas utilizadas.

2.2 - OBJETIVOS PARTICULARES

Buscando lograr el cumplimiento del objetivo general anteriormente mencionado, se plantean los siguientes objetivos particulares:

- Generar productos fotogramétricos de calidad, con la precisión adecuada, como consecuencia del procesamiento del vuelo realizado sobre la cantera elegida.
- Determinar la precisión altimétrica del relevamiento fotogramétrico realizado.
- Determinar el volumen de acopio del material extraído, mediante la utilización de diferentes métodos de cálculo.
- Realizar la comparación de resultados mediante la utilización de diferentes Softwares.
- Realizar la comparación de resultados mediante la utilización de GNSS y VANT.
- Obtener valores de coordenadas precisas, a partir de la medición de los puntos de apoyo del vuelo fotogramétrico a realizarse.
- Determinar, a partir del estudio de los antecedentes tanto técnicos como legales, las reglamentaciones que rigen en la actualidad en cuanto a la concesión y cuantificación de los recursos mineros, en la Provincia de Corrientes.

3 - PLANIFICACIÓN

Para planificar un levantamiento topográfico y fotogramétrico de manera efectiva, es fundamental considerar varios factores clave:

1. **Objetivos del Proyecto:** Determinar el propósito del levantamiento y los resultados esperados.
2. **Área de Estudio:** Evaluar el tamaño, la topografía y las características del terreno.
3. **Métodos y Técnicas:** Decidir si se utilizará RTK, fotogrametría aérea u otras técnicas.
4. **Equipamiento:** Seleccionar los equipos adecuados, como drones, GNSS, estaciones totales, etc.

5. **Condiciones Climáticas:** Considerar el clima y las condiciones meteorológicas que podrían afectar la precisión y seguridad.
6. **Accesibilidad:** Evaluar la facilidad de acceso al área y cualquier restricción.
7. **Normativas y Permisos:** Asegurarse de cumplir con las regulaciones locales y obtener los permisos necesarios.
8. **Seguridad:** Planificar medidas de seguridad para el equipo y el personal.

Definir estos factores de antemano garantiza una planificación más precisa y eficiente del levantamiento topográfico.

4 – HIPÓTESIS

Al inicio del presente trabajo, de manera preliminar a las operaciones de campo, se considera que la aplicación de la fotogrametría en explotaciones mineras a cielo abierto es altamente beneficiosa para la modelización topográfica y el seguimiento continuo de dichas explotaciones.

Gracias a la alta densidad de la nube de puntos obtenida mediante el método fotogramétrico, el nivel de detalle alcanzado es significativamente superior. Esto permite que la topografía representada se ajuste de manera precisa a la realidad, haciendo que las mediciones realizadas sobre esta base topográfica sean altamente representativas y exactas.

En proyectos de topografía y geodesia el método RTK (Real-Time Kinematic) es de gran utilidad para la toma de puntos en tiempo real. Sin embargo, una de sus desventajas es que, al depender del desplazamiento del operador y del tiempo de toma de puntos (cada 5 segundos), puede almacenar menos puntos de la superficie y de los acopios comparado con la fotogrametría aérea. Esto puede llevar a que los cálculos de volumen sean menos precisos.

En comparación, la fotogrametría aérea, que utiliza imágenes tomadas desde drones u otras plataformas aéreas, puede capturar una mayor cantidad de puntos de la superficie en menos tiempo, lo cual mejora la precisión de los cálculos volumétricos.

Por lo anteriormente expuesto, se plantean entonces, los siguientes interrogantes:

- ¿Cuál de los dos métodos de relevamiento, GNSS o drones, es más representativo para este tipo de trabajo?
- ¿Al utilizar distintos softwares para el cálculo de volúmenes nos darán resultados similares?
- Las precisiones obtenidas a partir de ambos métodos de relevamiento, ¿Serán aceptables para las mediciones en este tipo de trabajo?

5 - SOFTWARE E INSTRUMENTAL UTILIZADO

5.1 SOFTWARE

5.1.1 - Google Earth

Es un software que muestra un globo virtual y permite visualizar múltiples cartografías basadas en fotografías satelitales. Consiste en una superposición de imágenes obtenidas mediante satélites, fotografías aéreas, información geográfica de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos generados por computadora.

El programa está disponible en diversas licencias, pero la versión gratuita es la más popular y está accesible para dispositivos móviles, tabletas y computadoras personales. Este programa informático se utilizó como apoyo en la etapa de planificación de las tareas a realizar en la zona de estudio.

5.1.2 - AutoCAD

AutoCAD es un software de diseño que permite la creación y edición profesional de geometría 2D y modelos 3D, incluyendo sólidos, superficies y objetos. Es uno de los programas más reconocidos a nivel internacional gracias a su amplia gama de herramientas de edición. Por esta razón, es ampliamente utilizado por ingenieros, arquitectos y diseñadores industriales, entre otros profesionales.

Desarrollado y comercializado por Autodesk, una empresa líder en diseño 3D, ingeniería y software de entretenimiento, AutoCAD se destaca por su versatilidad y capacidad para manejar proyectos complejos. El nombre AutoCAD proviene de Autodesk y CAD, que son las siglas en inglés de "Computer Aided Design" (diseño asistido por computadora).

5.1.3 – Excel

Es un programa computacional incluido en el paquete "Microsoft Office" que sirve para la creación, manejo y modificación de hojas de cálculo. Es compatible con varios dispositivos y sistemas operativos.

Con Excel, se pueden realizar cálculos, crear tablas dinámicas, gráficos y bases de datos, entre otras tareas. Su objetivo principal es simplificar la realización de operaciones complejas mediante el uso de funciones y fórmulas.

Este software se utilizó para procesar los datos numéricos correspondientes a las mediciones efectuadas.

5.1.4 - Trimble Business Center

Trimble Business Center (TBC) es una aplicación de escritorio altamente automatizada para el procesamiento y administración de datos de nubes de puntos, fotogrametría, instrumentos ópticos y GNSS. Este software posee capacidades avanzadas, como el procesamiento de datos GNSS, el dibujo de secciones transversales y la fotogrametría integrada.

El software Trimble Business Center permite trabajar inmediatamente con los datos de campo para generar los resultados requeridos de manera eficiente.

5.1.5 - Agisoft PhotoScan Professional

Agisoft PhotoScan Professional (ahora conocido como Agisoft Metashape Professional) es una solución avanzada de modelado 3D basada en imágenes.

Este software permite crear modelos 3D texturizados a partir de fotos digitales fijas. Utiliza tecnología de reconstrucción 3D de múltiples vistas, lo que permite operar con imágenes tomadas desde cualquier posición, siempre que el objeto a ser reconstruido sea visible en al menos dos fotos.

Entre sus características principales se incluyen la creación de nubes de puntos densas, la generación de modelos digitales de elevación (MDE), y la construcción de ortomosaicos. Además, el software proporciona soporte completo para sistemas de referencia geoespacial, lo que permite una georreferenciación precisa mediante el uso de puntos de control.

5.1.6 - Surfer

Es un software de visualización de datos 2D y 3D desarrollado por Golden Software. Se utiliza principalmente para transformar conjuntos de datos geoespaciales complejos en modelos 2D y 3D precisos.

5.1.7 - DroneDeploy

DroneDeploy es una plataforma de software diseñada para planificar y ejecutar misiones de vuelo con drones de forma eficiente y precisa. Durante la etapa de planificación, proporciona datos clave como el área de cobertura, la altitud de vuelo, los puntos de ruta, el patrón de cobertura, los niveles de superposición, la duración estimada de la misión y la cantidad de baterías requeridas, entre otros parámetros operativos relevantes.

5.1.8 - DJI GO 4

DJI GO es una herramienta fundamental para optimizar la experiencia de vuelo y captura de contenido con drones DJI. Esta aplicación permite a los usuarios controlar su dron de manera intuitiva desde el celular, facilitando un manejo preciso y eficiente.

Además de sus capacidades de vuelo, el dispositivo incorpora herramientas avanzadas para la captura y edición de material fotográfico y audiovisual, lo que facilita la generación de contenido visual de alta calidad. Su diseño resulta accesible tanto a profesionales con experiencia como para aquellos con fines creativos.

5.2 – INSTRUMENTAL UTILIZADO

5.2.1 - Receptor GNSS (Base)

El receptor GNSS Galaxy G3 South es un dispositivo compacto y robusto que utiliza tecnología de alta precisión para ofrecer datos de posicionamiento exactos. Es ideal para aplicaciones en topografía, construcción, agricultura y más.



Imagen N°1 - Receptor GPS Base

Características

- **Canales GNSS:** Admite múltiples sistemas de satélites, incluyendo GPS (L1, L1C, L2C, L2P, L5), GLONASS (L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3), BDS (B1I, B2I, B3I), GALILEO (E1, E5A, E5B, E6C, AltBOC), SBAS (WAAS/MSAS/EGNOS/GAGAN), IRNSS (L5), QZSS (L1, L2C, L5*), y MSS.
- **Precisión de posicionamiento:** Ofrece alta precisión con errores horizontales de hasta 2.5 mm + 1 ppm RMS y verticales de hasta 3 mm + 0.4 ppm RMS en observaciones estáticas.
- **Tiempo de inicialización:** Menos de 10 segundos para la inicialización, con una fiabilidad superior al 99.99%.
- **Consumo de energía:** Menor consumo de energía gracias a su batería de iones de litio de 6800 mAh, que permite funcionar continuamente durante 15 horas.
- **Dimensiones y peso:** Compacto con dimensiones de 130 mm (ancho) x 130 mm (largo) x 80 mm (alto) y un peso de 790 g (con batería incluida).
- **Resistencia ambiental:** Impermeable y a prueba de polvo (IP68), resistente a caídas de hasta 2 metros sobre suelo de cemento y operable en temperaturas de -45°C a +75°C.
- **Comunicaciones:** Incluye puerto de alimentación externa LEMO de 5 pines, puerto RS232, puerto USB Tipo-C, y una interfaz TNC de antena UHF.

5.2.2 - Receptor GNSS (Móvil)

El receptor GNSS Galaxy G3 South es un dispositivo compacto y robusto que utiliza tecnología de alta precisión para ofrecer datos de posicionamiento exactos. Es ideal para aplicaciones en topografía, construcción, agricultura y más.



Imagen N°2 - Receptor GPS Móvil

Características

- **Canales GNSS:** Admite múltiples sistemas de satélites, incluyendo GPS (L1, L1C, L2C, L2P, L5), GLONASS (L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3), BDS (B1I, B2I, B3I), GALILEO (E1, E5A, E5B, E6C, AltBOC), SBAS (WAAS/MSAS/EGNOS/GAGAN), IRNSS (L5), QZSS (L1, L2C, L5*), y MSS.
- **Precisión de posicionamiento:** Ofrece alta precisión con errores horizontales de hasta 2.5 mm + 1 ppm RMS y verticales de hasta 3 mm + 0.4 ppm RMS en observaciones estáticas.
- **Tiempo de inicialización:** Menos de 10 segundos para la inicialización, con una fiabilidad superior al 99.99%.
- **Consumo de energía:** Menor consumo de energía gracias a su batería de iones de litio de 6800 mAh, que permite funcionar continuamente durante 15 horas.
- **Dimensiones y peso:** Compacto con dimensiones de 130 mm (ancho) x 130 mm (largo) x 80 mm (alto) y un peso de 790 g (con batería incluida).
- **Resistencia ambiental:** Impermeable y a prueba de polvo (IP68), resistente a caídas de hasta 2 metros sobre suelo de cemento y operable en temperaturas de -45°C a +75°C.
- **Comunicaciones:** Incluye puerto de alimentación externa LEMO de 5 pines, puerto RS232, puerto USB Tipo-C, y una interfaz TNC de antena UHF.

5.2.3 – Drone

El DJI Mavic 2 zoom es conocido por su diseño compacto y portátil, lo que permite transportarlo fácilmente. Es ideal para capturar imágenes y videos aéreos de alta calidad en diversas condiciones y entornos.



Imagen N° 3 - DJI Mavic 2 Zoom

Características:

- **Cámara:** Cuenta con un sensor de 1/2.3 pulgadas y 12 megapíxeles. Ofrece un zoom óptico de 2x (24-48 mm) y un zoom digital de hasta 4x1.

- **Peso de despegue:** 905 g.
- **Dimensiones plegadas:** 214 x 91 x 84 mm.
- **Velocidad máxima:** 72 km/h (modo S).
- **Altura máxima de servicio:** 6000 m sobre el nivel del mar.
- **Tiempo máximo de vuelo:** 31 minutos (sin viento).
- **Distancia máxima de vuelo:** 18 km (sin viento).
- **Resistencia al viento:** Hasta 38 km/h.
- **Sistema de detección de obstáculos:** Omnidireccional, con detección frontal y trasera.
- **Modos de vuelo inteligentes:** Incluyen rastreo automático, seguimiento de objetos y modo Hyperlapse.
- **Modos de vuelo inteligentes:** Incluyen rastreo automático, seguimiento de objetos y modo Hyperlapse.

5.2.4 – Controladora South H6

H6 es el controlador que tiene instalado el sistema operativo Android 11 y adopta un teclado completo con teclas separadas para 26 letras y números.

H6 como controlador industrial tiene una cubierta resistente que alcanza IP67. El dispositivo es resistente al agua y a prueba de caídas desde 1,5 m. Además, la batería de iones de litio de 9200mAh satisface la necesidad de tiempo de trabajo prolongado. Las ranuras duales para tarjetas nano SIM admiten la red 4G y brindan una experiencia perfecta de conexión de red de alta velocidad.

Está integrado con varios sensores, como NFC, giroscopio, E-compass, G-sensor, etc. La distancia de trabajo de Bluetooth V4.1 de nueva generación es de más de 20 metros, el módulo WIFI avanzado hace que el rango de trabajo sea de hasta 30 metros en buenas condiciones.



Imagen N°4 - Controladora South H6

Características:

- ❖ **Sistema:** Android 11
- ❖ **Cpu:** Octa-core 2.0GHz
- ❖ **Ram:** 4GB
- ❖ **Rom:** 64GB
- ❖ **SIM Frecuencias:** GSM: B2/B3/B5/B8/FDD-LTE :B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/B13/B17/B20/B25/B28/ TDD-LTE/ B38/B39/B40/B4/TDSCDMA B34/B39/WCDMA B1/B2/B5/B8/ CDMA1x/CDMA2000 BC0
- ❖ **Capacidad de Batería:** 9200mAh
- ❖ **Tiempo de operación:** 15hs

5.2.5 - Elementos utilizados

- Pintura en Aerosol
- Trípode
- Dispositivo móvil Motorola EDGE 40
- Soporte Celular Dron Mavic

5.2.6 - CPU utilizada para el procesamiento de datos:

- **Sistema Operativo:** Windows 10 Enterprise.
- **Procesador:** Intel(R) Core (TM) i7 – 8700 CPU 3.20 GHz.
- **Memoria Instalada (RAM):** 16,0 GB.
- **Tipo de sistema:** Sistema Operativo de 64 bits.
- **Placa de video:** NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti.

6. ANÁLISIS PREVIO

6.1 - ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Al tratarse de una actividad cuya concesión es privada, es necesario conseguir, previamente, la autorización de los administradores/titulares de la empresa a cargo de la explotación para, a partir de ello, definir el momento adecuado en que se pueda realizar el relevamiento.

6.1.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El departamento de Curuzú Cuatiá se encuentra ubicado en el Centro-Sur de la Provincia de Corrientes, República Argentina, siendo su Capital la ciudad de Curuzú Cuatiá (29°47' S - 58°05' W).

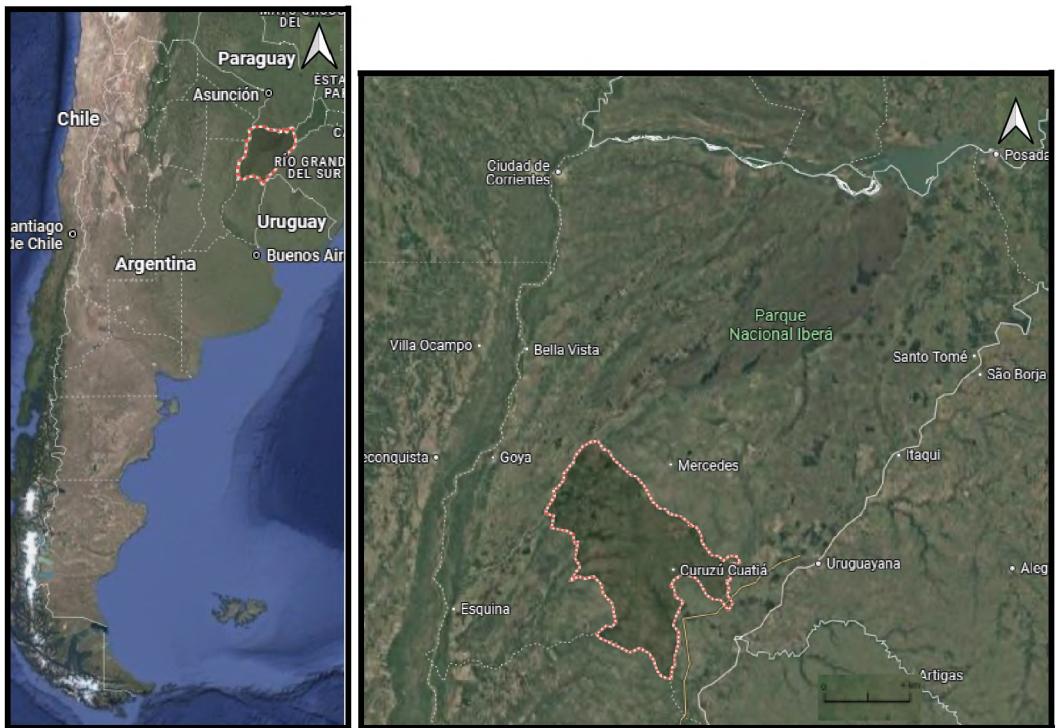


Imagen N° 5 y N°6 - Ubicación del proyecto

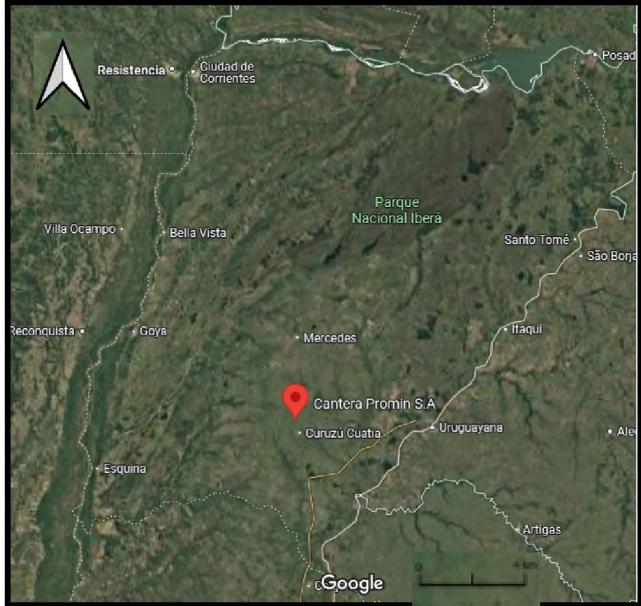


Imagen N° 7 - Ubicación del proyecto

La vegetación predominante es de un monte abierto, tipo parque, con pastizales naturales de porte bajo y mediano, existiendo áreas con aparición de afloramientos rocosos de escasas dimensiones (NE y E del departamento) y algunas superficies inundables en las riberas de ríos (principalmente NO y O).

6.1.2 - ACCESO A LA CANTERA

El presente trabajo fue realizado en la cantera "La Milagrosa", ubicada aproximadamente a trece kilómetros al norte de la ciudad de Curuzú Cuatiá, en la provincia de Corrientes, sobre el km 43,3 de la RN Nº 119. El yacimiento "La Milagrosa" fue fundado en 1985 y es operado por la empresa Promin S.A. La cantera se explota por método de banqueo(trabajar el yacimiento en niveles o bancos escalonados), formando una excavación principal de aproximadamente 500 metros de lado y 33 metros de profundidad.

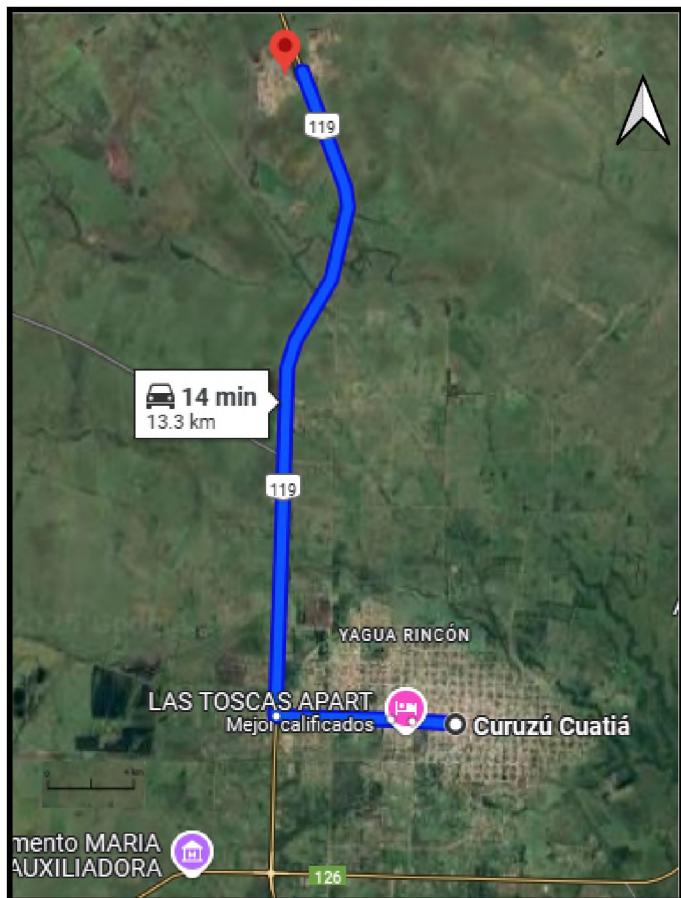


Imagen N° 8 - Acceso a la cantera desde Curuzú Cuatiá - Ctes.

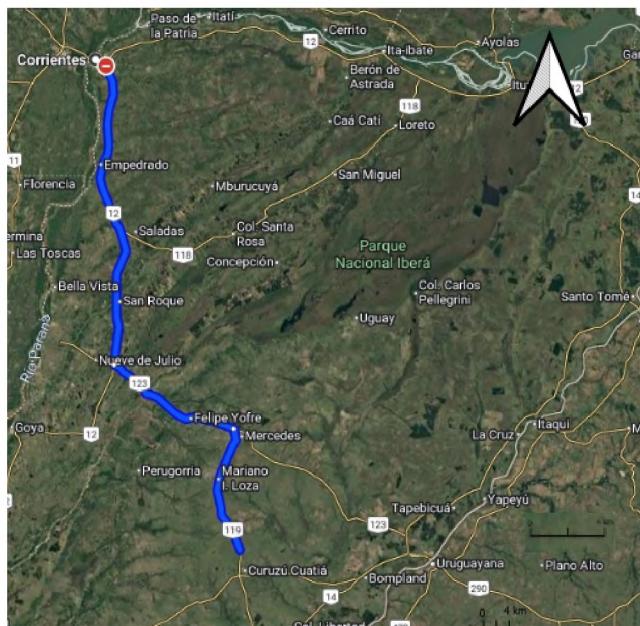


Imagen N°9 - Distancia desde Ctes a la Cantera (304 km).

Se adjunta imagen del ingreso a las canteras:



Fotografia N°3 - Frente del acceso a la Cantera

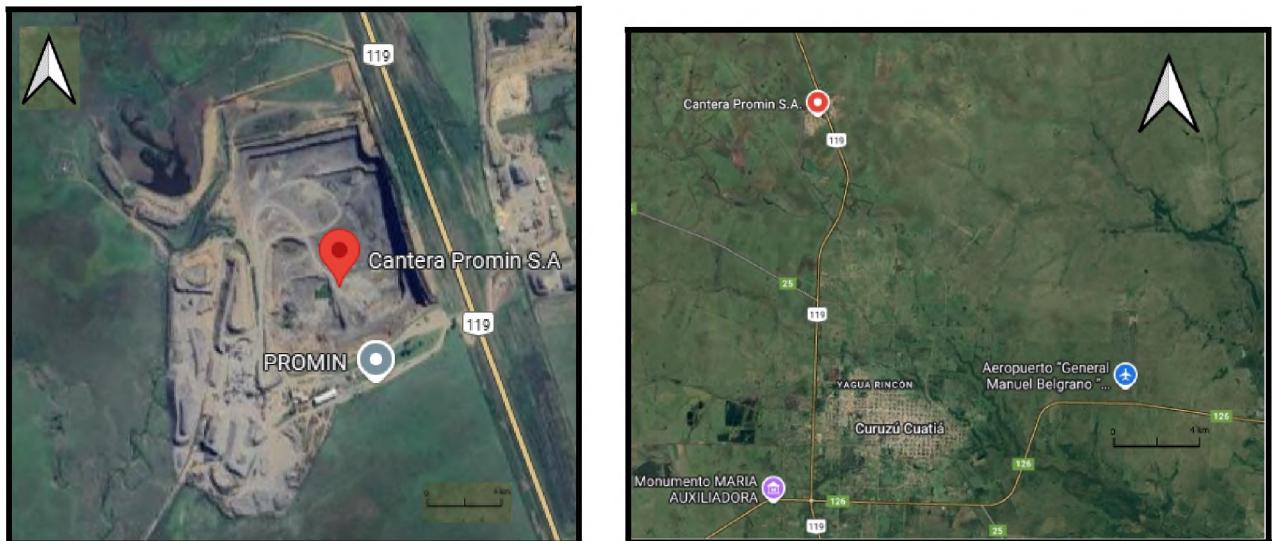


Imagen N°10 y N°11 - Imagen Satelital de la Cantera

6.1.3 - Información de la empresa PROMIN S.A.

PROMIN S.A. es una empresa cuya actividad principal se centra en la extracción y procesamiento de roca de basalto. Los productos obtenidos se clasifican de acuerdo con su fracción granulométrica d/D , la cual comprende un rango determinado entre un tamaño inferior (d) y un tamaño superior (D), como por ejemplo 6/12 mm.

Clasificación de la piedra basáltica triturada:

- **0 a 6 mm:** Utilizada principalmente como agregado para asfaltos. En algunos casos, se emplea en bajos porcentajes en hormigones, dependiendo de las especificaciones de los constructores.
- **6 a 12 mm:** Similar a la clasificación anterior, se usa como agregado para asfaltos y, en menor medida, en hormigones.
- **6 a 19 mm:** Predominantemente utilizada en hormigones, aunque en ciertos casos se incorpora como agregado de asfaltos.
- **19 a 32 mm:** Aplicada como agregado para hormigones de alta resistencia, conforme a las especificaciones técnicas requeridas.
- **Primera voladura:** Material extraído de la primera voladura de cantera, seleccionado según las necesidades del cliente para rellenos de gaviones, taludes y protecciones portuarias.

Este procesamiento y clasificación garantizan la adecuación del material a diferentes aplicaciones constructivas y de infraestructura.

6.1.4 - VENTAJAS Y DESVENTAJAS PRESENTADAS

Como **VENTAJAS** podemos mencionar principalmente las siguientes:

- La cantera tiene como gran ventaja, estar apartada lo suficiente de la ciudad, en una zona rural, por lo tanto, no hubo dificultad para el relevamiento aéreo.
- Los acopios en la región presentan una disposición uniforme y están bien distribuidos a cielo abierto. Esta organización favorece el relevamiento topográfico y fotogramétrico, permitiendo una cobertura completa de la zona.
- Durante el relevamiento, la cantera estuvo inactiva, lo que facilitó el recorrido dentro del predio y permitió realizar las mediciones sin inconvenientes.
- Todas las tareas de campo fueron supervisadas por profesionales idóneos en este tipo de trabajos.

Como **DESVENTAJAS** se encuentran:

- Dado que se trata de una empresa privada, fue necesario solicitar permiso para ingresar al predio y realizar las mediciones. La fecha asignada no ofrecía mucha flexibilidad para cambios.
- La cantera se encuentra a aproximadamente 317.5 km de la Ciudad de Corrientes. Se debió viajar con antelación para la planificación de las tareas de campo, asegurando una logística precisa y eficiente.
- Dado que el tiempo disponible para la ejecución de las tareas era limitado a dos días, la precisión y eficiencia de las mediciones resultaban esenciales. Por lo tanto, fue necesario optimizar cada procedimiento, asegurando la máxima exactitud en la recopilación de datos y aprovechando al máximo el tiempo disponible para completar las actividades programadas.

6.1.5 ASPECTO LEGAL DE LA EMPRESA

PROMIN S.A.

- Denominación o Nombre de la Cantera: LA MILAGROSA.
- Ubicación Geográfica: Ruta Prov. N° 119 - Km. 43,300 - 1a Sección - Curuzú Cuatiá..-

En cuanto a la situación legal que compete este tipo de actividad, podemos afirmar, que la empresa PROMIN S.A., a cargo de la cantera “La Milagrosa”, en la Ciudad de Curuzú Cuatiá, cumple con todos los requerimientos exigidos por la Ley Nacional N°24.585 (Ley de Actividad Minería – Impacto Ambiental) y la ley 5.067 (Ley de Evaluación de Impacto Ambiental - Corrientes), según Estudio de Impacto Ambiental.

Es regulada por el Instituto Correntino del Agua y el Ambiente, ICAA.

El Instituto Correntino del Agua y el Ambiente (ICAA), certifica que PROMIN S.A. se halla inscripta en el Registro de Productores Áridos bajo: REGISTRO PRODUCTOR DE ÁRIDOS N°: 009 – LIBRO I – FOLIO 7.

6.2 - RECONOCIMIENTO / INSPECCIÓN DE CAMPO.

Durante la inspección de campo, se realizó un recorrido completo por toda la explotación y sus instalaciones. Esto permitió conocer en detalle el proceso de explotación de áridos, que son materiales granulares utilizados en la construcción.



Fotografía N° 4 - Acopios de la cantera "La Milagrosa".

Asimismo, se examinaron las dimensiones de los acopios, observándose la existencia de varios de ellos, diferenciados según la granulometría de los áridos extraídos. Se tuvo la oportunidad de conocer las maquinarias empleadas para la trituración de las rocas (Fotografía Nº 5) y los medios de transporte que las conducen hacia dichas maquinarias



Fotografía N°5 - Zona de ubicación de la maquinaria utilizada por la Cantera

Se pudo apreciar que la dimensión real de la cantera es considerablemente mayor a lo estimado a partir de las imágenes satelitales.

Simultáneamente, se identificaron diversos lugares alrededor de la cantera donde sería posible establecer un punto fijo.

6.3 - Plan de vuelo

La planificación de vuelo con drones es un paso crítico y fundamental en cada misión aérea. Una planificación detallada no solo garantiza la seguridad del vuelo, sino que también maximiza la eficiencia y los resultados obtenidos.

6.3.1 - Herramientas de planificación de vuelo

6.3.1.1 - Software de planificación de vuelo

El avance de la tecnología ha propiciado el desarrollo de software especializado en la planificación de vuelos con drones. Estas herramientas dotan a los operadores de una variedad de funciones para planificar y optimizar sus misiones. Mediante estas aplicaciones pueden:

- Trazar rutas precisas.
- Definir puntos de interés.
- Configurar altitudes de vuelo.
- Evaluar condiciones meteorológicas en tiempo real.

6.3.1.2 - Mapas y Datos Topográficos

Proporcionan información detallada sobre la elevación del terreno y la topografía del área de vuelo.

6.3.1.3 - Uso de Aplicaciones Móviles y GNSS

Estas aplicaciones como DroneDeploy y DJI GO ofrecen acceso a información en tiempo real, como la ubicación del drone, la distancia recorrida y la vida útil de la batería.

6.3.2 - Pasos para una Planificación Exitosa

6.3.2.1 - Definir Objetivos Específicos

El primer paso para una planificación de vuelo exitosa es definir objetivos específicos para la misión. Se deben identificar qué datos o imágenes desean obtener y cómo utilizarán esa información para cumplir con los requisitos de la misión.

6.3.2.2 - Selección de Ruta y Puntos de Interés

Se deben seleccionar la ruta de vuelo y los puntos de interés que se cubrirán durante la misión, garantizando la cobertura completa del área de interés.

6.3.2.3 - Configuración de Altura y Parámetros de Vuelo

Implica la configuración de la altitud y otros parámetros de vuelo. La altitud debe ajustarse según los requisitos de la misión y las restricciones legales, especialmente en áreas urbanas o cercanas a aeropuertos.

6.3.2.4 - Verificación de Batería y Tiempo de Vuelo

La duración de la batería es un factor crítico. Antes de cada misión, se debe asegurar que la batería esté completamente cargada y verificar el tiempo de vuelo estimado. Esta verificación es esencial para evitar interrupciones durante la misión y asegurar que el dron pueda completar el vuelo previsto sin contratiempos.

6.3.2.5 - Revisión de Protocolos de Emergencia

Incluir procedimientos para el retorno seguro del dron en caso de pérdida de señal, aterrizaje de emergencia y acciones para proteger a las personas y la propiedad en situaciones críticas.

6.3.3 - Ejecución y Seguimiento de la Misión

Se debe revisar minuciosamente el dron para asegurarse de que esté en perfectas condiciones de funcionamiento. Esto incluye verificar la calibración, la estabilidad del equipo GNSS y la conexión de los sensores.

6.3.3.1 - Monitoreo en Tiempo Real durante el Vuelo

Mantener un monitoreo constante del dron y los datos que está recopilando. Las aplicaciones móviles y las pantallas de control proporcionan información en tiempo real sobre la ubicación del dron, la altura, la velocidad y otros datos importantes.

6.3.3.2 - Registro de Datos y Análisis Post Vuelo

Verificar y registrar todos los datos recopilados durante el vuelo. Esto incluye imágenes, videos, datos de vuelo y cualquier otra información relevante. Un análisis post vuelo permite evaluar la calidad de los datos y determinar si se han cumplido los objetivos requeridos.

7 - EJECUCIÓN DEL TRABAJO

7.1 - RESUMEN

Se inició la ejecución del trabajo observando la zona de relevamiento a través de imágenes satelitales para tener una idea general del terreno. Posteriormente, en campo, se realizó un recorrido en automóvil para identificar posibles lugares donde se podría colocar la base del equipo GNSS para su relevamiento y los puntos fijos altimétricos.

Una vez finalizado el recorrido por el predio, se seleccionó la ubicación óptima para estacionar la base del equipo GNSS, así como una zona que permitiera el despegue seguro y sin interrupciones del dron. Se verificó la ausencia de elementos que pudieran interferir con la captación de la señal proveniente de los satélites.



Fotografía N° 6 y 7 - Estacionamiento de la base del GPS

Al inicio de las actividades de medición, se posicionaron y nivelaron el trípode, la base nivelante y el receptor GNSS, que se utilizó como “Equipo base”.

Después de encender los equipos, se configuró el receptor base, tomando su altura con una cinta métrica. De manera similar, se procedió con la instalación y configuración del receptor móvil, estableciendo su altura en 1.8m.

Posteriormente, se marcaron los PAF (de los cuales se hablará más adelante en el informe, en el capítulo 7.3.1), y se midieron sus coordenadas para poder georreferenciar las imágenes obtenidas con el dron durante el procesamiento en gabinete, minimizando así los errores.

Luego se relevaron los puntos de los acopios utilizando el equipo GNSS. Finalmente, se procedió a realizar el vuelo del dron, con los PAF ya marcados en el terreno. Procedimientos de los se detalla a continuación en los siguientes títulos.

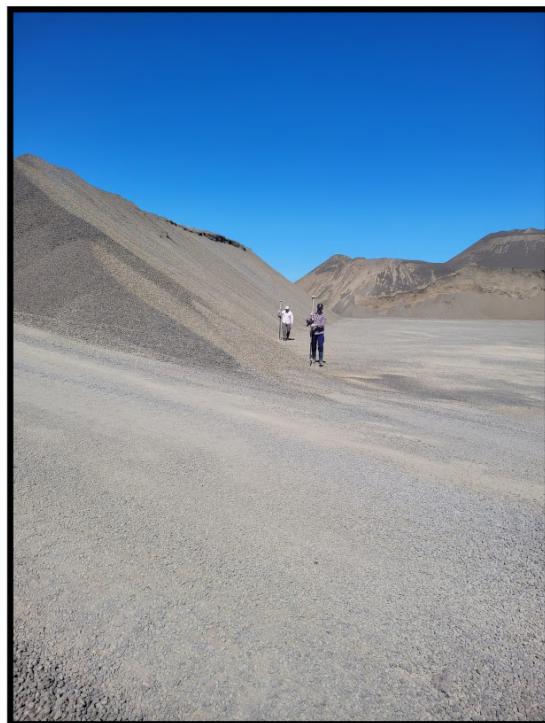
7.2 - Levantamiento GNSS

Una vez seleccionada la ubicación óptima, que debe ser un sitio despejado, con una vista sin obstrucciones del cielo en todas las direcciones para asegurar una buena recepción de señales satelitales y con el menor tránsito posible de personas, animales y vehículos para evitar inconvenientes con los equipos, la primera actividad realizada es el posicionamiento y nivelación del receptor base.

1. Se procede a colocar el trípode en el suelo y ajustar las patas para que la cabeza del trípode esté aproximadamente nivelada.
2. Se empujan las patas del trípode en el suelo para asegurar su estabilidad.
3. Se fija el receptor base en la cabeza del trípode, asegurándose de que esté bien sujetado.
4. Se utilizan los tornillos de ajuste fino del trípode para nivelar el receptor. Algunos trípodes disponen de burbujas de nivel que facilitan esta tarea.
5. Se ajusta el trípode hasta que el nivel de burbuja del receptor esté perfectamente centrado.
6. Se verifica y ajusta la nivelación repetidamente hasta asegurarse de que el receptor esté completamente nivelado.

Se procedió a la configuración del proyecto para que los datos obtenidos se encuentren en el sistema POSGAR 07 - Faja 6, adoptado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) como marco de referencia geodésico nacional. Luego de inicializar y vincular el receptor base con el receptor móvil, se dio inicio al levantamiento de los puntos de apoyo fotogramétricos.

Para realizar el levantamiento utilizando el equipo GNSS, se configuró el dispositivo para tomar puntos cada 5 segundos mediante el método RTK continuo. En una primera instancia, se procedió a recorrer los contornos de los acopios, asegurando una cobertura completa de los límites exteriores. Posteriormente, se fueron escalando los acopios y se realizó un levantamiento detallado en distintas alturas para obtener nubes de puntos representativas de la morfología de las montañas. Estos datos, una vez cargados en gabinete, permitirán realizar el cálculo de volumen con mayor precisión.



Fotografía N°8 - Relevamiento acopio N°3



Fotografía N° 9 - Levantamiento de puntos GNSS del acopio N°10



Fotografía N°10 - Relevamiento de puntos GNSS

Ventajas de la Medición Continua para el Cálculo de Volúmenes en Movimiento:

- **Mayor precisión:** La medición continua permite capturar un mayor número de puntos de datos, lo que se traduce en una mayor precisión en el cálculo de volúmenes. Esta técnica reduce la posibilidad de errores y ofrece un modelo más exacto del terreno.
- **Mayor eficiencia:** La medición continua elimina la necesidad de detener la máquina para realizar mediciones puntuales, lo que aumenta la eficiencia del proceso de medición y reduce el tiempo total necesario para completar el levantamiento.
- **Menor costo:** La mayor eficiencia del proceso de medición se traduce en una reducción de los costos operativos, ya que se requiere menos tiempo y recursos para obtener los datos necesarios.
- **Mayor seguridad:** La medición continua permite al operador mantener la atención en el trabajo sin interrupciones frecuentes, lo que incrementa la seguridad en el lugar de trabajo al minimizar riesgos asociados con pausas y reanudaciones constantes.

7.3 - Relevamiento Fotogramétrico

Una vez desarrollados los planes de vuelo correspondientes, se tuvo en cuenta la previsión de las condiciones climáticas. Aunque había ráfagas de viento, estas no eran muy fuertes, por lo que el vuelo del dron se realizó de manera efectiva. Otro factor a considerar fue que el vuelo se llevó a cabo en un día sin actividad, lo que favoreció la

toma de imágenes y evitó diferentes obstáculos que podrían haber aparecido en las fotografías aéreas, entre otros factores.



Fotografía N° 11 - Vuelo del dron "Mavic 2 Zoom"

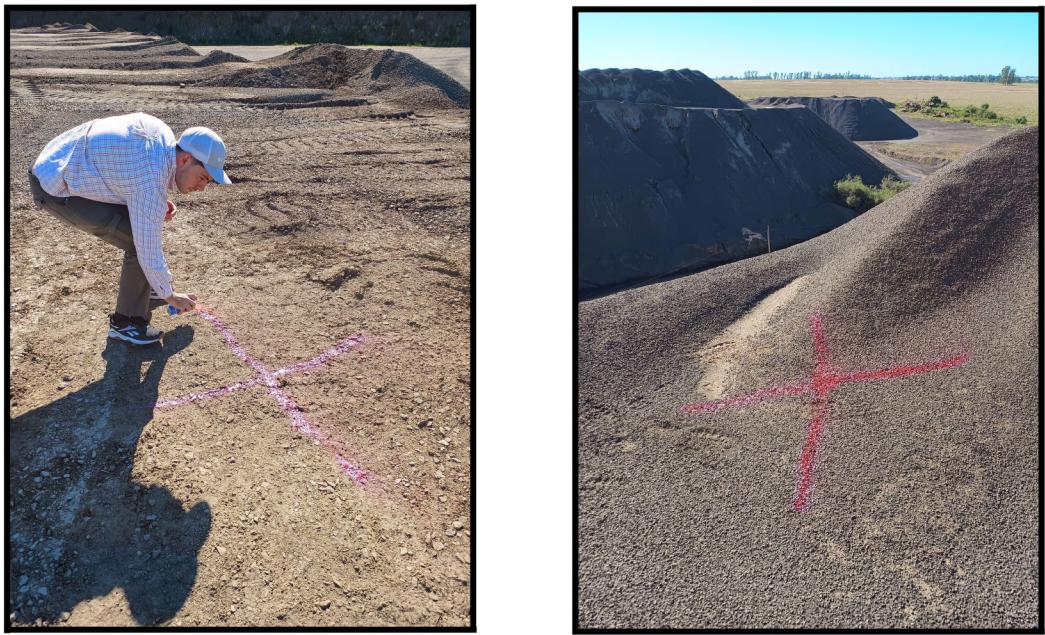
El levantamiento fotogramétrico fue posible gracias a la colaboración de los agrimensores Juan Pablo Robaina y Emanuel Ulises Schweizer, quienes aportaron su ayuda, pusieron a disposición su dron 'DJI - Mavic 2 Zoom' y brindaron sus conocimientos durante la ejecución del vuelo.

7.3.1 - Distribución y medición de PAF

Una de las etapas más importantes durante el desarrollo del proceso fotogramétrico es el apoyo terrestre. En esta etapa, se obtienen las coordenadas terrestres de los PAF mediante una serie de mediciones llevadas a cabo en el terreno. Esta medición permitirá compensar posteriormente los errores generados durante el procesamiento inicial de las fotografías obtenidas en el software utilizado.

La obtención de las coordenadas correspondientes a los PAF puede realizarse en dos etapas distintas: antes del vuelo o de manera posterior al mismo. Si la medición se realiza posteriormente al vuelo, los puntos elegidos deben cumplir con la condición de ser claramente identificables en las fotografías y ser inmutables a factores climáticos u otras situaciones que puedan presentarse, ya que luego deben ser hallados y medidos en el terreno. En este caso, se decidió realizar el procedimiento antes del vuelo, razón por la cual los PAF debieron ser señalizados en el terreno de forma tal que dichas señales fueran perfectamente identificables en las fotografías aéreas y medidos previo al vuelo.

En vistas de cumplir la premisa señalada en el párrafo anterior, aunque la altitud solar y su iluminación eran óptimas, debido a la presencia de ráfagas de viento se optó por utilizar marcas de pintura en aerosol roja en forma de X en lugar de las dianas fotogramétricas para la señalización de los PAF. Se adjunta imagen.



Fotografía N°12 y 13 - Señalización de los puntos altimétricos fijos

A su vez, se realizó el relevamiento de los mismos con el receptor GNSS “móvil”, utilizando el método diferencial “GNSS RTK”, con una duración de 10 segundos en cada uno de los puntos (Fotografía N°14 y 15). La medición GNSS de los puntos se realizó tras la señalización de los Puntos Fijos Altimétricos en el terreno y con anterioridad a la ejecución del vuelo del dron.



Fotografía N°14 - Levantamiento de coordenada del PAF.

En el sector donde se encontraban los acopios, dada la gran dimensión de éstos, correspondiente a las diferentes granulometrías de trituración de las piedras, y considerando que el principal interés del vuelo en dicha área era la cuantificación volumétrica de cada acopio, se consideró pertinente y necesario la colocación de PAF (Puntos de Apoyo Fotogramétrico) sobre algunos de ellos para asegurar la precisión del procesamiento.



Fotografía N°15 - Levantamiento de coordenadas del PAF

Paralelamente, es fundamental que la distribución de los PAF (Puntos de Apoyo Fotogramétrico) se realice de manera uniforme a lo largo de toda la superficie a relevar. Esta uniformidad es clave para lograr un mejor ajuste en el modelo durante su procesamiento. Al asegurar una distribución equitativa de los PAF.



Imagen N°12 - Distribución de los PAF.

7.3.2 - Proyección del vuelo sobre los acopios

Mediante la herramienta se selecciona la opción de dibujo de polígonos o de selección rectangular, dependiendo de la forma del área que se necesita cubrir. Es importante asegurarse de que todos los puntos clave dentro del área de vuelo estén incluidos dentro de los límites definidos.

Además, se pueden ajustar los límites del área seleccionada en cualquier momento para mejorar la precisión y cobertura del vuelo. Esto puede implicar mover los vértices del polígono o expandir/reducir la selección rectangular. Se verifica que el área definida no incluya obstáculos significativos y que cumpla con las regulaciones locales de vuelo.

Una vez que se confirma la delimitación, se guarda o confirma el área para proceder con la configuración de los parámetros del vuelo.



Imagen N°13 - Plan de vuelo

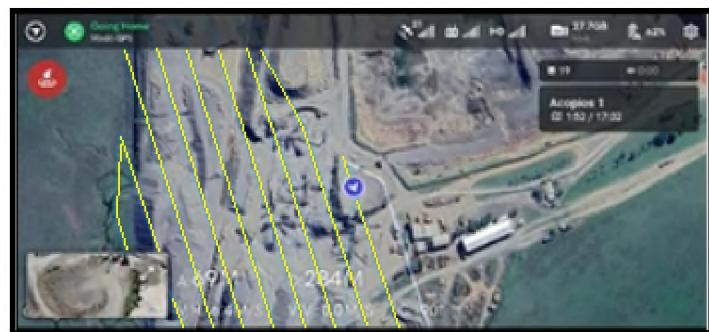


Imagen N°14 - Vista del vuelo desde celular

A continuación, en las siguientes imágenes se detallan las configuraciones y parámetros técnicos que se emplearon para la planificación del vuelo. Se incluyen aspectos como la altitud de vuelo, velocidad, superposición de imágenes, tipo de cámara, y otros ajustes específicos que permiten optimizar la captura y el procesamiento posterior de la información.

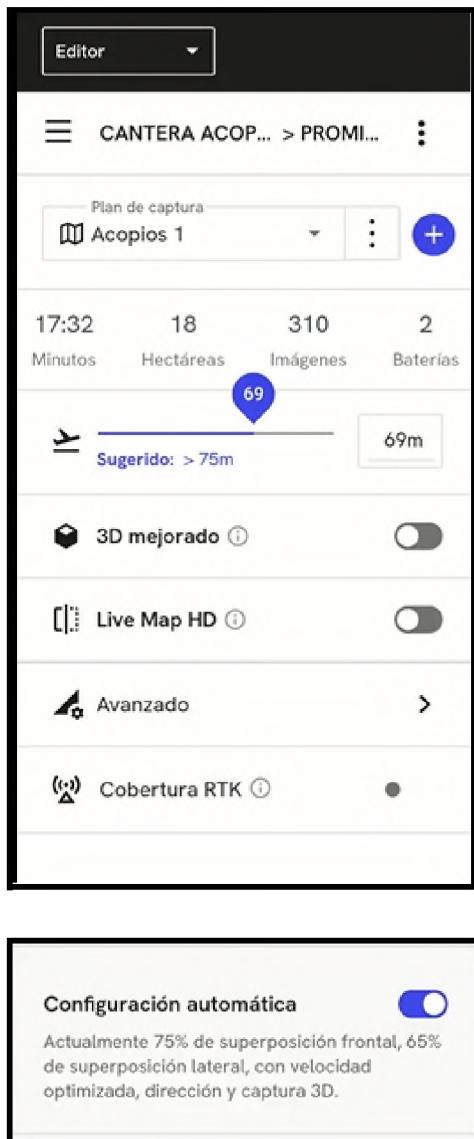


Imagen N°15 y 16 - Configuración del plan del vuelo

Como resultado final de este proceso, se obtuvieron un total de 310 imágenes, con una altura de vuelo de 69m. El tiempo total empleado en el vuelo fue de 17 minutos y 32 segundos, utilizando 2 baterías y relevando un área de 18 hectáreas.

Una vez finalizadas las labores correspondientes al vuelo fotogramétrico con dron, se procedió a verificar la correcta captura de las imágenes y el estado de los datos registrados por el equipo. Posteriormente, se continuó con las tareas restantes del levantamiento topográfico mediante levantamiento GNSS. En esta etapa se completó la recolección de datos de los puntos restantes, se revisó la integridad de la información almacenada en los receptores y se realizó la descarga completa de los datos para su posterior procesamiento en gabinete.

8. - PROCESAMIENTO DE DATOS

8.1 - Procesamiento de datos GNSS para los PAF

En primer lugar, se exportaron los datos de la colectora del equipo GNSS en formato DXF para su utilización en AutoCAD. Dentro del entorno de AutoCAD, se procedió a identificar y separar los PAF (Puntos Altimétricos Fijos) ya que estos poseían una nomenclatura particular respecto de otros puntos relevados en el terreno. Esta separación fue necesaria para limpiar el dibujo y generar un nuevo archivo de AutoCAD que contuviera exclusivamente los PAF.

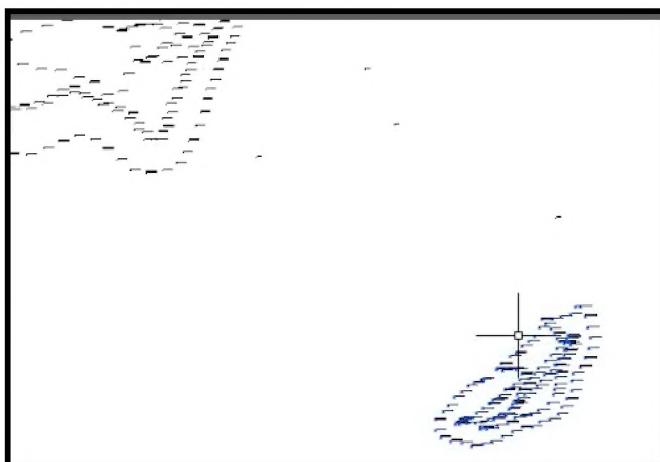


Imagen N°17 - Vista de los puntos en Software Autocad.

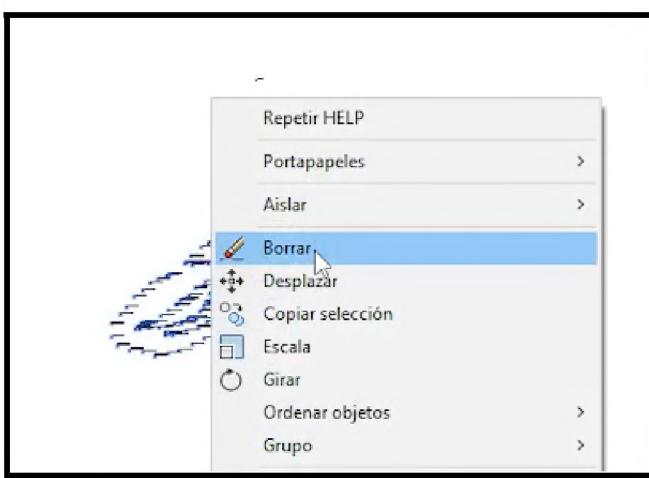


Imagen N°18 - Supresión de puntos no correspondientes a PAF.

En las imágenes 17 y 18 se puede observar el filtrado de los puntos en el programa AutoCAD

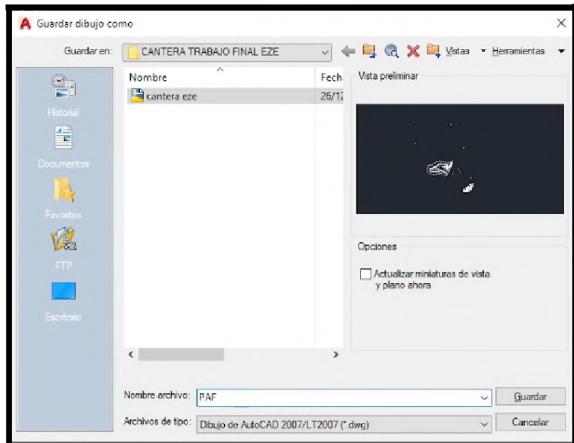


Imagen N°19 - Guardado de PAF.

Se guardan los PAF en formato .Dwg.

Una vez generado el nuevo archivo, se cargó en el programa Trimble Business Center (TBC) para convertir el archivo a formato Excel (CSV).

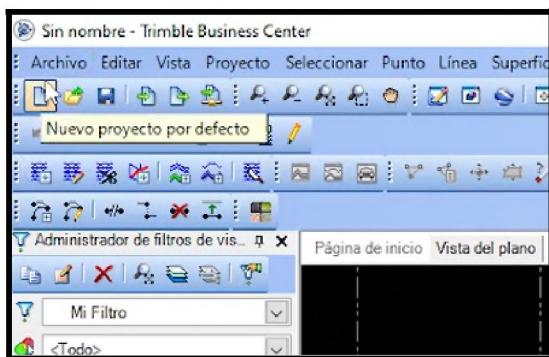


Imagen N°20 - Vista de ingreso de datos en TBC.

Se selecciona en “Nuevo proyecto” y se arrastra el archivo DXF de los PAF al software.

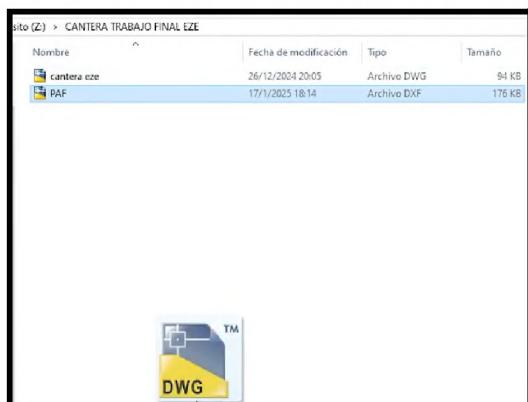


Imagen N°21 - Ingreso de datos PAF

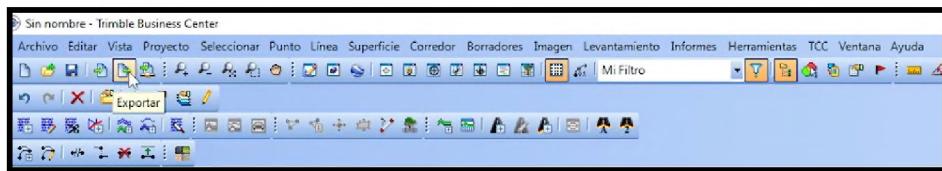


Imagen N°22 - Exportación de PAF en formato .csv.

Se selecciona en la opción “exportar” y se abre el siguiente menú, donde en “opciones” se selecciona todos los puntos y se exporta el archivo en formato .csv

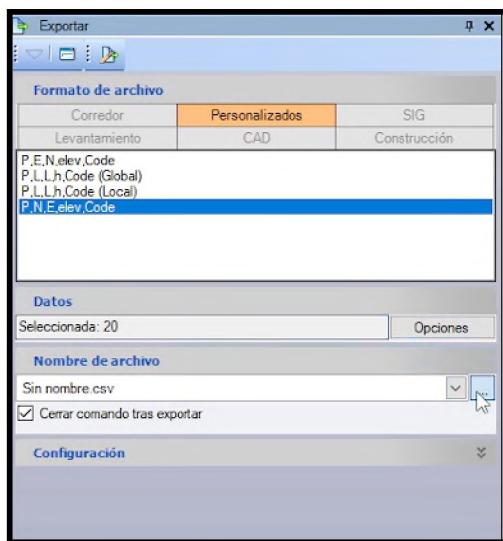


Imagen N°23 - Exportación de los PAF en formato .csv.

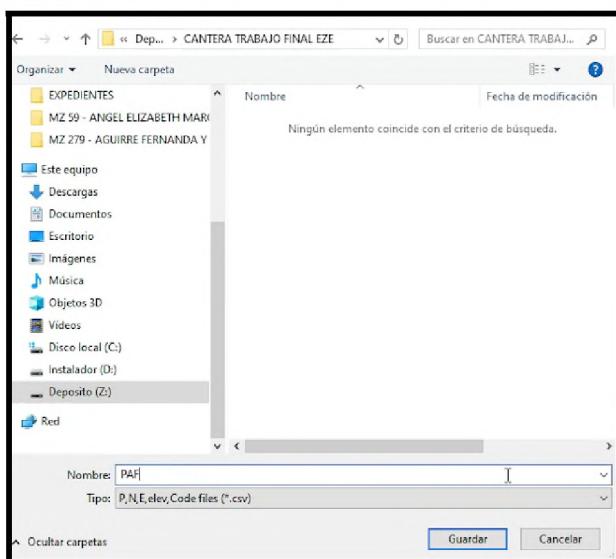


Imagen N°24 - Exportación los PAF en formato .csv.

Se obtienen así las coordenadas X,Y,Z de cada PAF en formato excel

El archivo resultante incluía únicamente las coordenadas de cada PAF. Posteriormente, en AutoCAD se verificaron las coordenadas para identificar y agregar la nomenclatura correspondiente a cada punto.

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "PAF - Excel". The table contains 10 rows of data, each representing a point with three coordinates. The columns are labeled A, B, and C. The data is as follows:

A1						
1	,6714674.027,	6394499.897,	103.873,			
2	,6714664.359,	6394484.981,	99.923,			
3	,6714479.274,	6394663.214,	102.140,			
4	,6714261.855,	6394703.995,	107.997,			
5	,6714245.349,	6394712.787,	107.929,			
6	,6714218.000,	6394760.546,	104.002,			
7	,6714235.839,	6394671.915,	103.532,			
8	,6714363.396,	6394725.678,	104.628,			
9	,6714388.261,	6394490.859,	116.256,			
10	,6714491.843,	6394489.869,	116.702,			

Imagen N°25 - Coordenadas de los PAF.

Para identificar correctamente las coordenadas correspondientes a cada Punto de Apoyo Fotogramétrico dentro del archivo Excel, se recurrió al análisis de la altura (coordenada Z) en los programas AutoCAD y Trimble Business Center.

Esta altura sirvió como criterio diferenciador para reconocer cada punto específico dentro del conjunto de datos exportados. Una vez identificados, se procedió a asignar manualmente el código correspondiente a cada PAF, completando una tabla estructurada que incluía las coordenadas planimétricas (X, Y) y altimétrica (Z) junto al identificador del punto.

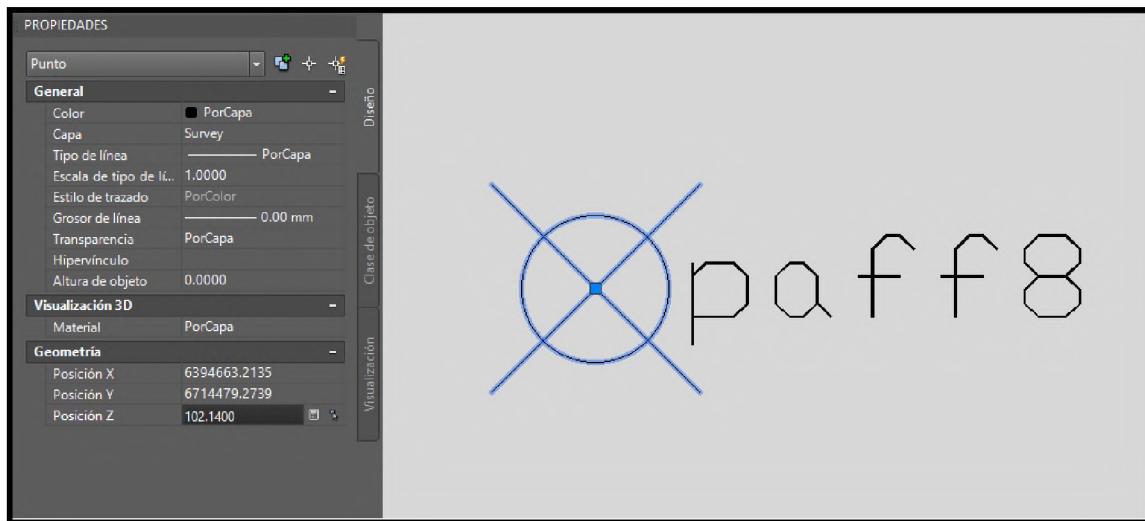


Imagen N°26 - Identificación del PAF 8 en excel utilizando AutoCAD.

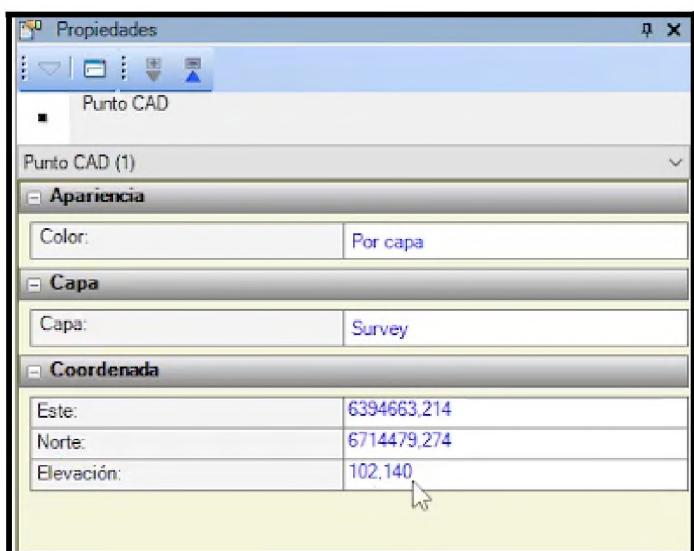


Imagen N° 27 - Identificación del PAF 8 en excel utilizando TBC.

Con todas las coordenadas verificadas e identificadas, el archivo en formato Excel se guardó y se importó en el programa Agisoft. Este último paso fue esencial para el procesamiento de las imágenes, garantizando la precisión en la identificación de los puntos altimétricos.

PAF7,6714674.027,6394499.897,103.873,
PAF6,6714664.359,6394484.981,99.923,
PAF8,6714479.274,6394663.214,102.140,
PAF10,6714261.855,6394703.995,107.997,
PAF9,6714245.349,6394712.787,107.929,
PAF2,6714218.000,6394760.546,104.002,
PAF1,6714235.839,6394671.915,103.532,
PAF3,6714363.396,6394725.678,104.628,
PAF5,6714388.261,6394490.859,116.256,
PAF4,6714491.843,6394489.869,116.702,

Imagen N°28 - Identificación de cada PAF delante de las coordenadas

Resumiendo los pasos para obtener las coordenadas de los PAF son:

1. Se dispone de un conjunto de puntos georreferenciados obtenidos mediante GNSS que abarcan una extensa área.
2. Es necesario filtrar estos puntos georreferenciados para eliminar aquellos que no son relevantes, ya que se desea conservar únicamente los puntos georreferenciados que están asociados con cada PAF(Punto Fijo Altimétrico).
3. Una vez filtrados los puntos, se procede a guardar el archivo y se importa en el software "Trimble Business Center".
4. En la opción "Exportar" se seleccionan todos los puntos y se lo guarda en archivo .csv
5. Se identifica visualizando en CAD o TBC que coordenadas pertenecen a cada PAF en el excel.
6. El archivo se encuentra listo para ser utilizado como punto de control en Agisoft.

8.2 - Procesamiento de fotografías aéreas obtenidas durante el vuelo fotogramétrico

El software fotogramétrico elegido para el postproceso de toda la información recolectada en formato de imágenes y coordenadas de puntos físicos fue el de la empresa Agisoft, en su versión Agisoft Photoscan Professional. Anteriormente mencionado en el capítulo 5.1.5.

Procesamiento:

El procesamiento se basa en los tres principios fundamentales de la Fotogrametría, que son las tres orientaciones conocidas, la orientación interna, la orientación relativa y la orientación absoluta.

Los tres principios fundamentales que se mencionan son cruciales para lograr resultados precisos:

1. **Orientación interna:** Esta etapa se centra en la calibración de la cámara y la corrección de distorsiones internas, asegurando que cada imagen sea lo más precisa posible.
2. **Orientación relativa:** Aquí se ajustan las posiciones relativas de las fotos entre sí, creando un modelo tridimensional preliminar del área o objeto de interés.
3. **Orientación absoluta:** Finalmente, se ajusta el modelo tridimensional a un sistema de coordenadas geográficas o un modelo geoidal, asegurando que los datos sean georreferenciados y precisos.

Estos principios son comprendidos por el software mediante la realización de los siguientes procesos:

- 1) Procesamiento inicial:** se realiza un ajuste relativo de las estaciones de cada fotografía, y se genera un modelo relativo.
- 2) Nube de puntos y malla:** se realiza un ajuste absoluto del modelo, dependiendo si el proyecto contiene o no puntos de control, además de ajustarlo a algún modelo geoidal, en caso de que se haya aplicado alguno. Se genera la nube de puntos y la malla de triángulos (éstos son únicamente para visualizar y trabajar dentro del software).
- 3) MDS, ortomosaico, índices:** el software genera los productos entregables que se requieran y permite exportarlos para trabajar en otros softwares (el modelo digital de superficie, el ortomosaico georreferenciado, la nube de puntos en formato ".las").

8.2.1 Procedimiento con Agisoft Photoscan Professional

A continuación, se relatan los pasos llevados a cabo para la realización del presente trabajo:

Para iniciar el procesamiento de las imágenes tomadas con el dron, se ejecuta el programa "Agisoft Photoscan Professional".

- 1) En la pestaña de "Flujo de trabajo", se ubicó el directorio donde estaban alojadas las imágenes provenientes de los vuelos. A continuación se muestra una imagen que ilustra este paso. Es fundamental asegurarse de que todas las imágenes estén correctamente importadas y que no presenten problemas de calidad, como desenfoques o errores de exposición.

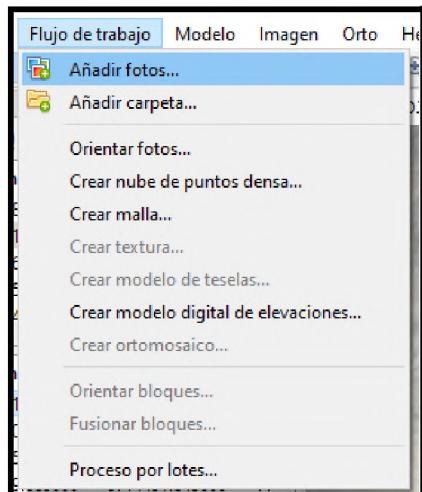


Imagen N°29 - Ingreso de imágenes capturadas con el dron en Agisoft Photoscan Professional

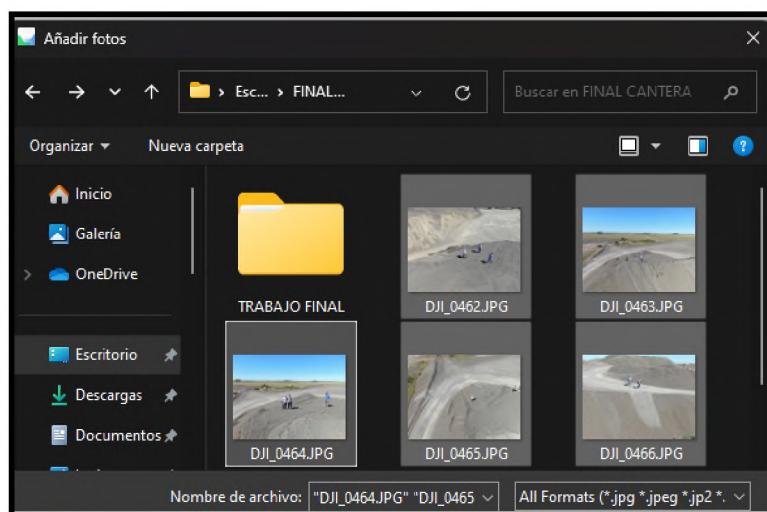


Imagen N°30 - Ingreso de imágenes capturadas con el dron en Agisoft Photoscan Professional

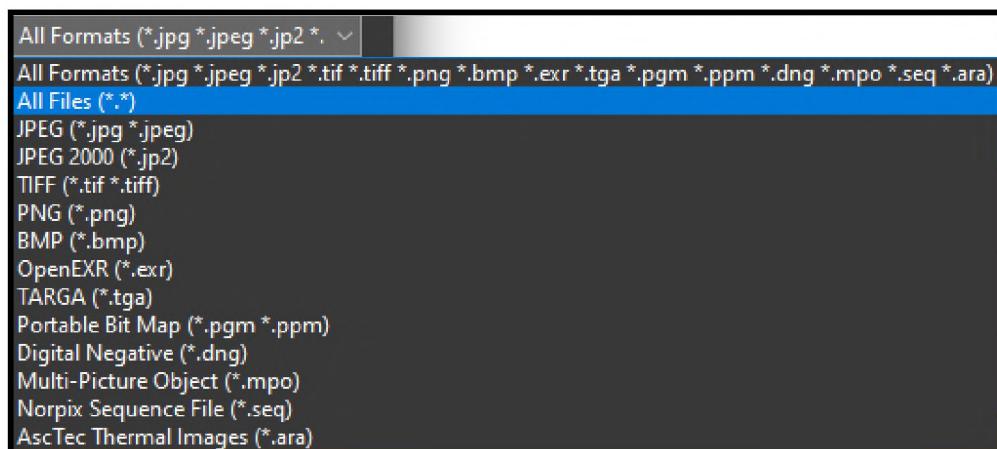
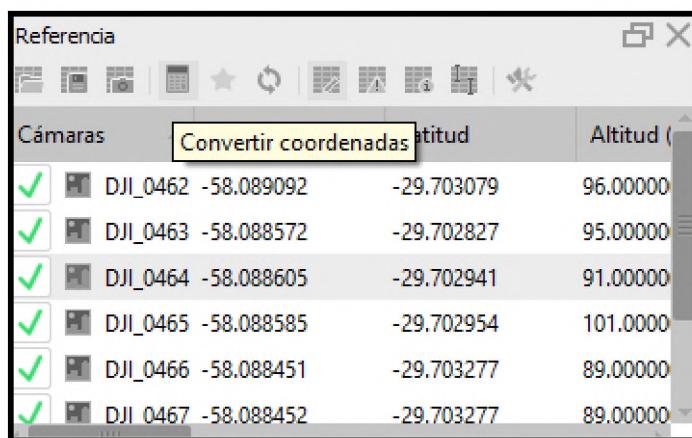


Imagen N°31 - Selección de formato de imágenes a ingresar.

Como se puede observar, el software fotogramétrico admite diversos formatos de imágenes. En este trabajo, las imágenes capturadas por el dron DJI Mavic 2 Zoom fueron en formato JPG.

2) Al cargar todas las imágenes, estas estarán en el sistema de coordenadas predeterminado del software (WGS84). Sin embargo, el objetivo de este trabajo es obtener productos fotogramétricos en el marco de referencia POSGAR 07. Por lo tanto, es necesario transformar las coordenadas y ajustar todo el proyecto a dicho marco.

Para llevar a cabo esta transformación, se debe ir a la pestaña "Referencia" y seleccionar el ícono "Convertir coordenadas". Este paso permite cambiar las coordenadas de las imágenes y demás datos del proyecto al sistema de referencia POSGAR 07, asegurando que los resultados fotogramétricos sean precisos y coherentes con el marco de referencia requerido.



Cámaras	Convertir coordenadas	Altitud	Altitud (m)
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0462 -58.089092	-29.703079	96.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0463 -58.088572	-29.702827	95.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0464 -58.088605	-29.702941	91.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0465 -58.088585	-29.702954	101.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0466 -58.088451	-29.703277	89.000000	
<input checked="" type="checkbox"/> DJI_0467 -58.088452	-29.703277	89.000000	

Imagen N°32 - Conversión a sistema de coordenadas POSGAR 07

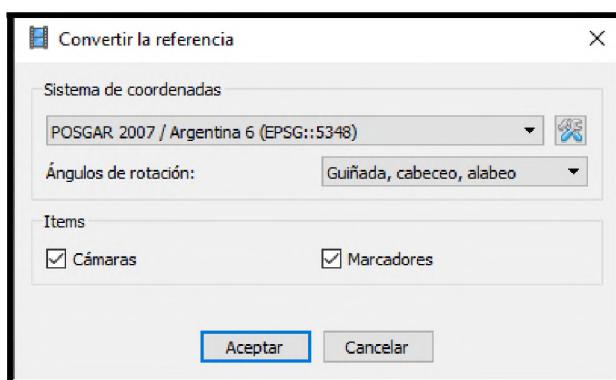


Imagen N°33 - Conversión a sistema de Coordenadas POSGAR 07.

Tras realizar la conversión de coordenadas, se procedió a guardar el proyecto usando el botón "Guardar". Se eligió un nombre adecuado y una ubicación en un disco con suficiente espacio de almacenamiento, anticipando que las próximas etapas del

procesamiento generarían una gran cantidad de datos, ocupando varias decenas de gigabytes.

3) En la pestaña "Flujo de trabajo", se selecciona la opción "Orientar fotos", permitiendo definir la calidad con la que se procesarán las imágenes. Este procedimiento tiene como objetivo la alineación de los fotogramas en función de la posición y orientación de la cámara, asegurando una correcta superposición y coherencia espacial entre ellos. La elección de la calidad dependerá de los recursos computacionales disponibles y del nivel de precisión requerido. Durante la ejecución de esta operación, se identificaron los denominados **puntos de paso**, elementos fundamentales en la fotogrametría tradicional. Estos puntos cumplen la función de conectar las distintas imágenes, favoreciendo su adecuada orientación dentro del conjunto de fotogramas procesados.



Imagen N°34 - Orientación de fotografías

4) En la ventana desplegada, el software, nos permitió definir la precisión del proceso, la que se configuró en "Alta". Además, permitió elegir la cantidad de puntos de paso y clave, el manual del software indica que la cantidad indicada por el mismo por defecto serían las más recomendables a la hora de realizar un procesamiento con fines de mapeo

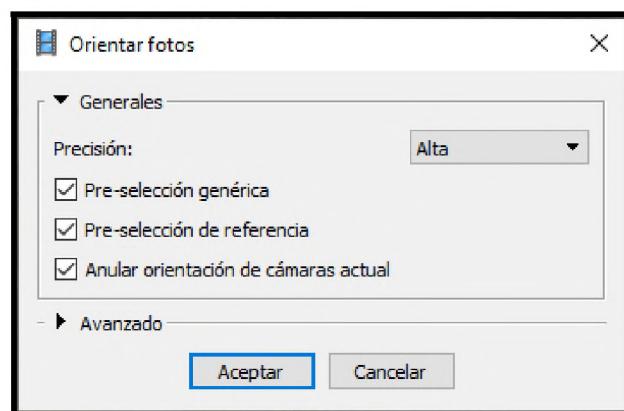


Imagen N°35 - Orientación de fotografías

5) Como se indicó al inicio de este trabajo, el apoyo terrestre es esencial para asegurar un posicionamiento preciso de nuestro modelo en el espacio y corregir posibles deformaciones de escala y nivelación. Esta tarea se llevó a cabo en la pestaña "Referencia", utilizando el comando "Importar referencia".

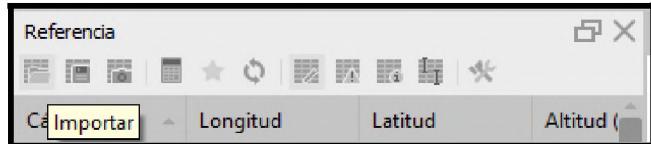


Imagen N°36 - Apoyo de coordenadas terrestres PAF

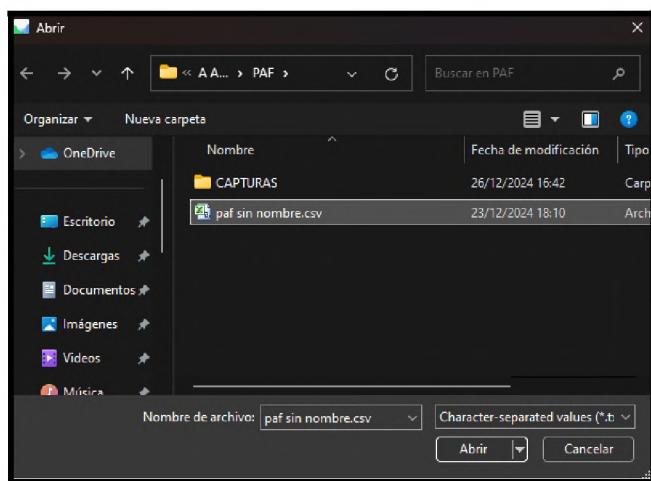


Imagen N°37 - Coordenadas de apoyo terrestre PAF

6) Se importa el archivo CSV que contiene la descripción y coordenadas de los puntos de control. Es esencial verificar que el archivo CSV incluya todas las coordenadas y descripciones correctas. Estos puntos de control mejoran significativamente la precisión del modelo tridimensional resultante.

7) En la ventana siguiente, se seleccionó el sistema de coordenadas en el cual fueron levantados los puntos. Además, se especificó el tipo de separador (tabulador) y el orden de las columnas. Esto se hizo para asegurar que las coordenadas fueran correctamente interpretadas por el software. Para garantizar la precisión, se verificó la configuración en la vista previa antes de proceder.

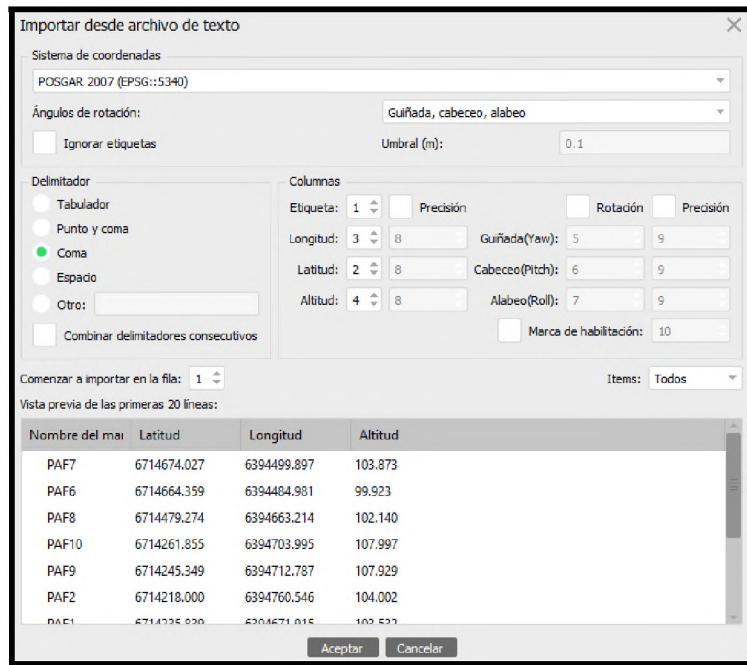


Imagen N°38 - Formato de ingreso de coordenadas de apoyo terrestre

Cámaras	Este (m)	Norte (m)	A
DJI_0170	6394788.363132	6714371.853647	15
DJI_0171	6394781.502915	6714393.174243	15
DJI_0172	6394776.207576	6714409.622143	15
DJI_0173	6394705.097049	6714508.065660	15
DJI_0174	6394714.307485	6714479.207143	15

Marcadores	Este (m)	Norte (m)	A
PAF1	6394671.915000	6714235.839000	10
PAF2	6394760.546000	6714218.000000	10
PAF3	6394725.678000	6714363.396000	10
PAF4	6394489.869000	6714491.843000	11
PAF5	6394490.859000	6714388.261000	11

Imagen N°39 - Vista de coordenadas de las fotografías y de las coordenadas de apoyo terrestre

8) El siguiente paso es georreferenciar los puntos seleccionando cada uno mediante la opción "Filtrar foto por punto actual". el programa filtró las fotografías donde aparecía nuestro marcador. Al revisar estas imágenes, se observó un desfase evidente entre el marcador y la posición del blanco colocado, que indica la ubicación exacta del punto físico en el terreno. Este desfase puede deberse a varias razones. La más significativa es la diferencia en la precisión de posicionamiento entre el sistema GNSS geodésico (con precisión de milímetros) utilizado para levantar las coordenadas de los puntos, y el navegador del UAV (con precisión del orden de metros). Además, la primera aproximación realizada por el programa puede contener errores de proyección, escala

y nivelación, que se corrigen precisamente al incluir estos puntos de control en el proyecto.

Para corregir este desplazamiento y alinear el marcador con su posición correcta (aunque técnicamente es al revés), se hizo clic sobre el marcador y, sin soltarlo, se arrastró a la ubicación correcta. Durante este proceso, el marcador se convirtió en una diana de colimación. Una vez colocado en su lugar, el color de la bandera del marcador cambió de gris a verde, indicando que se fijó correctamente y que fue tomado como referencia.

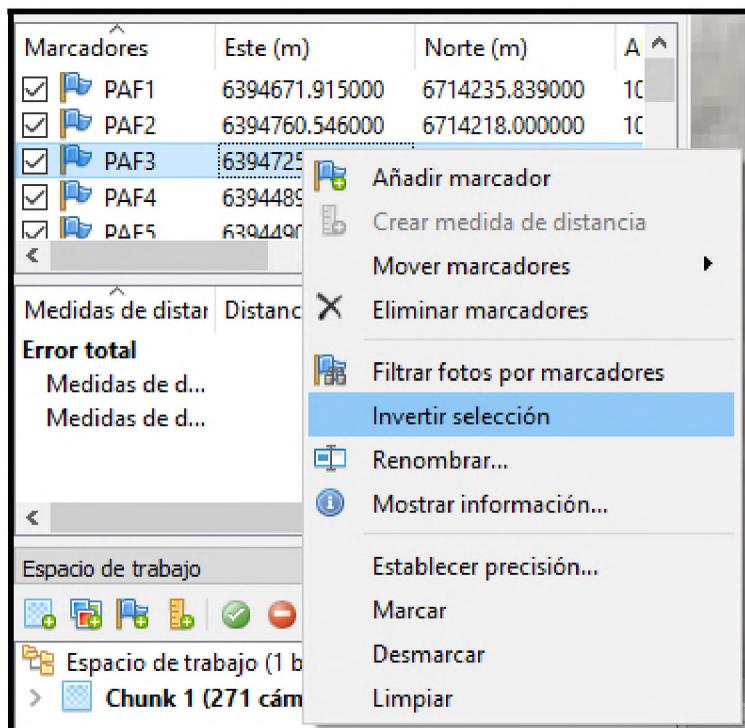


Imagen N°40 - Filtrar Fotos por Marcadores

A continuación se introducen algunos ejemplos de Filtrados de fotos por marcadores de distintos PAFs:

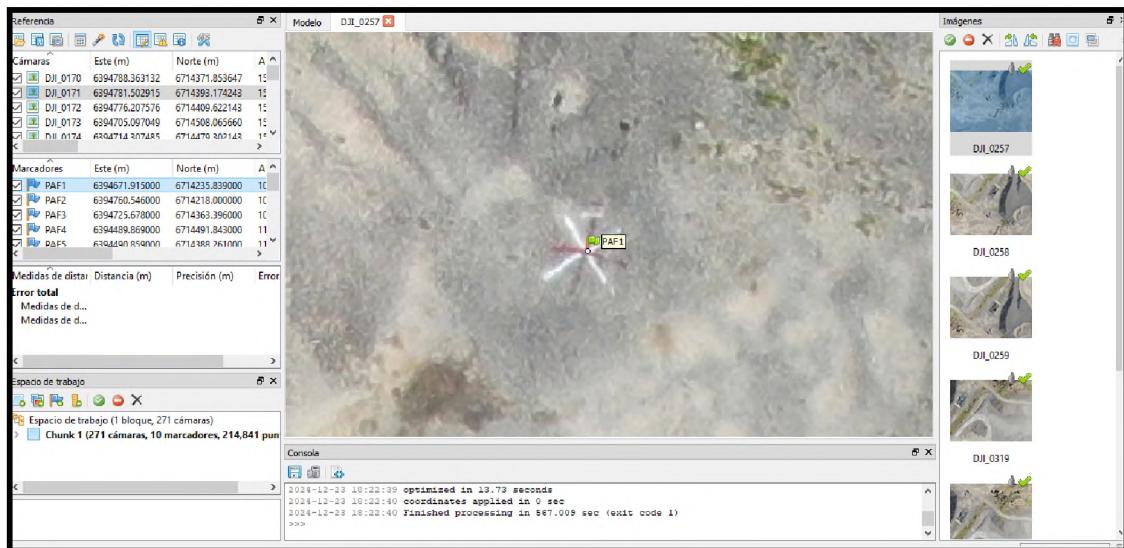


Imagen N°41 - Filtrado por marcadores PAF 1

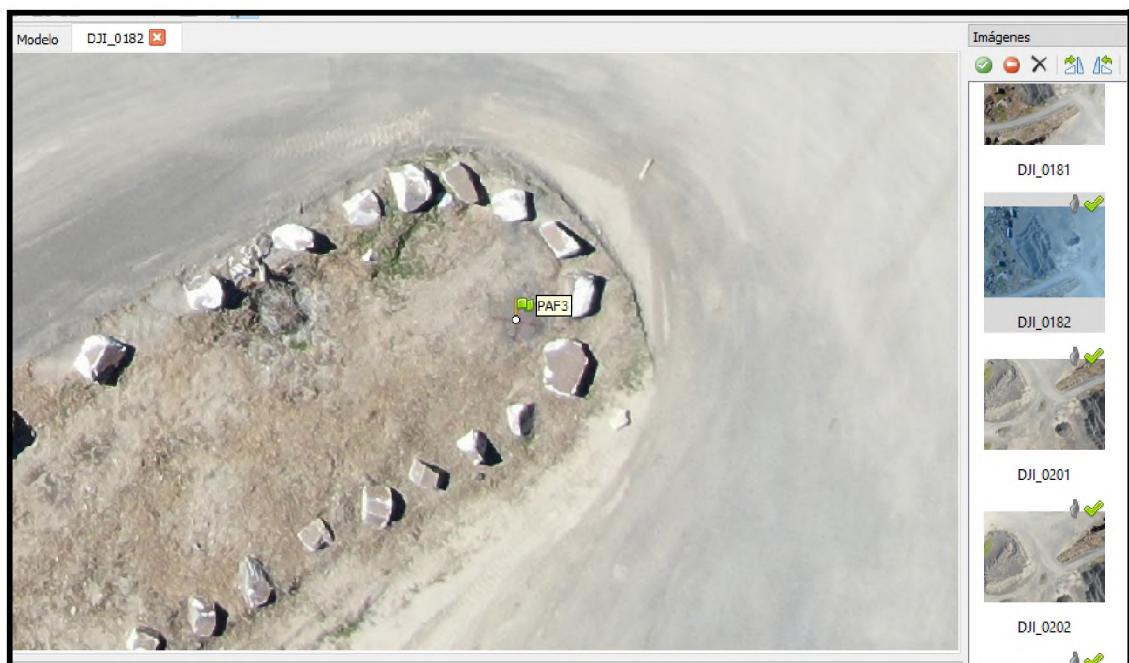


Imagen N°42 - Filtrado por Marcadores PAF 3

Como se puede observar en la imagen, ocurren casos en que en una sola imagen satelital se presentan 3 PAFs al mismo tiempo. En ese caso corresponde el filtrado por marcadores de los 3 PAFs. Como se puede observar en la siguiente imagen:



Imagen N°43 - Filtrado por Marcadores PAF 1,9 y 10



Imagen N°44 - Filtrado por marcadores PAF 6 y 7

Una vez realizado esto, en las demás fotografías el marcador apareció prácticamente colimado, requiriendo sólo correcciones leves. En los casos donde el blanco estaba obstruido y no se podía visualizar claramente, el marcador no se desplazó y permaneció en color gris. Esto indicó que no estaba fijado y no se tuvo en cuenta para

el cálculo de esa fotografía en particular. De esta manera, se evitó introducir errores de colimación innecesarios en el modelo.

Se aplicó el mismo procedimiento a todos los marcadores y las fotografías relacionadas con ellos, garantizando así la precisión y exactitud del proyecto.

9) Se procede a optimizar las cámaras seleccionando todos los puntos que se georeferenciaron. Este proceso ajusta los parámetros internos y externos de las cámaras, reduciendo significativamente el error en la orientación de las imágenes y mejorando la precisión del modelo tridimensional. Es fundamental guardar el proyecto en su estado actual para evitar la pérdida de datos y mantener un respaldo del trabajo realizado hasta el momento. Este paso asegura que se puede retomar el trabajo desde el mismo punto en caso de cualquier interrupción.

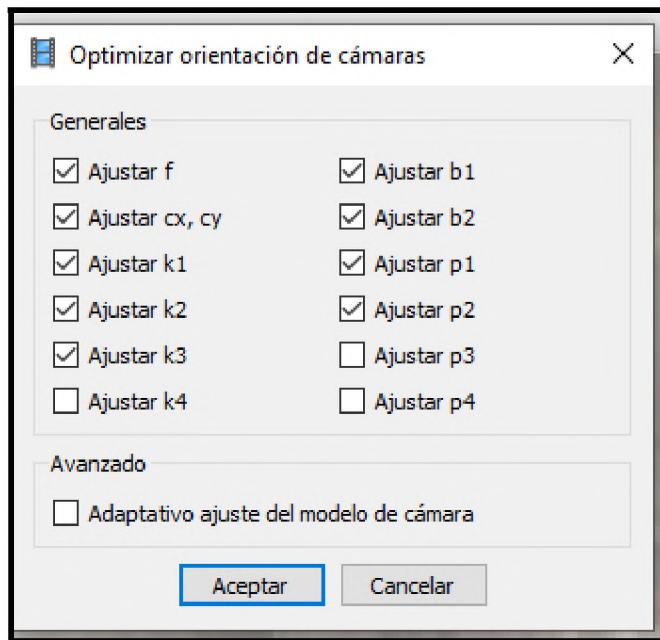


Imagen N°45 - Optimización de orientación de cámaras.

10) El siguiente paso fue la creación de la nube de puntos densa. En esta operación, el programa calculó millones de puntos a partir de las fotografías y de las relaciones matemáticas basadas en teorías de correlación de imágenes, formando así una nube de puntos extremadamente densa en el espacio. Para iniciar este proceso, se hizo clic en "Flujo de trabajo" y luego en "Crear nube de puntos densa".

El sistema solicitó en la ventana desplegada que se indicará el nivel de calidad para la generación de la nube de puntos. La calidad de la nube de puntos es directamente proporcional a la cantidad de puntos que contiene, lo cual a su vez implica una mayor exigencia para el sistema informático que ejecuta el programa.

La interfaz permite seleccionar entre cinco niveles de calidad: "Mínima", "Baja", "Media", "Alta" y "Extra alta". El manual del programa aclara que la calidad "Extra alta" es recomendable sólo para fines de modelado en 3D de pequeños levantamientos debido a la gran cantidad de puntos generados, que no serían aprovechables en su totalidad. Esto supondría un derroche de tiempo, espacio de almacenamiento y recursos informáticos innecesarios. Siguiendo esta recomendación, se configuró la calidad de generación en "Alta", lo cual se ajustó a las exigencias del proyecto.

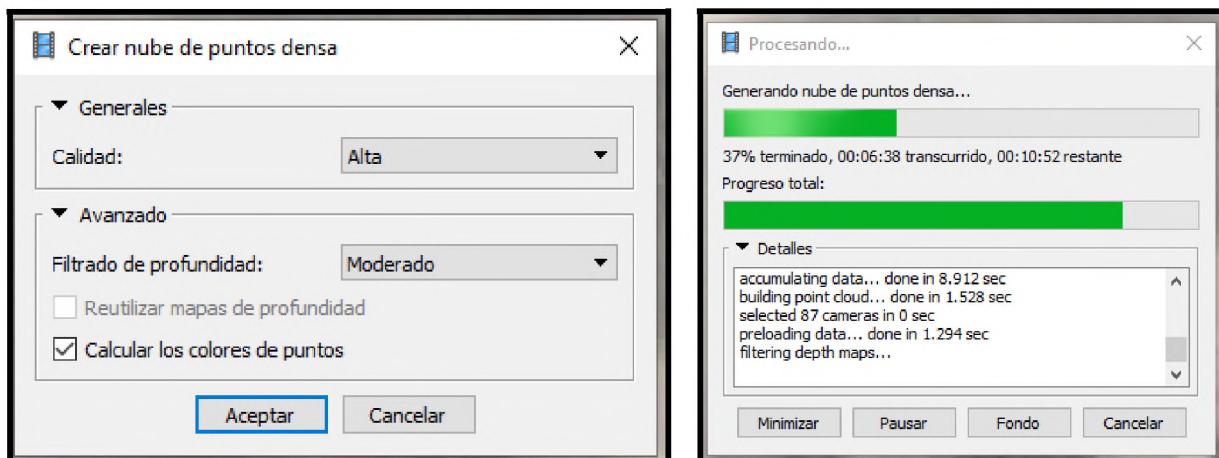


Imagen N°46 y 47 - Creación de Nube de Puntos Densa.

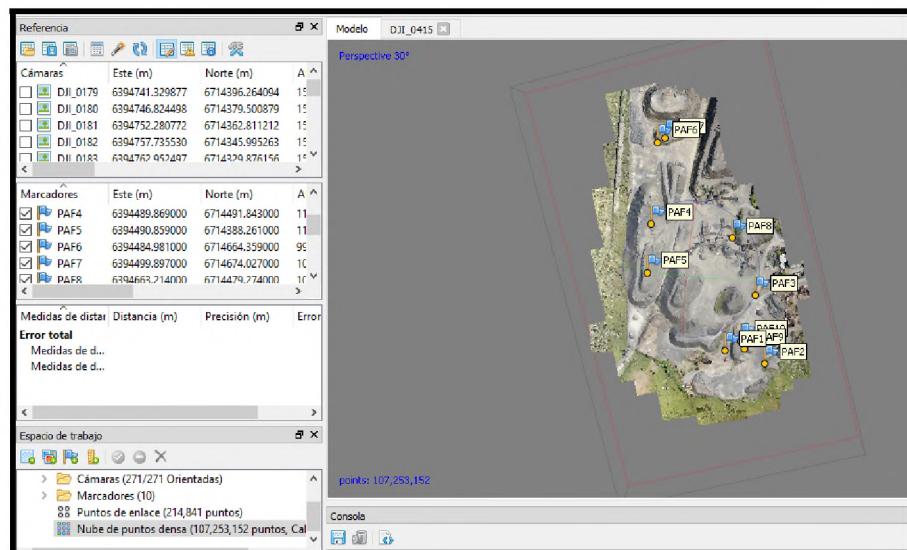


Imagen N°48 - Nube de Puntos Densa.

- 11) A partir de la nube de puntos densa, se crea el Modelo Digital de Elevación (MDE). El MDE representa las elevaciones del terreno y es fundamental para diversos análisis geoespaciales. Es importante verificar la calidad y precisión del MDE generado.

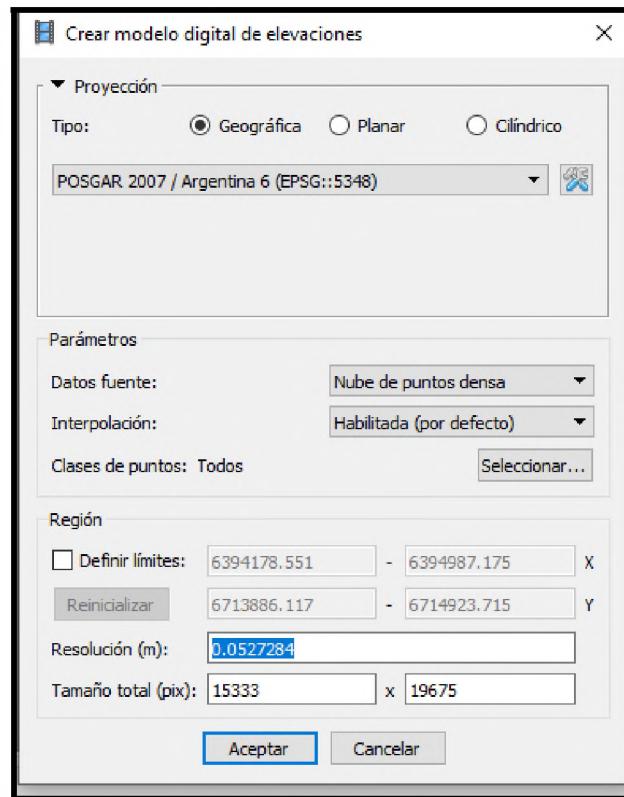


Imagen N°49 - Creación Modelo Digital de Elevaciones.

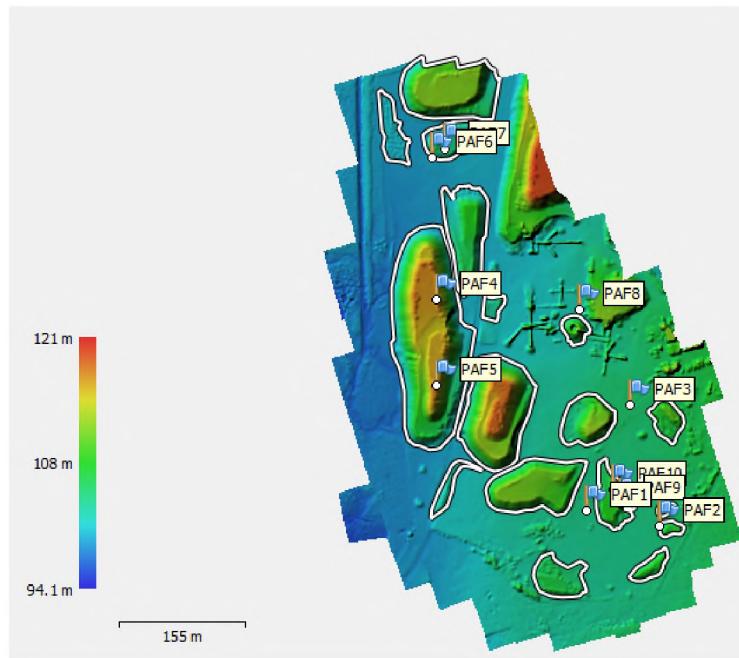


Imagen N°50 - Modelo Digital de Elevaciones

12) Finalmente, se crea el ortomosaico a partir del MDE. El ortomosaico es una imagen compuesta de fotografías aéreas, corregida geométricamente para ser una

representación precisa del área de estudio. Este producto cartográfico es esencial para diversos usos, como mapeo y análisis de la superficie terrestre.

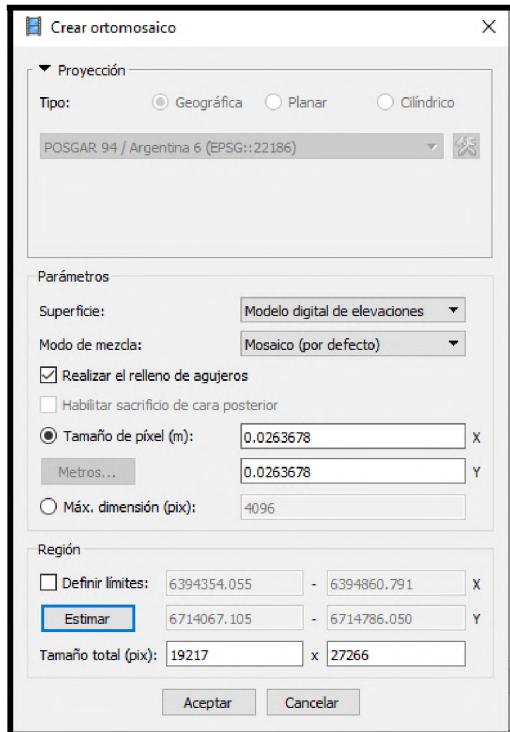


Imagen N°51 - Generación del Ortomosaico.



Imagen N°52 - Ortomosaico

8.3 - Procesamiento de datos GNSS para el cálculo de volumen con software

8.3.1 Procedimiento con Autocad

Se carga el archivo de GNSS que contiene todos los puntos relevados. El proceso se divide en dos etapas: en la primera, se conservan únicamente los puntos correspondientes a los acopios; en la segunda, se seleccionan los puntos de la parte superior de los acopios, eliminando los demás puntos, generando 2 archivos distintos.

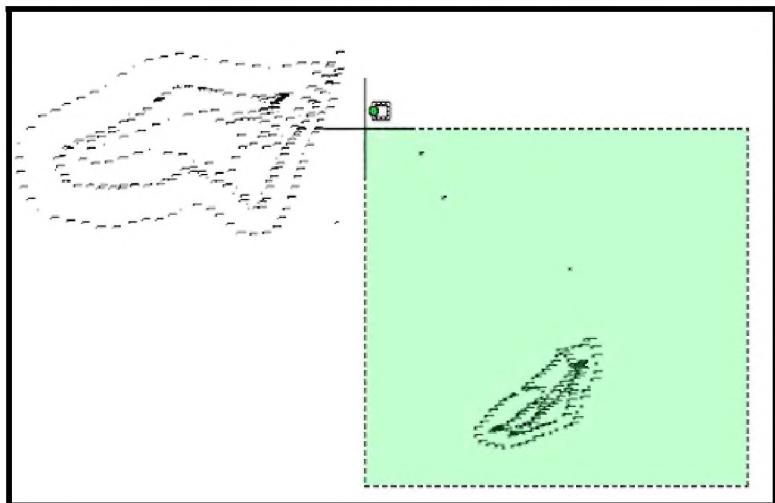


Imagen N°53 - Separación de los puntos en diferentes archivos para su utilización individual.

Se procede a guardar todos los puntos que pertenecen al acopio 10 y al acopio 3 de manera aislada uno de otros como se ve en la imagen N° 53, 54, 55, 56 y 57.

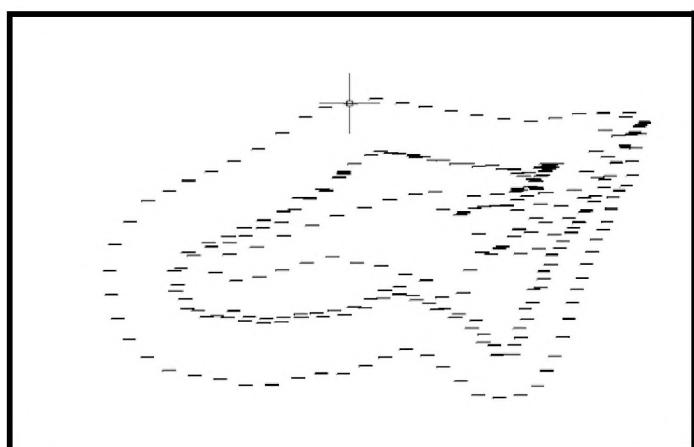


Imagen N°54 - Nube de Puntos Acopio 10

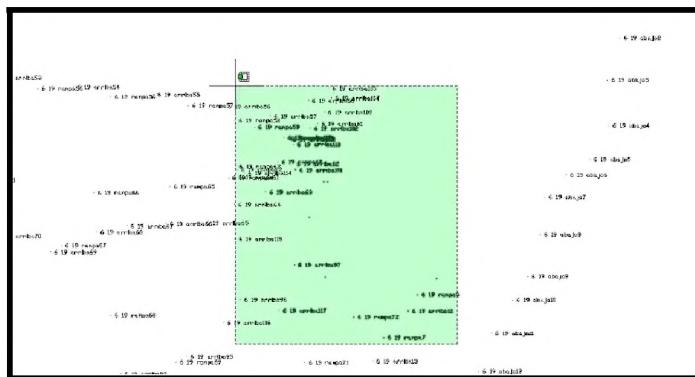


Imagen N°55 - Acopio N°10 Nube de puntos del contorno

Se seleccionan los puntos del interior de la nube puntos, como se ve en la imagen N°55 y se los eliminan, dejando los puntos del contorno. Esto es para trabajar posteriormente con los dos archivos del acopio total y los del contorno.

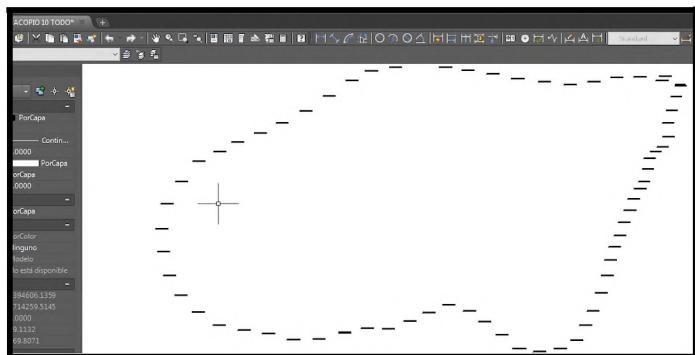


Imagen N°56 - Nube de puntos del contorno del Acopio N°10

Por último se guardan los puntos de los acopios en sus respectivos formatos:

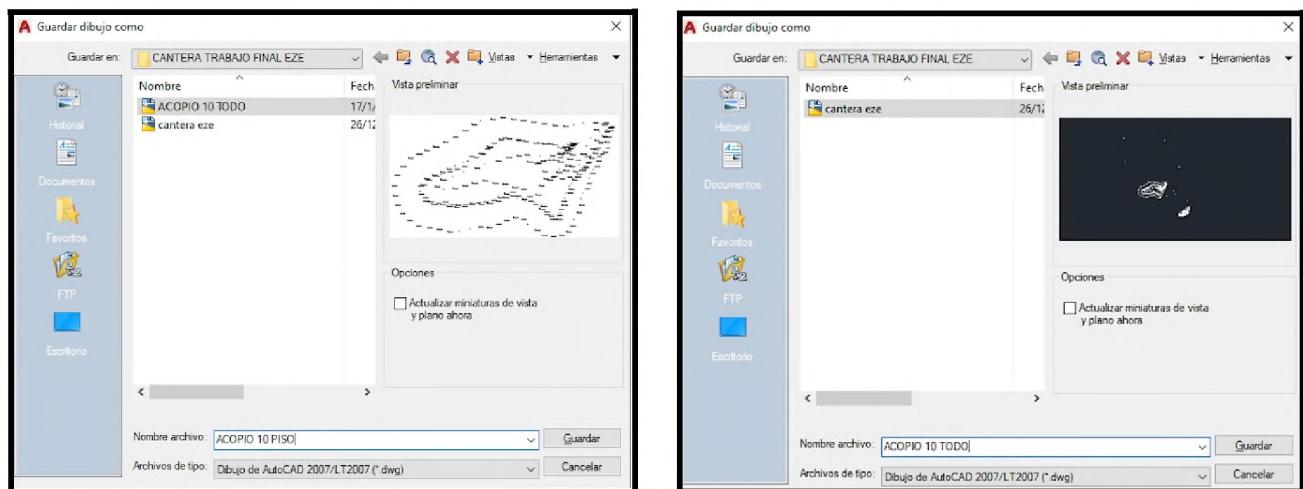


Imagen N°57 y 58 - Guardado de los puntos de acopio

8.3.2 Procedimiento con TBC

Con estos nuevos archivos guardados, se procede a cargar en el software TBC, para su posterior cálculo de volumen.

Se arrastra el archivo "Acopio 10 Todo" al TBC, es decir, con la nube de puntos del acopio completo.

Esto se realiza para exportar la nube de puntos en formato .csv.

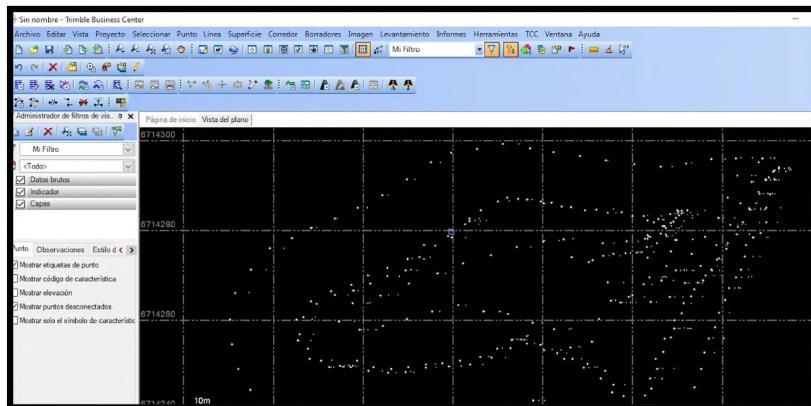


Imagen N° 59 - Vista de nube de puntos del acopio 10 desde TBC

Se seleccionan todos los puntos y se lo exporta en formato .csv para utilizarlo posteriormente en el programa Surfer

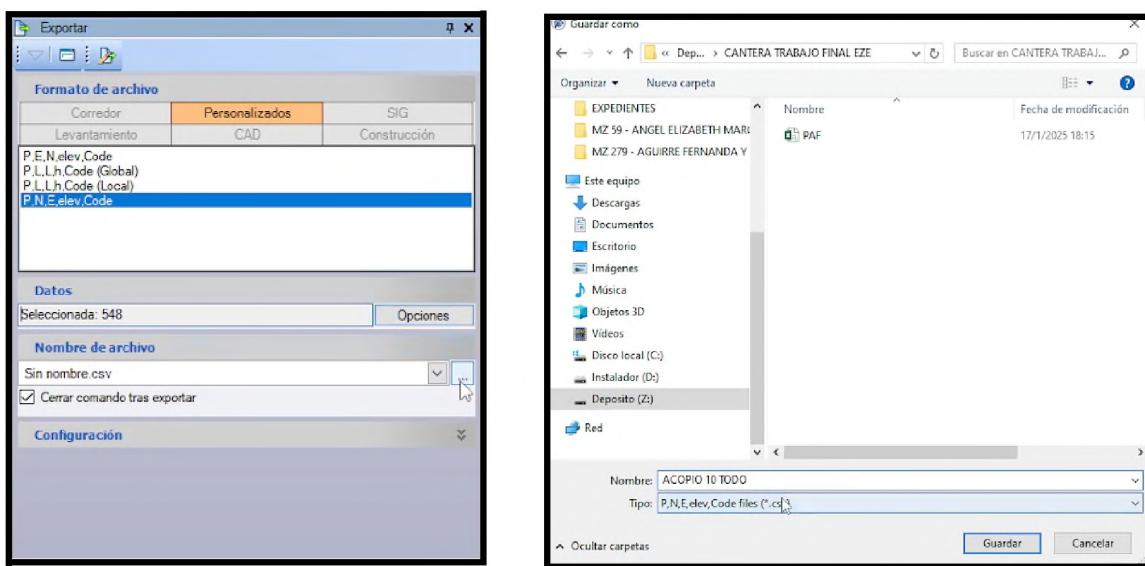


Imagen N° 60 y 61 - Guardo de puntos en formato .csv

Luego se arrastra el archivo "Acopio 10 Piso" al TBC y se realiza el mismo procedimiento exportando los datos en formato .csv

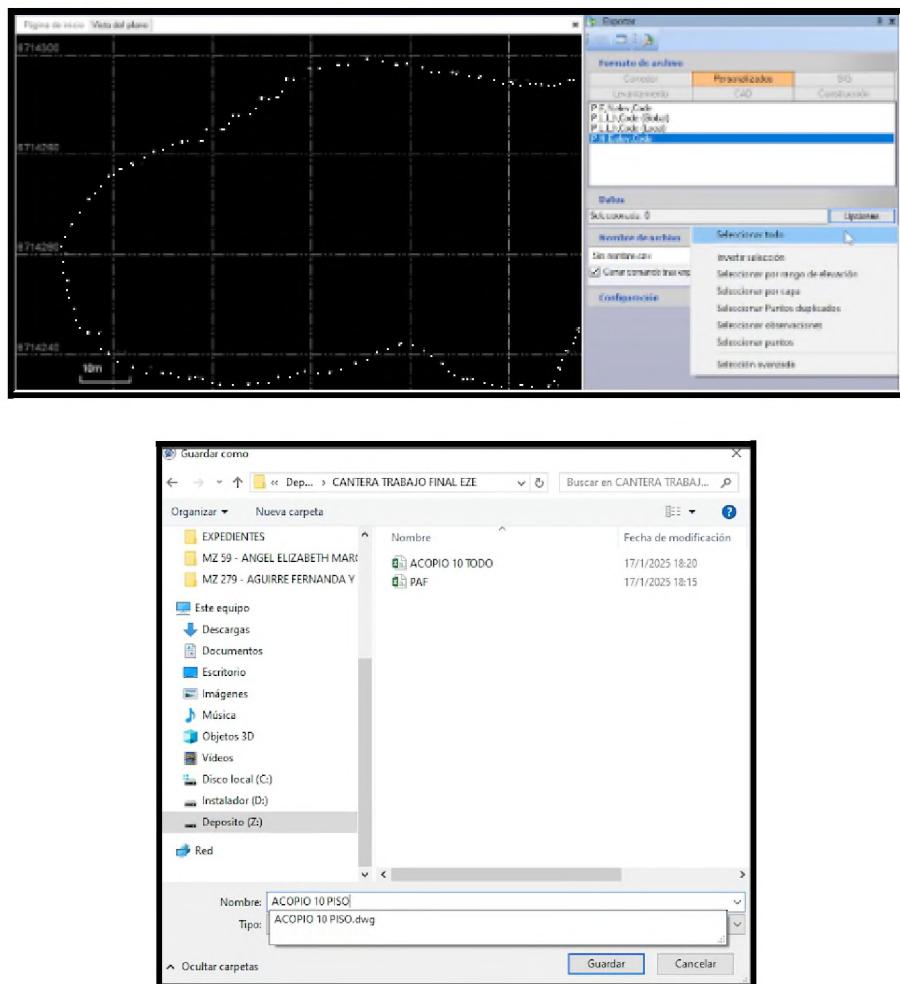


Imagen N°62 y 63 - Guardado de nube de puntos en formato .csv

Posteriormente con estos datos en formato .csv se utilizará para el cálculo de volumen con los software "Surfer" y "TBC".

Resumiendo los pasos para el procesamiento GNSS son:

1. Se carga el archivo del equipo GNSS que contiene todos los puntos relevados.
2. Se conservan únicamente los puntos correspondientes a los acopios y se guarda este archivo con el nombre "acopio Nro todo".
3. Se seleccionan los puntos de la parte superior de los acopios, se eliminan los puntos internos y se guarda este archivo con el nombre "Acopio Nro piso".
4. Se cargan los archivos "acopio nro todo" y "Acopio Nro piso" en el software TBC y se exportan los datos en formato .csv.
5. Con los datos exportados en formato .csv, se procede al cálculo de volumen utilizando los programas "Surfer" y "TBC".

9 - Metodología para el cálculo de volumen de acopios con aplicación de softwares para las mediciones con drones y GNSS.

9.1 - Con Agisoft Photoscan Professional

Para la delimitación del área de acopio en el Modelo de Elevación Digital (DEM), se emplea la herramienta de dibujo disponible en la barra de herramientas, asegurando la inclusión completa de la región de interés. En este proceso, se integran tanto el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) como el ortomosaico para definir correctamente los polígonos.

Esta herramienta genera un contorno delimitativo aproximado para cada acopio, a partir del cual el software realiza la triangulación de sus vértices con el objetivo de establecer una superficie base de referencia. Sobre dicha superficie, se estima el volumen de corte considerando las variables de área y altitud.

el proceso queda de la siguiente manera:

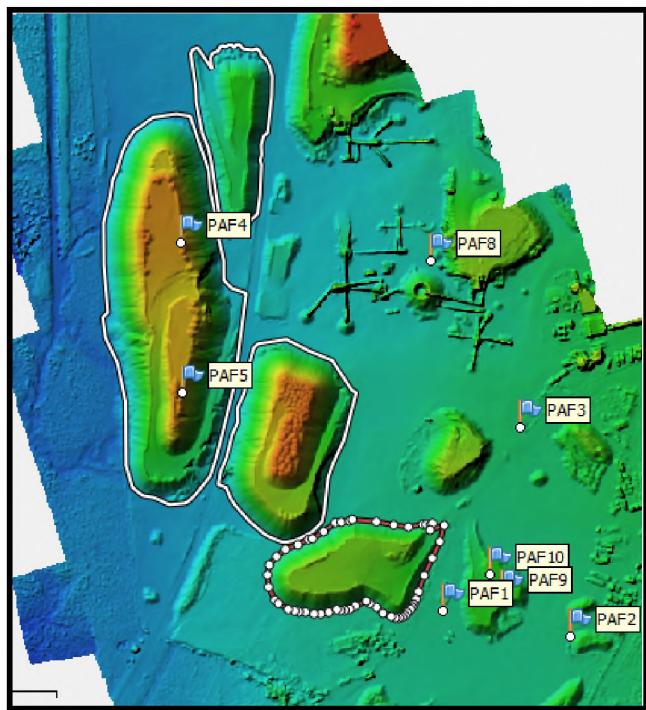


Imagen N°64 - Creación de polígonos en los acopios

Para el cálculo de volumen mediante este software, se selecciona a cada contorno uno por uno y se realizan los cálculos mediante click derecho “medicion”:

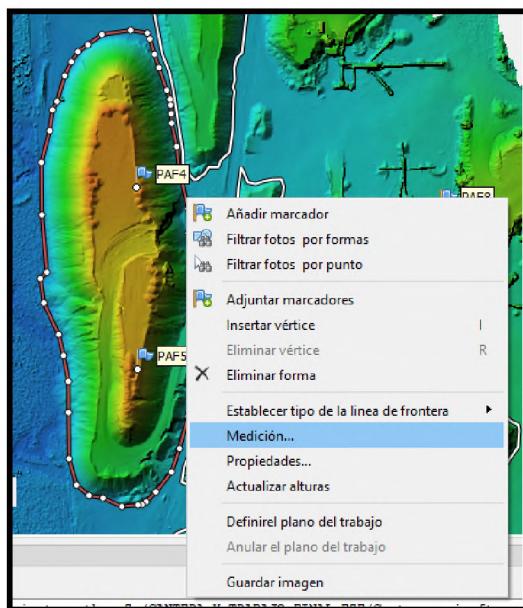


Imagen N°65 - Medición de volúmenes de los acopios

Una vez calculado, el software generará un reporte detallado con los cálculos de volumen. Este reporte mostrará los valores de volumen total, volumen neto, entre otros.

Ejemplo de resultado para un acopio:

Medir forma

Sin nombre (Polígono, 48 vértices)

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
25	6394497.655453	6714576.629191	99.403
26	6394500.274202	6714567.907101	100.110
27	6394502.686980	6714560.208800	100.596
28	6394507.220539	6714547.360735	100.175
29	6394509.042893	6714542.196912	100.110
30	6394509.337658	6714538.878106	100.171
31	6394509.784932	6714534.058387	100.329
32	6394510.014759	6714528.617078	100.553
33	6394512.045345	6714515.290204	101.051

Básicas Perfil Volumen

Perímetro (m): 629.926

Área (m²): 19263.5

Sistema de coordenadas: POSGAR 94 / Argentina 6 (EPSG::22186)

Cerrar

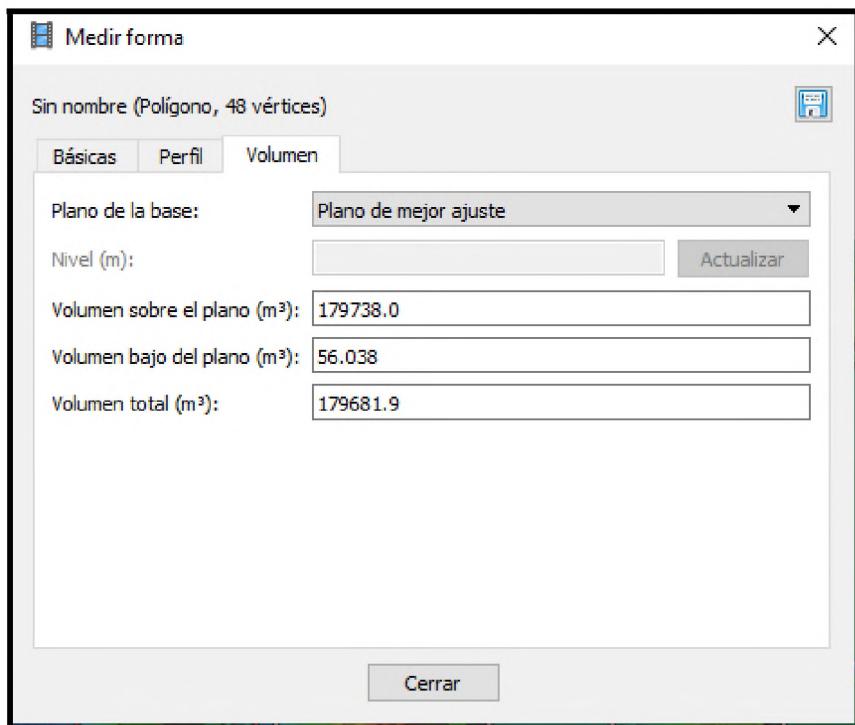


Imagen N°66 y N°67 - Resultados de volúmenes por polígono.

Finalmente, con la herramienta “medir forma” se genera un reporte que expresa de manera clara el volumen total calculado para cada acopio, así como otros datos relevantes.

Resumiendo los pasos son:

- 1. Dibujar un polígono:** Dibujar un polígono alrededor del área del acopio en el DEM.
- 2. Verificar el polígono:** Seleccionar el ortomosaico para verificar la ubicación del polígono.
- 3. Medir el volumen:** Clic derecho en el polígono y selecciona la opción "Medir" para ver el perfil y el volumen.

9.2 - Con Surfer

Importación de datos

Se accede a la opción Grid → Grid Data dentro de la aplicación Surfer. Se ingresa el archivo denominado "Acopio 10 Todo" y se procede a ordenar las columnas de coordenadas X, Y, Z con el fin de garantizar una correcta interpretación de los datos.

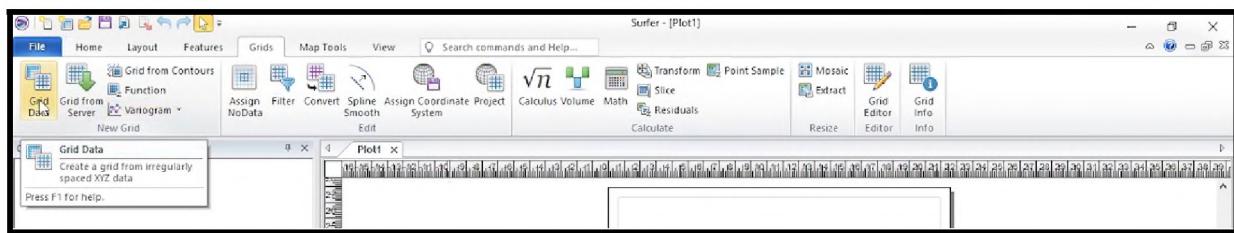


Imagen N°68 - Ingreso de nube de puntos en formato .csv

Se ingresa el archivo "Acopio 10 Todo" y se ordenan las columnas con las coordenadas correspondientes (X, Y, Z) para asegurar que los datos sean interpretados correctamente.

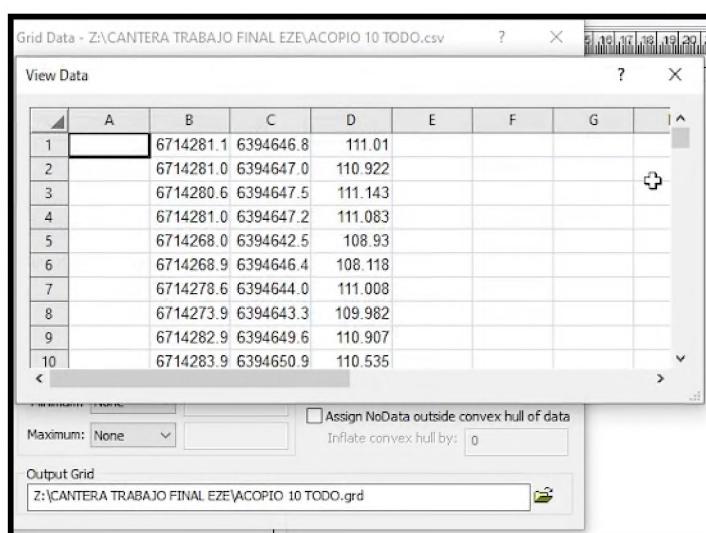
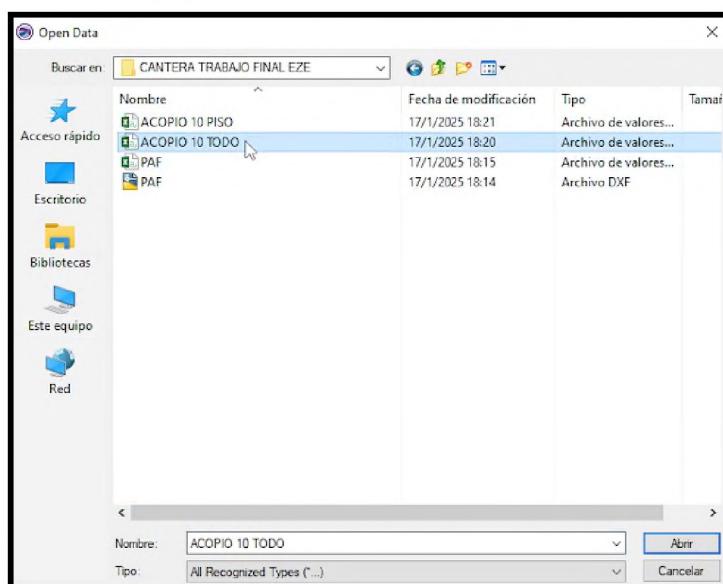


Imagen N°69 y 70 - Ingreso de datos los acopios en formato .csv

Interpolación de la superficie

Una vez organizados los datos, se elige el **método de interpolación** adecuado para la representación del terreno y se confirma la selección presionando "**OK**". Este paso se repite con el archivo correspondiente al "**Acopio 10 Piso**", asegurando que ambos conjuntos de datos estén correctamente procesados.

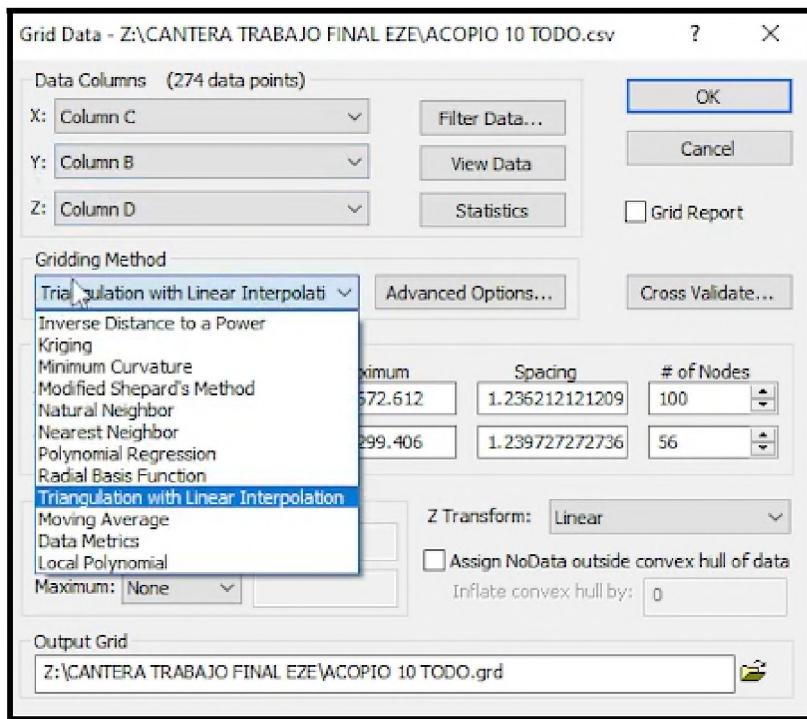
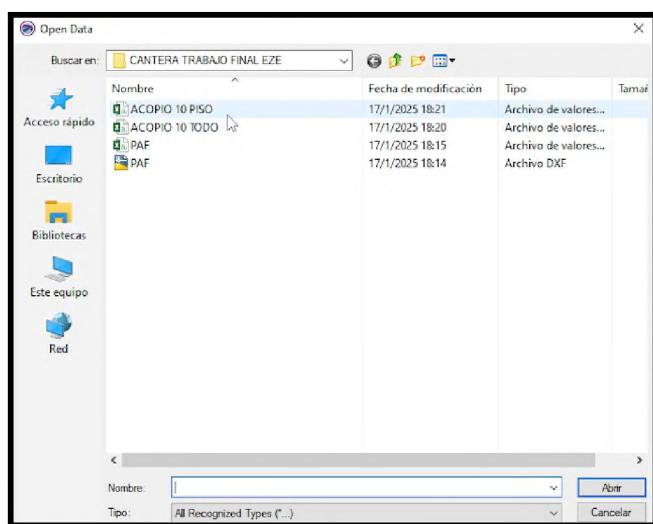


Imagen N°71 - Elección de formato de ingreso de los datos

Procesamiento de la base del acopio

Se repite el mismo procedimiento con el archivo correspondiente a "**Acopio 10 Piso**" para generar la superficie de referencia inferior



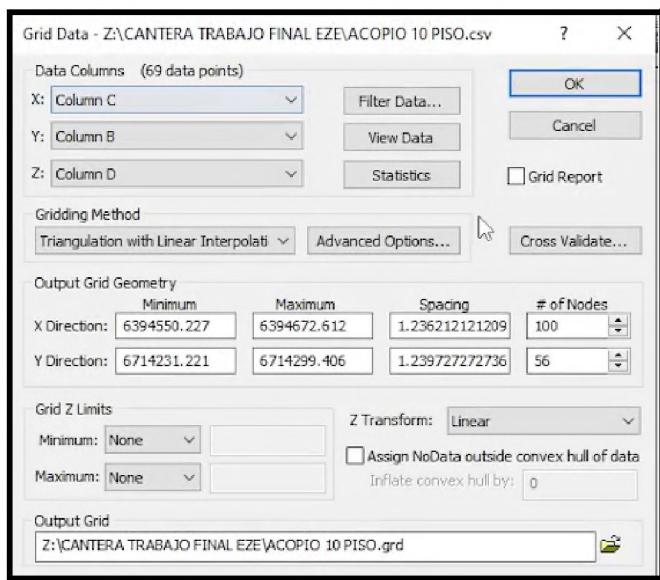


Imagen N°72 y N°73 - Ingresos de datos de acopios

Selección de la opción de cálculo de volumen

Una vez generadas las grillas, se accede a la opción "Volumen" dentro del programa.

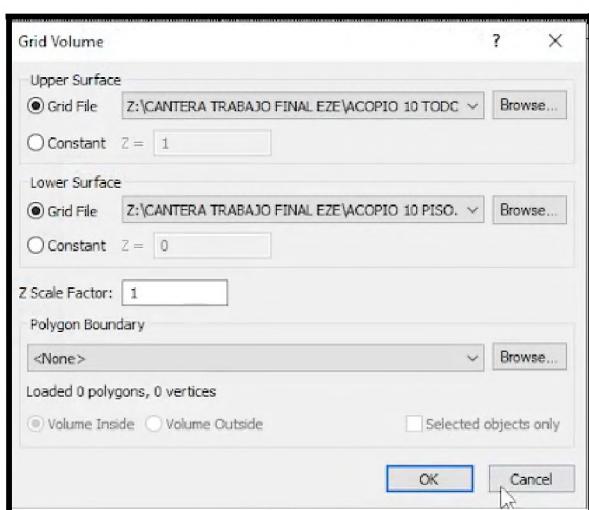
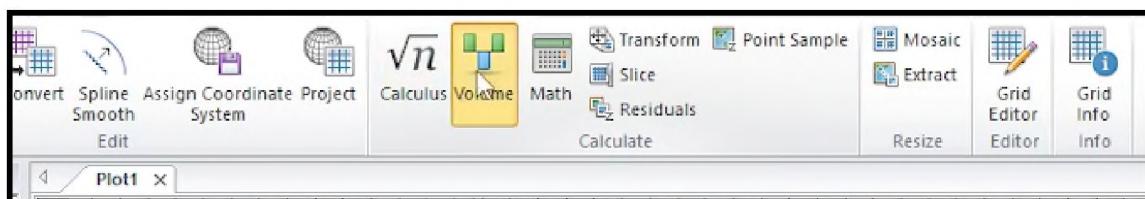


Imagen N°74 y N°75 - Medición de volúmenes

Cálculo de volumen

Se accede a la opción **Volumen** dentro del menú de herramientas. En el campo **Upper Surface**, se selecciona la superficie superior del acopio ("Acopio 10 Todo"), mientras que en **Lower Surface**, se define la base del acopio ("Acopio 10 Piso").

Surfer ejecuta automáticamente los cálculos y genera un reporte con los resultados del volumen total del acopio.

```
Grid Volume Computations

Thu Dec 26 17:16:53 2024

Upper Surface

Grid File Name: Z:\CANTERA Y TRABAJO FINAL EZE\CALCULO METODO NUBE DE PUNTOS GPS\acopio 2 eze todo.grd
Grid Size: 56 rows x 100 columns

X Minimum: 6394550.227
X Maximum: 6394672.612
X Spacing: 1.2362121212099

Y Minimum: 6714231.221
Y Maximum: 6714299.406
Y Spacing: 1.2397272727368

Z Minimum: 101.8571069167
Z Maximum: 112.37535381859

Lower Surface

Grid File Name: Z:\CANTERA Y TRABAJO FINAL EZE\CALCULO METODO NUBE DE PUNTOS GPS\acopio 2 eze piso.grd
Grid Size: 56 rows x 100 columns

X Minimum: 6394550.227
X Maximum: 6394672.612
X Spacing: 1.2362121212099

Y Minimum: 6714231.221
Y Maximum: 6714299.406
Y Spacing: 1.2397272727368
```

Imagen N°76 - Reporte de datos del acopio

```
Z Minimum: 101.82439816767
Z Maximum: 104.35318744886

Volumes

Z Scale Factor: 1

Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: 31338.170145706
Simpson's Rule: 31341.754606307
Simpson's 3/8 Rule: 31338.942608993

Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]: 31338.170145705
Negative Volume [Fill]: 7.7116060863994E-13
Net Volume [Cut-Fill]: 31338.170145705

Areas

Planar Areas

Positive Planar Area [Cut]: 6150.6274953576
Negative Planar Area [Fill]: 17.950177887675
NoData Planar Area: 2176.2435518033
Total Planar Area: 8344.8212250486

Surface Areas

Positive Surface Area [Cut]: 6742.839319028
Negative Surface Area [Fill]: 17.950177887675
```

Imagen N°77 - Reporte de datos del acopio

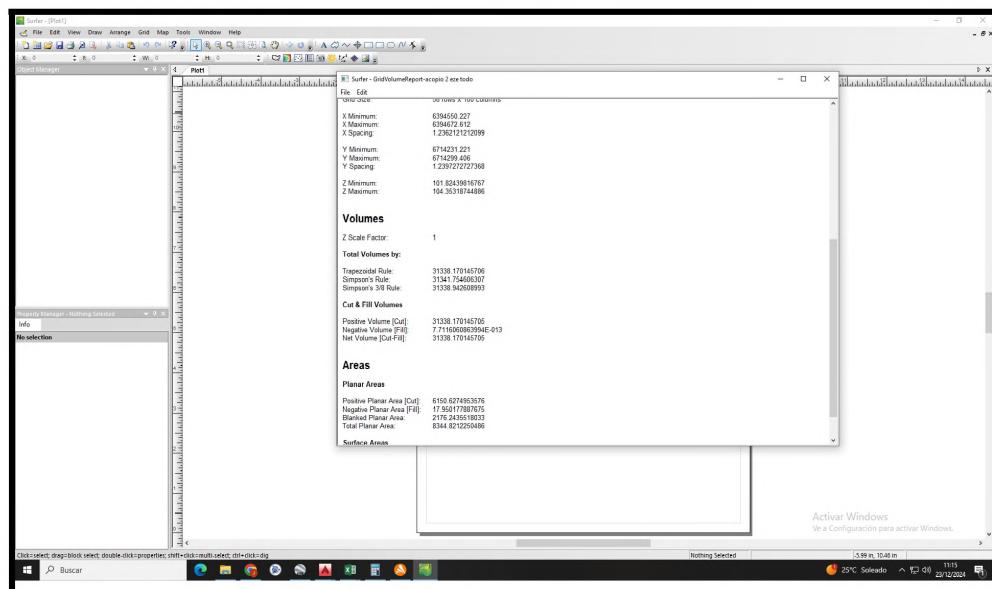
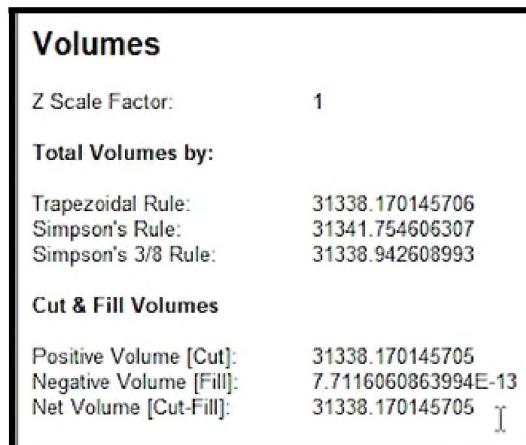


Imagen N°78 y N°79 - Reporte de datos del acopio

Visualización del resultado en la sección Net Volume

En "Net Volume", se muestra el volumen calculado para "**Acopio 10**", asegurando una medición precisa del material acumulado.

El software genera una **imagen representativa en 3D** de la superficie del acopio "**Acopio 10**", permitiendo su análisis visual y validación.

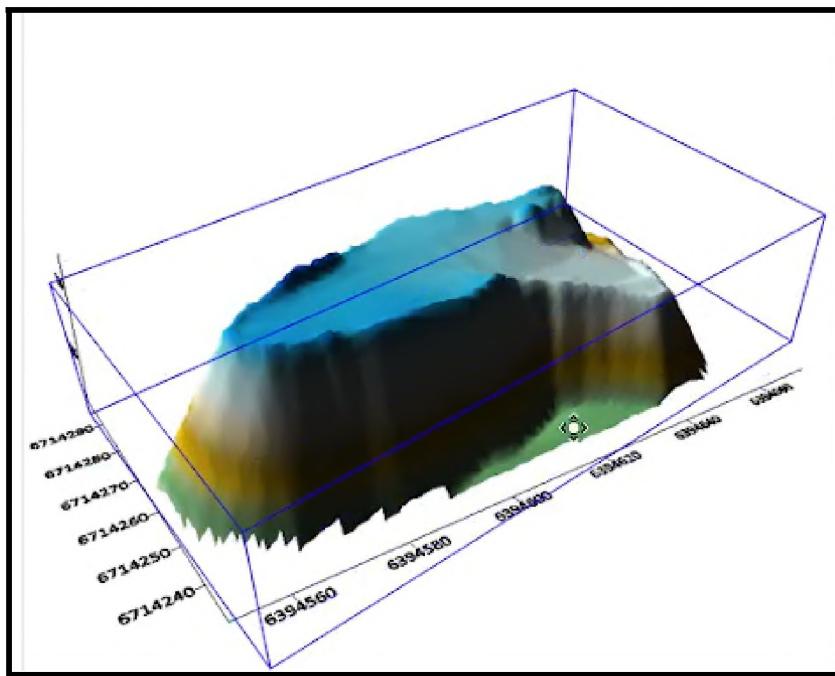


Imagen N°80 - Acopio 10

Resumen del procedimiento:

1. **Carga de archivos:** Se ejecuta el programa y, mediante la opción "**Grid Data**", se carga el archivo "**Acopio 10 Todo**".
2. **Interpolación:** Se selecciona el método de interpolación adecuado.
3. **Repetición del proceso:** Se repite el mismo procedimiento para el archivo "**Acopio 10 Piso**".
4. **Cálculo de volumen:** Se accede a la opción "**Volumen**", seleccionando en "**Upper Surface**" el archivo "**Acopio 10 Todo**" y en "**Lower Surface**" el archivo "**Acopio 10 Piso**".
5. **Generación de resultados:** El software calcula automáticamente el volumen del acopio y muestra el resultado correspondiente al **acopio 10**, calculado con **Surfer**.
6. **Visualización:** Se genera una imagen representativa en 3D del **acopio 10**.
7. **Aplicación a otro acopio:** Siguiendo el mismo procedimiento, se procede al cálculo del volumen del **acopio 3**.

Este proceso garantiza la correcta determinación del volumen de los acopios mediante interpolación y representación gráfica en 3D.

9.3 - Con TBC

Importación del archivo de puntos

Se añade al software Trimble Business Center (TBC) el archivo denominado "Acopio 10 Todo". A continuación, se seleccionan los puntos del acopio que serán objeto de análisis.

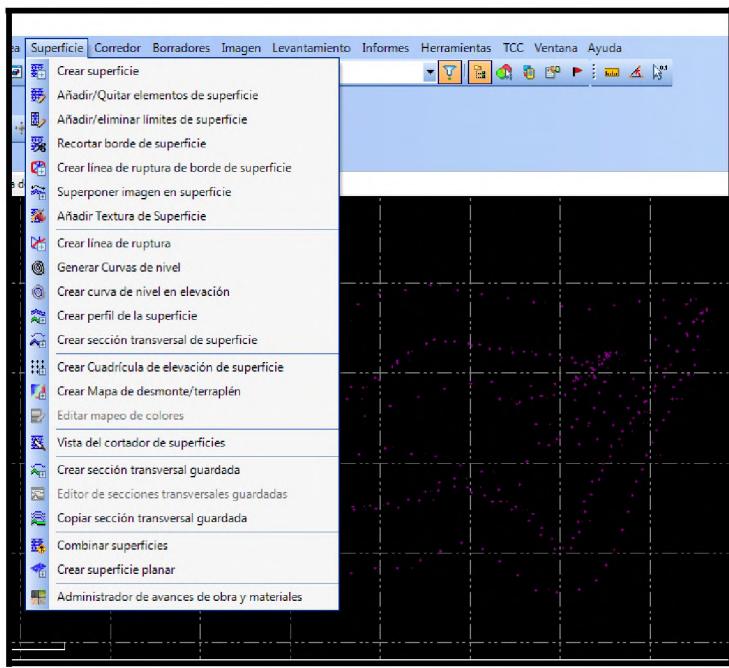


Imagen N°81 - Ingreso de datos

Creación de la superficie

Con los puntos previamente seleccionados, se accede a la opción "Crear Superficie". Al ejecutar esta acción, el software despliega un menú donde se visualiza la cantidad de puntos seleccionados. Se verifica la información y se selecciona "Aplicar" para proceder con la generación de la superficie.

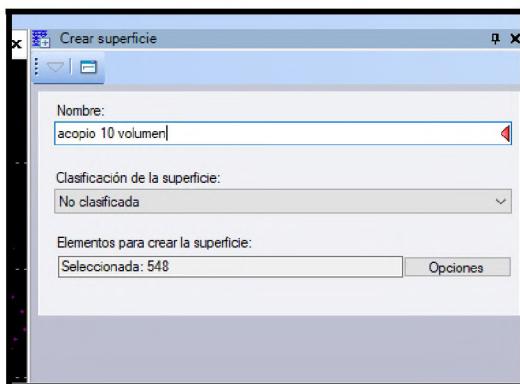


Imagen N°82 - Generación de superficie

Generación y selección del polígono

Una vez aplicada la configuración, el sistema genera un polígono correspondiente a la superficie del acopio. Se selecciona dicho polígono con el fin de realizar el cálculo de volumen y demás análisis geométricos.

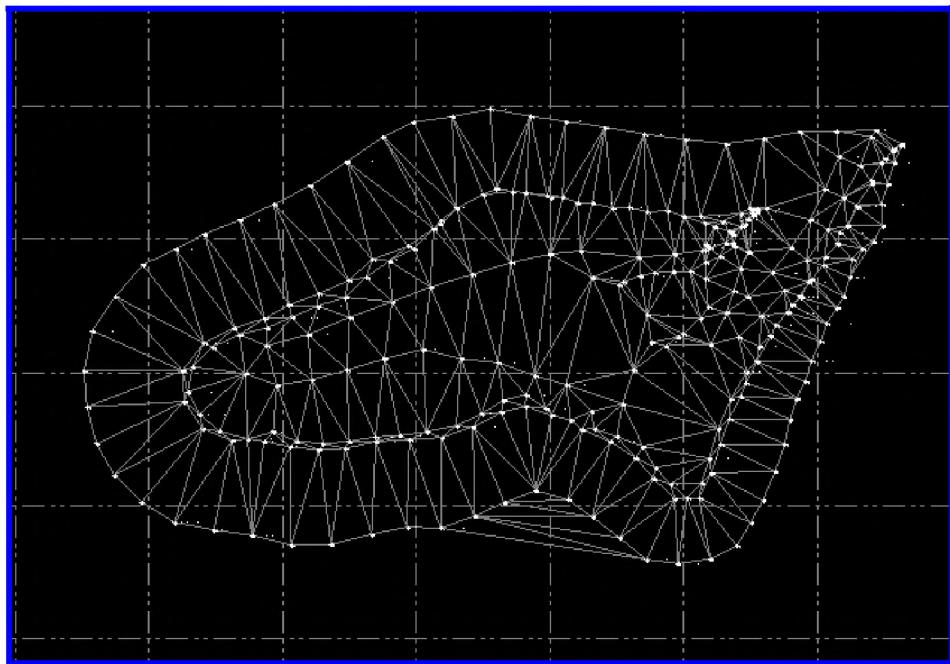


Imagen N°83 - Creación red de Superficie del acopio

Obtención del informe de movimiento de tierras

Para calcular el volumen del acopio, se accede a la opción "Informe" dentro de TBC y se selecciona "Informe de movimiento de Tierras". Esta herramienta proporciona un reporte detallado con la medición de volumen del acopio procesado.

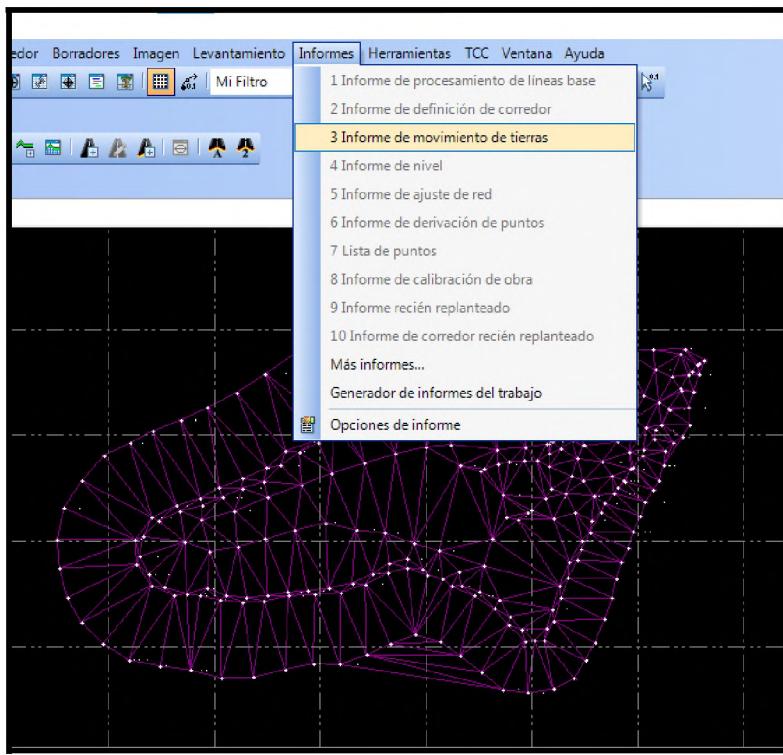


Imagen N°84 - Creación informe de movimiento de tierras

Selección de la superficie de interés

Se abre un nuevo menú donde se selecciona la superficie del acopio de interés. El software, de manera automática, ejecuta los cálculos requeridos para la determinación del volumen.

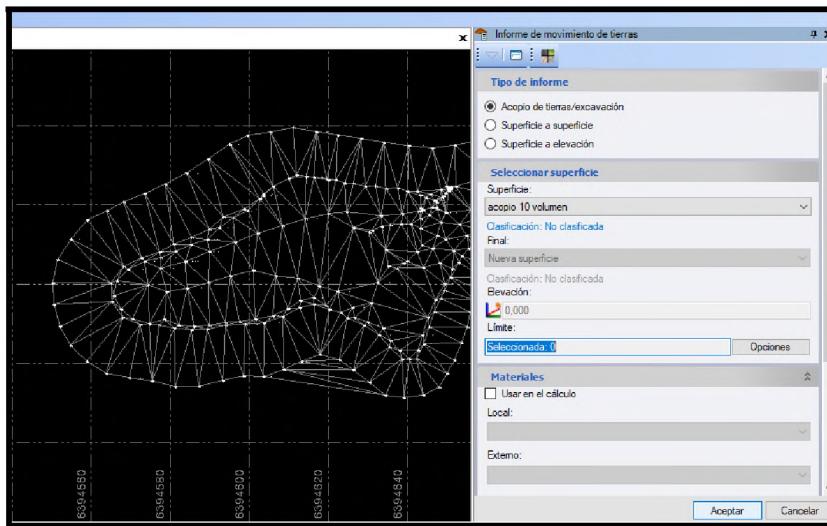


Imagen N°85 - Elección de datos para el informe de movimiento de tierras

Revisión del informe generado

Se analiza el reporte obtenido, en el cual se detalla el volumen calculado para el acopio "Acopio 10 Todo". Se revisan los datos y se verifica la precisión de los cálculos.

26/12/24, 17:10

Informe de movimiento de tierras

Información del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:		Nombre:	Por defecto
Tamaño:		Datum:	WGS 1984
Modificado/a:		Zona:	Por defecto
Zona horaria:		Geoide:	
Número de referencia:		Datum vertical:	
Descripción:			

Análisis de volumen de material almacenado

Medido material almacenado superficie en comparación con superficie base estimada superficie

Superficie(s)	Clasificación:
acopio 10	No clasificada

Volúmenes desde la geometría de superficie

Volumen aproximado de material almacenado:	31.279,4 m ³
Volumen aproximado de la depresión:	4,3 m ³

Este es un informe del volumen de un material almacenado, medido entre la superficie del material almacenado y una superficie construida desde la base del material almacenado.

Nota: Parte de la superficie del material almacenado está bajo la base del material almacenado. El volumen informado de material almacenado es sólo el volumen que está sobre la base del material almacenado. El volumen informado de la depresión es el volumen que está bajo la base del material almacenado.

Nota: Los volúmenes de arriba se calculan únicamente a partir de las geometrías de las superficies seleccionadas. No se aplican propiedades de materiales a las cifras arriba indicadas.

Fecha: 26/12/2024 17:09:59

Proyecto:

Trimble Business Center

Imagen N°86 - Reporte Movimiento de Suelos acopio 10

Aplicación del procedimiento a otros acopios

Se repite el mismo método para calcular el volumen de los demás acopios, siguiendo cada uno de los pasos previamente descritos, con el fin de garantizar uniformidad y precisión en la medición de los volúmenes almacenados.

- Reporte de volumen calculado para el acopio 3:

21/5/25, 10:12	Informe de movimiento de tierras	
Información del proyecto		Sistema de coordenadas
Nombre: Tamaño: Modificado/a: Zona horaria: Número de referencia: Descripción:	Datum: Zona: Geoide: Datum vertical:	Por defecto WGS 1984 Por defecto Por defecto
Análisis de volumen de material almacenado		
Medido material almacenado superficie en comparación con superficie base estimada superficie		
Superficie(s)	ACOPIO 3 Clasificación: No clasificada	
Volumenes desde la geometría de superficie		
Volumen aproximado de material almacenado:	1.974,2 m ³	
Volumen aproximado de la depresión:	0,4 m ³	
<p>Este es un informe del volumen de un material almacenado, medido entre la superficie del material almacenado y una superficie construida desde la base del material almacenado.</p> <p>Nota: Parte de la superficie del material almacenado está bajo la base del material almacenado. El volumen informado de material almacenado es sólo el volumen que está sobre la base del material almacenado. El volumen informado de la depresión es el volumen que está bajo la base del material almacenado.</p> <p>Nota: Los volúmenes de arriba se calculan únicamente a partir de las geometrías de las superficies seleccionadas. No se aplican propiedades de materiales a las cifras arriba indicadas.</p>		
Fecha: 17/1/2025 18:16:59	Proyecto:	Trimble Business Center

Imagen N°87 - Reporte movimiento de Suelos Acopio N°3

10- RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se comparan los resultados obtenidos de dos acopios: uno de gran volumen y otro de menor volumen. Los resultados generados mediante Agisoft corresponden a la nube de puntos obtenida a partir de las imágenes capturadas por el dron y procesadas en dicho software. En contraste, los resultados obtenidos con Surfer y TBC fueron calculados a partir de los datos registrados mediante relevamiento GNSS.

	AGISOFT	SURFER	TBC
ACOPIO 10	31.290 m ³	31.338,17 m ³	31279,4 m ³
ACOPIO 3	2.007 m ³	1979,58 m ³	1974,2 m ³

Los resultados obtenidos para los demás acopios fueron los siguientes:

	AGISOFT	SURFER	TBC
ACOPIO 1	4.377 m3	4.382,3 m3	4.370,5 m3
ACOPIO 2	43 m3	45,3 m3	46,9 m3
ACOPIO 4	626 m3	620,2 m3	631,7 m3
ACOPIO 5	456 m3	454,1 m3	459,8 m3
ACOPIO 6	2.930 m3	2.924,7 m3	2.933,1 m3
ACOPIO 7	163 m3	162,3 m3	164,8 m3
ACOPIO 8	6.730 m3	6.737,1 m3	6.734,7 m3
ACOPIO 9	8.965 m3	8.956,9 m3	8.972,2 m3
ACOPIO 11	131 m3	130,5 m3	134,7 m3
ACOPIO 12	84 m3	85,3 m3	84,5 m3
ACOPIO 13	75.220 m3	75.201,8 m3	75.232,4 m3
ACOPIO 14	181.430 m3	181.399,6 m3	181.420,3 m3
ACOPIO 15	1.001 m3	1.005,1 m3	1.008,6 m3
ACOPIO 16	19.700 m3	19.691,8 m3	19.706,3 m3
ACOPIO 17	7.490 m3	7.488,5 m3	7.497,2 m3
ACOPIO 18	1.760 m3	1.751,2 m3	1.772,8 m3
ACOPIO 19	331 m3	326,3 m3	336,7 m3
ACOPIO 20	3.033 m3	3.021,1 m3	3.040,3 m3
ACOPIO 21	163 m3	160,8 m3	169,1 m3
ACOPIO 22	267 m3	266,5 m3	271,1 m3
ACOPIO 23	104 m3	101,2 m3	110,8 m3

10.1 - ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el desarrollo de este estudio, se llevaron a cabo cálculos volumétricos empleando diversas herramientas de software especializadas, cada una con algoritmos propios de cálculo y procesamiento de datos. Con el propósito de evaluar la precisión de las estimaciones obtenidas, se realizó una comparación sistemática entre los diferentes enfoques metodológicos.

A fin de evaluar la coherencia de los resultados, se calculó la discrepancia porcentual entre los valores obtenidos por cada software para cada acopio, normalizada en función del volumen medio de cada caso. Este análisis permitió identificar el grado de variabilidad entre métodos y su relación con el volumen total del acopio relevado.

Fórmula usada para discrepancia porcentual máxima:

$$\text{Max. Discrepancia (\%)} = \frac{\text{max valor} - \text{min valor}}{\text{valor medio}} \times 100$$

Acopio	Volumen promedio (m³)	Máx. discrepancia (%)
1	4376.6	0.27%
2	45.07	8.99%
3	1987.6	1.66%
4	626.0	1.86%
5	456.0	1.27%
6	2929.6	0.28%
7	163.7	1.53%
8	6733.9	0.10%
9	8964.7	0.17%
10	31302.5	0.19%
11	132.1	3.21%
12	84.6	1.53%
13	75218.1	0.04%
14	181416.6	0.02%
15	1004.9	0.75%
16	19700.7	0.07%
17	7491.0	0.12%
18	1761.3	1.24%
19	331.3	3.16%
20	3029.5	0.63%
21	164.3	5.15%
22	268.2	1.71%
23	105.3	9.25%

El análisis de los resultados evidencia que, independientemente del método aplicado, los valores obtenidos presentan una alta coherencia entre sí. En el acopio número 3, la discrepancia máxima entre los cálculos efectuados con distintos softwares no supera el 1.7%, mientras que en el acopio número 10, de mayor volumen, la diferencia es considerablemente inferior al 1%.

Los resultados muestran que, en general, los volúmenes de mayor magnitud presentan una menor discrepancia relativa entre métodos. Por ejemplo, en los acopios 10; 13; 14 y 16, con volúmenes superiores a los 30.000 m³, las diferencias porcentuales no superan el 0.2%. En contraste, los acopios de menor volumen, como los números 2; 21 y 23, con valores inferiores a 300 m³, presentan diferencias más significativas, que pueden superar el 5%, alcanzando hasta un 9.25% en el caso del acopio 23.

Este comportamiento ratifica la tendencia observada en los acopios 3 y 10: la variabilidad entre métodos disminuye conforme aumenta el volumen relevado. Esta relación puede atribuirse a que, en volúmenes grandes, los errores individuales o diferencias de interpolación tienen un impacto relativo mucho menor. En cambio, en volúmenes pequeños, cualquier discrepancia adquiere mayor relevancia proporcional.

A pesar de estas variaciones, todas las diferencias se mantienen dentro de márgenes aceptables, lo que permite concluir que los métodos empleados ofrecen una alta confiabilidad para la estimación de volúmenes, especialmente en contextos donde la precisión relativa es prioritaria.

Si bien los resultados obtenidos no reflejan diferencias significativas entre ambos métodos dentro del margen de error esperado, desde la perspectiva del equipo de trabajo se considera que la metodología basada en fotogrametría con dron resulta más eficiente. Esta técnica permite relevar grandes extensiones en menos tiempo, con menor esfuerzo operativo y sin necesidad de contacto directo con el terreno, lo cual la vuelve especialmente útil en zonas de difícil acceso o con condiciones irregulares. Por su parte, el relevamiento con GNSS continúa siendo una herramienta valiosa como medio de verificación y control, contribuyendo a reforzar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

A partir de este momento, y con todo lo desarrollado a lo largo del trabajo, es posible responder las preguntas iniciales planteadas en la hipótesis:

¿Cuál de los dos métodos de relevamiento, GNSS o drones, es más representativo para este tipo de trabajo?

En este tipo de trabajos, donde se requiere calcular volúmenes de acopios en una cantera con alta precisión, rapidez y detalle espacial, el relevamiento mediante drones se presenta como el método más representativo y eficiente.

Esto se fundamenta en varias razones extraídas del trabajo:

Alta densidad de puntos: la fotogrametría aérea permite obtener una nube de puntos densa y continua que representa con mayor fidelidad la morfología de los acopios, superando ampliamente la cantidad de puntos que puede captar el método GNSS RTK, que toma puntos cada 5 segundos mientras el operador se desplaza.

Cobertura superficial y velocidad: el dron logra cubrir superficies extensas en menor tiempo. En el trabajo, en tan solo 17 minutos y 32 segundos, se relevó un área de 18 hectáreas con 310 imágenes aéreas.

Esto contrasta con el método GNSS, que depende del desplazamiento del operador, y por tanto es más lento y con menor cobertura por unidad de tiempo.

Representatividad volumétrica: dado que el objetivo principal es la estimación de volúmenes, la calidad del modelo 3D generado a partir del vuelo fotogramétrico, ajustado con puntos de apoyo fotogramétricos (PAF), es más precisa y continua que los puntos discretos relevados con GNSS.

Seguridad y acceso: el dron permite el relevamiento en zonas de difícil acceso o peligrosas y en sectores con movimiento de maquinarias, sin necesidad de que el operador entre en contacto físico con la totalidad de la superficie, lo cual mejora las condiciones de seguridad y logística del relevamiento.

Por todo lo anterior, el método fotogramétrico con dron, correctamente planificado y complementado con PAFs GNSS, resulta más representativo y adecuado para el cálculo de volúmenes en canteras.

¿Al utilizar distintos softwares para el cálculo de volúmenes nos darán resultados similares?

El trabajo analizado demuestra que el uso de distintos softwares puede producir resultados similares, pero no necesariamente idénticos, y que estas diferencias pueden deberse a:

Diferentes algoritmos de interpolación: softwares como Agisoft, Surfer o Trimble Business Center (TBC) utilizan distintos métodos para la creación de superficies (TIN, kriging, malla regular, etc.) que influyen directamente en el resultado final del volumen calculado.

Grado de filtrado de puntos: la manera en que cada software procesa la nube de puntos o los datos crudos puede modificar el modelo digital generado. Por ejemplo, el suavizado, la eliminación de ruidos, o la resolución de la grilla influyen en el volumen computado.

Modelado del terreno base: si la base del modelo sobre la que se mide el volumen (terreno natural) no es idéntica entre programas, los resultados pueden variar.

Aun así, el trabajo deja en claro que los valores obtenidos fueron comparables entre sí, y que las diferencias observadas fueron menores o dentro de márgenes aceptables para los fines de cubicación en minería, siempre que se apliquen correctamente las metodologías en cada software.

Por lo tanto, sí se pueden obtener resultados similares con diferentes softwares, pero siempre es importante conocer el funcionamiento interno de cada uno para interpretar adecuadamente los valores y márgenes de error.

Las precisiones obtenidas a partir de ambos métodos de relevamiento, ¿serán aceptables para las mediciones en este tipo de trabajo?

Sí, las precisiones obtenidas tanto con GNSS RTK como con fotogrametría aérea son aceptables y adecuadas para el cálculo de volúmenes en canteras, pero con ciertas consideraciones:

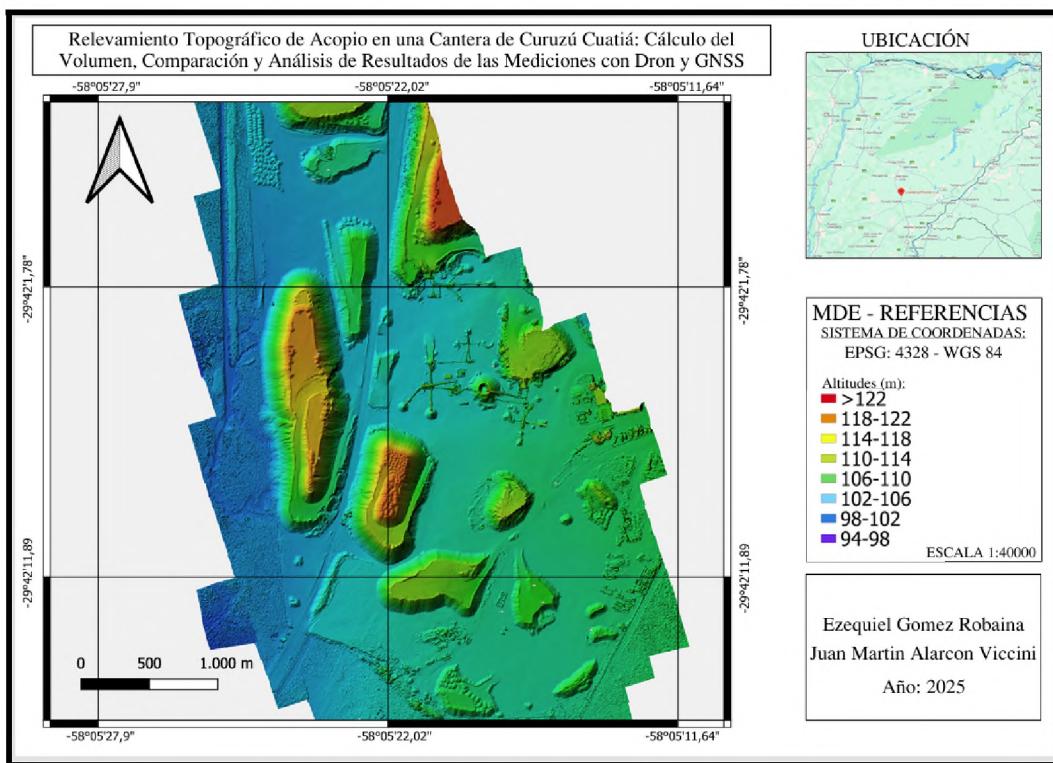
Método GNSS: el equipo GNSS utilizado (Galaxy G3 South) ofrece una precisión altimétrica de ± 3 mm + 0.4 ppm RMS, lo que lo convierte en un sistema muy confiable para el relevamiento de puntos específicos, sobre todo en los PAF que se usan para georreferenciar la nube de puntos.

Método con dron: si bien la precisión del dron es menor (orden de metros), al estar ajustado con PAFs medidos con GNSS de alta precisión, el modelo fotogramétrico alcanza precisiones altimétricas que se consideran aceptables para fines de cubicación en minería, generalmente del orden de ± 5 a ± 15 cm, dependiendo de la planificación del vuelo, la calidad de las imágenes y la distribución de los PAF.

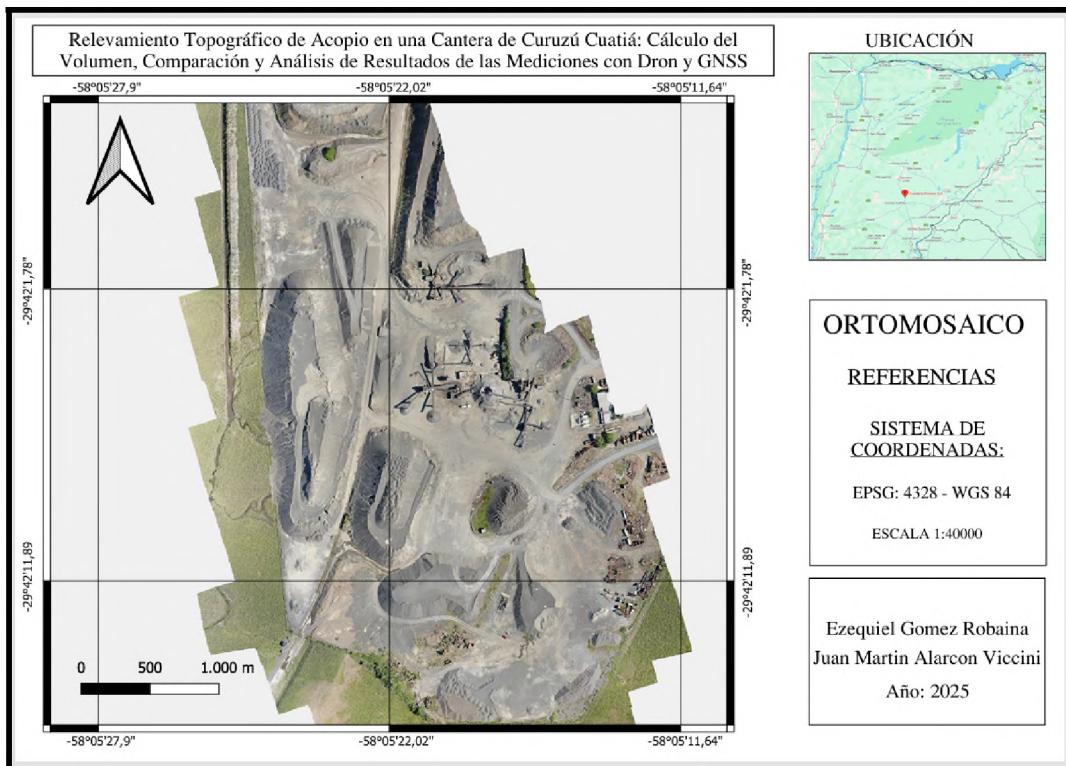
Validación de precisión: el trabajo incluye el control cruzado de resultados entre métodos, y tanto las diferencias entre mediciones como los errores residuales en la georreferenciación estuvieron dentro de márgenes técnicos aceptables, reafirmando la confiabilidad de ambos métodos.

En conclusión, ambos métodos brindan precisiones compatibles con los requisitos técnicos de relevamientos topográficos aplicados a minería, aunque el dron, gracias a su cobertura y densidad de datos, ofrece ventajas adicionales en eficiencia y modelado tridimensional.

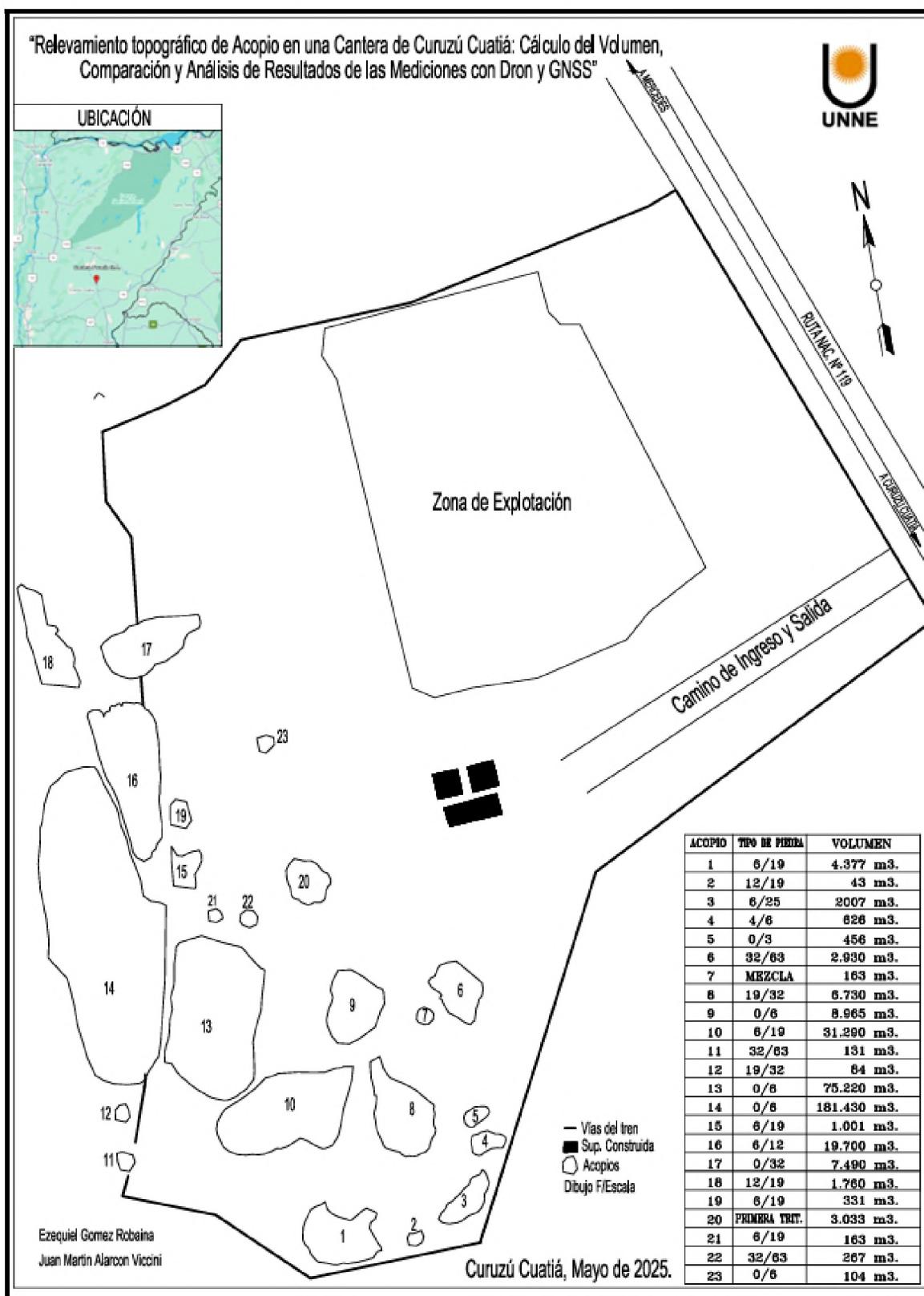
10.2 - Modelo Digital de Elevación



10.3 - Ortomosaico



10.4- Inventario de acopios



11 - CONCLUSIÓN

El cálculo de volúmenes en canteras de piedras de basalto representa un proceso fundamental en la planificación y gestión eficiente de la extracción de material. En este estudio, se compararon dos metodologías: la fotogrametría aérea con drones y el relevamiento terrestre mediante equipos convencionales, evaluando su precisión, eficiencia y costos operativos.

Los resultados evidencian que la fotogrametría aérea con drones ofrece ventajas significativas en términos de eficacia y rapidez. La captura masiva de datos en un corto período de tiempo permite optimizar recursos logísticos, mientras que la generación de modelos digitales de elevación posibilita una cuantificación volumétrica detallada y una representación tridimensional precisa del material disponible.

Desde un enfoque técnico, el método fotogramétrico proporciona una alta densidad de puntos de medición, reduciendo la incertidumbre en los cálculos volumétricos y mejorando la detección de variaciones morfológicas. La automatización del procesamiento de imágenes mediante algoritmos avanzados minimiza errores sistemáticos y aumenta la confiabilidad de los resultados. Además, la capacidad de relevar zonas de difícil acceso sin comprometer la seguridad del personal en campo constituye una ventaja operativa relevante.

Por otro lado, el relevamiento terrestre con instrumentos convencionales sigue siendo una alternativa válida, particularmente en situaciones donde la visibilidad aérea es limitada o cuando se requiere una validación detallada de los datos obtenidos mediante fotogrametría. Sin embargo, esta metodología demanda más tiempo de ejecución y una mayor inversión en recursos humanos, además de presentar limitaciones en superficies irregulares o de gran extensión.

Más allá del análisis técnico, este trabajo significó una experiencia enriquecedora a nivel personal y profesional. Fue un verdadero desafío, ya que no habíamos tenido la oportunidad de realizar un trabajo de estas características durante el cursado de la carrera. Tuvimos que investigar, organizar y tomar decisiones técnicas sin contar con antecedentes directos, lo cual nos permitió desarrollar habilidades de planificación, resolución de problemas y trabajo en equipo.

Además, esta experiencia nos permitió aplicar y relacionar conocimientos adquiridos en diversas materias de la carrera de Ingeniería en Agrimensura, como topografía, geodesia, fotogrametría, cartografía y sistema de información geográfica. La integración de estos saberes en un contexto real nos dio una visión más completa y sólida de nuestra formación.

Realizar este tipo de proyecto en la provincia de Corrientes, no es muy común para nuestra profesión, lo que refuerza el valor del trabajo realizado. La experiencia no solo nos brindó nuevas herramientas técnicas, sino que también nos permitió establecer vínculos laborales con profesionales del sector, abriendo puertas y generando contactos que serán de gran utilidad en nuestra futura vida profesional.

En definitiva, este trabajo nos permitió no solo cumplir con los objetivos propuestos, sino también crecer como profesionales y comprender con mayor claridad el rol estratégico que puede desempeñar la agrimensura en el desarrollo productivo y territorial de la región.

12 - MARCO TEÓRICO

12.1 - Nociones de minería a cielo abierto

La explotación minera es una actividad con mucha antigüedad, que se convirtió en una de las actividades económicas más importantes del mundo, debido a la rentabilidad que genera a las empresas privadas y públicas que la practican.

Consiste en obtener aquellos minerales que se generaron y permanecen excepcionalmente en algunos suelos tras los diversos procesos geológicos producidos en nuestro planeta.

Existen dos modalidades que tienen que ver con la ubicación de la reserva de minerales. Por un lado, la explotación de minas subterráneas y por otro lado de minas a cielo abierto.

La minería a cielo abierto, se realiza en la superficie y por ello es posible entonces utilizar grandes maquinarias, herramientas y explosivos que facilitan en cierta medida la extracción de minerales y el trabajo realizado, lo que sin dudas representa una gran ventaja frente a la minería subterránea.

Comúnmente, a estos aprovechamientos mineros o explotaciones mineras, de rocas industriales, ornamentales, y de materiales de construcción, que se desarrollan en la superficie del terreno, se denominan canteras.

Antes de iniciar cualquier proyecto de extracción de materiales, se debe revisar y considerar el cumplimiento de la normativa en las diversas materias: fiscal, laboral, de salud y de seguridad social, realizando también, de ser requerido, el estudio de Impacto Ambiental, y presentarlo para su evaluación ante las autoridades estatales y federales en materia de ecología y medio ambiente, quiénes se encargarán de establecer las medidas de restauración, recuperación, sostenimiento y mantenimiento para amortiguar el impacto ambiental de la actividad extractiva

Método de extracción – Proceso de fabricación

El proceso de explotación se inicia con el uso controlado y seguro de productos energéticos en voladuras controladas. El objetivo de esta primera etapa es fragmentar la roca en un tamaño y distribución específicos, de tal forma que optimice el proceso posterior de transporte y machaqueo, sin comprometer la seguridad y minimizando o eliminando los posibles efectos ambientales

Tras la carga se conduce el material a las plantas de tratamiento. En esta pasa por sucesivas fases de reducción de tamaño mediante equipos como trituradoras de mandíbulas, de impactos o giratorias y conos

Una vez reducido el material saliente pasa por un lavado con agua para quitar el polvo producido y luego es distribuido hasta los lugares de acopio seccionados por tamaños a través de cribas y clasificadores para ajustarse a las especificaciones granulométricas de los productos comercializables.

Finalmente, el producto es cargado con palas mecánicas a camiones o trenes y está listo para su traslado a destino.

Basalto

El basalto es la roca más común del mundo, ocupa aproximadamente el 70% de la corteza terrestre . Su presencia es más abundante en el fondo de los océanos.

Es una roca ígnea volcánica. Su formación es producto del rápido enfriamiento del magma que expulsan los volcanes. Cuando la lava llega a la superficie de la tierra, esta se encuentra a temperaturas que oscilan entre los 1.100 a 1.250° Centígrados, pero se enfriá rápidamente, en días o semanas, convirtiéndose en roca sólida.

Debido a su color oscuro y textura, posee una baja capacidad de reflejar la radiación, por eso la superficie de las rocas basálticas tienden a calentarse más que otras por la acción de la radiación solar. Tiene una densidad de 2,8 a 2,9 g/cm³.

Usos del basalto

El basalto es muy atractivo por su dureza, alta resistencia a la meteorización, no es abrasivo y es muy abundante, por lo que es muy usado en la industria de la construcción, ya sea como roca triturada para bases de carreteras, como agregado en concreto y pavimento, para construir algún tipo de estructura o bien resultan útiles en la construcción de baldosas o monumentos.

12.2 - Topografía

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales. Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la Tierra es plana (geométricamente), mientras que para la geodesia no lo es.

Para eso se utiliza un sistema de coordenadas tridimensional, siendo la x y la y competencia de la planimetría, y la z de la altimetría.

Los mapas topográficos utilizan el sistema de representación de planos acotados, mostrando la elevación del terreno utilizando líneas que conectan los puntos con la

misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas curvas de nivel. Dicho plano de referencia puede ser el nivel medio del mar, y en caso de serlo se hablará de altitudes en lugar de cotas

Relevamiento topográfico

Podemos definir un relevamiento topográfico como un conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie terrestre. En todo levantamiento topográfico, hay que señalar y marcar puntos en el terreno; trazar líneas entre tales puntos; medir sus distancias horizontales y verticales; determinar ángulos entre las alineaciones, etc.

Estas tareas son complementadas en gabinete aprovechando los elementos que proporcionan la geometría para mediante el cálculo relacionar entre sí los puntos elegidos y posteriormente representarlos gráficamente, proyectándose sobre un plano, usando escalas apropiadas.

Es importante señalar que todas las obras de ingeniería de cierta importancia requieren un levantamiento topográfico previo, es decir, tomar datos para la ejecución de un plano que represente el terreno; sobre cuyo resultado, se basará el proyecto de la obra. Una vez finalizado este último, mediante otra operación topográfica llamada “replanteo”, se ubicará en el terreno los puntos que definen la obra proyectada y así se podrá dar inicio a su construcción.

Instrumentos topográficos

Para lograr obtener y plasmar sobre un plano cada uno de los datos obtenidos, el topógrafo utiliza diversos instrumentos y herramientas de gran precisión que facilitan su trabajo. Con los avances de la tecnología estos instrumentos son cada vez más precisos y complejos, y pueden cumplir con múltiples funciones en un solo aparato.

Entre los instrumentos topográficos más utilizados podemos mencionar los siguientes:

GNSS

Son aparatos sofisticados de geoposicionamiento global que funcionan a través de una red de satélites. Son utilizados para ubicar cualquier punto sobre la superficie terrestre indicando su posición y coordenadas con bastante precisión. Existen otros materiales e instrumentos complementarios como las plomadas, las estacas, las miras, calculadoras, libretas de campo que los profesionales utilizan para complementar su labor además de las utilizadas y descritas en la realización de este trabajo.

12.3 - Fotogrametría

Etimológicamente, la palabra fotogrametría deriva de las palabras griegas “photos”, que significa luz; “gramma”, que significa lo que está dibujado o escrito, y “metrón”, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras fotogrametría significa medir gráficamente por medio de la luz.

La fotogrametría puede definirse como el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es obtener información cuantitativa con precisión, como ser, la forma, dimensión y posición en el espacio de un objeto físico y su entorno; mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas. Esta serie de mediciones conduce a la formación de mapas topográficos, determinación de coordenadas de puntos de control en el terreno, diseño y estudio de carreteras, canales y otras obras de ingeniería civil.

La fotogrametría se apoya fundamentalmente en las relaciones matemáticas de la geometría proyectiva y de la visión estereoscópica que posee naturalmente el ser humano.

La aplicación de la Fotogrametría a la topografía se realiza a partir del levantamiento fotogramétrico, pese a que la fotogrametría no es una ciencia nueva (sus inicios se estiman a mediados del siglo XIX) su aplicación a la topografía es mucho más recientes

Si se trabaja con dos fotos, en la zona común a estas (zona de solape), se podrá tener visión estereoscópica o, dicho de otro modo, información tridimensional. Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

Historia

Fotogrametría terrestre

En 1725, se registró el primer uso documentado de técnicas de perspectiva aplicadas a la cartografía. El cartógrafo suizo Moritz Anton Capeller empleó un método basado en intersecciones topográficas para representar el monte Pilatus. Este procedimiento se inspira en técnicas desarrolladas por el pintor alemán Alberto Durero en el siglo XVI para la construcción de perspectivas.

Sin embargo, la aplicación de estas proyecciones en cartografía presentó limitaciones significativas en términos de precisión. La falta de exactitud en los cálculos impidió su adopción como un estándar cartográfico, y la técnica de Capeller no se generalizó. Esto evidencia la necesidad de métodos más rigurosos para la representación espacial.

En 1839, François Arago desarrolló la fotografía, tecnología que posteriormente sería aplicada en la cartografía. En 1859, el coronel francés Aimé Laussedat utilizó esta

técnica para la elaboración de planos topográficos, continuando una línea de trabajo iniciada en 1846, cuando empleó perspectivas generadas mediante una cámara lúcida con el mismo objetivo.

A partir de 1852, Laussedat inició un proceso de sustitución de la cámara lúcida por la cámara oscura, con el propósito de mejorar la precisión de los levantamientos topográficos. Este esfuerzo culminó en 1859 con la construcción de un prototipo de fototeodolito, precursor de los sistemas modernos de medición geodésica. La metodología aplicada por Laussedat se enmarca dentro de la fotogrametría de intersección, técnica fundamental en la evolución de la representación espacial y el levantamiento de terrenos.

En 1858, Albrecht Meydenbauer aplicó el procedimiento de intersecciones basado en imágenes fotográficas para el levantamiento de estructuras arquitectónicas, estableciendo así el concepto de fotogrametría. Este enfoque permitió la representación precisa de edificaciones a partir de fotografías tomadas desde distintos ángulos.

Sin embargo, tanto los métodos desarrollados por Aimé Laussedat como los de Meydenbauer enfrentaron dificultades en la identificación de un mismo punto en diferentes imágenes, lo que afectaba la precisión en la reconstrucción tridimensional de los objetos cartografiados. Estos desafíos marcaron la evolución de la fotogrametría, impulsando el desarrollo de técnicas avanzadas de correlación y automatización en la interpretación de datos fotográficos.

En 1901, Carl Pulfrich resolvió la problemática de la identificación de puntos homólogos mediante la introducción del estereocomparador de Pulfrich, un dispositivo innovador que optimizó el análisis estereoscópico de imágenes fotográficas. Este instrumento no solo permitió una identificación precisa de puntos equivalentes en diferentes fotografías, sino que también mejoró la medición de coordenadas espaciales y parajes con un alto grado de exactitud.

La implementación de esta tecnología representó un avance significativo en el campo de la fotogrametría, facilitando la obtención de datos tridimensionales de manera más fiable y contribuyendo al desarrollo de métodos más rigurosos para el levantamiento topográfico y cartográfico.

En 1914, se desarrolló el estereoautógrafo de von Orel, un dispositivo basado en el estereocomparador de Pulfrich al que se integró un sistema de reglas mecánicas. Este mecanismo permitía la transmisión precisa de las coordenadas de los puntos capturados en los fotogramas, facilitando así el trazado continuo de los elementos cartográficos.

La incorporación de este sistema mejoró significativamente la representación topográfica al automatizar el proceso de registro de datos espaciales. Este avance consolidó el uso de la estereofotogrametría como una herramienta fundamental en la elaboración de mapas con mayor precisión y eficiencia.

En 1920, Argentina desarrolló el estereógrafo, un dispositivo diseñado para el análisis estereoscópico en cartografía y topografía, que fue perfeccionado en 1926. Variantes de este instrumento fueron utilizadas extensamente por el Instituto Geográfico Nacional.

Posteriormente, una versión mejorada del estereógrafo fue desarrollada por los matemáticos españoles José María y Antonio Torroja y Miret, incorporando innovaciones que optimizan la precisión y funcionalidad del aparato en la representación cartográfica tridimensional.

En 1923, De la Puente documentó en su obra la construcción del cartógrafo, un instrumento diseñado por el coronel español Jesús Ordovás para el levantamiento cartográfico. Este dispositivo fue desarrollado con el objetivo de mejorar la representación y precisión en la elaboración de mapas.

A pesar del avance de la tecnología en las décadas siguientes, en 1950 el cartógrafo continuaba en uso en el Instituto Geográfico, destacándose por su excelente rendimiento y eficacia en los procesos de medición y representación geográfica.

Fotogrametría aérea

En 1897, el ingeniero y científico austriaco Theodor Scheimpflug inició sus investigaciones sobre la rectificación fotográfica, un procedimiento destinado a corregir las deformaciones en imágenes tomadas con perspectiva oblicua. Esta técnica alcanzaría gran reconocimiento en ámbitos como la cartografía y la fotogrametría. Al año siguiente, en 1898, estableció los fundamentos de la proyección doble, un concepto clave en la geometría de la imagen que permitiría mejorar la precisión en la representación de superficies tridimensionales en planos bidimensionales. Su trabajo sentó las bases de muchos de los principios que rigen actualmente la óptica aplicada en la fotografía y la topografía.

En 1899, el matemático y geodesista alemán Sebastian Finsterwalder desarrolló un método sistemático para resolver el problema de la orientación en la fotogrametría. Su enfoque se basaba en un procedimiento estructurado en tres etapas fundamentales: la orientación interior, la orientación relativa y la orientación absoluta.

- **Orientación interior:** Consiste en la determinación de los parámetros internos de la cámara fotográfica, asegurando que las imágenes registradas sean

interpretadas correctamente en función de las características ópticas del sistema.

- **Orientación relativa:** Implica la alineación geométrica de dos o más imágenes con respecto a sí mismas, permitiendo reconstruir la configuración espacial de los objetos representados y determinar la profundidad y la posición relativa.
- **Orientación absoluta:** Establece la relación de las imágenes obtenidas con un sistema de coordenadas geográficas o cartográficas, garantizando su correcta ubicación en el espacio real.

Este modelo de orientación se convirtió en un pilar fundamental en el desarrollo de la fotogrametría moderna, facilitando aplicaciones en cartografía, topografía y modelado tridimensional.

En 1915, el ingeniero Gasser, basándose en las ideas desarrolladas por Theodor Scheimpflug, construyó el Proyector Doble, considerado el primer dispositivo eficaz para la interpretación de fotografías aéreas. Este instrumento representó un avance significativo en el campo de la fotogrametría aérea, ya que permitía una mejor corrección de la perspectiva y una mayor precisión en la medición de imágenes tomadas desde el aire.

La observación de las imágenes proyectadas en la mesa medidora se realizaba mediante el método anagráfico, una técnica que utiliza pares de imágenes ligeramente desplazadas y filtros de colores para generar una percepción tridimensional. Gracias a este sistema, los operadores podían analizar el relieve y las características del terreno con mayor detalle, lo que facilitaba aplicaciones en cartografía, reconocimiento territorial y estudios topográficos.

En 1920, el ingeniero italiano Nistri diseñó y construyó el Fotocartógrafo, un innovador dispositivo para la cartografía basado en el principio anaglifo. Este instrumento permitía la observación tridimensional de imágenes fotográficas mediante el uso de filtros de colores, lo que facilitaba la interpretación topográfica con mayor precisión.

El sistema anaglifo empleado en el Fotocartógrafo mejoraba la percepción del relieve, lo que resultaba especialmente útil en aplicaciones como la cartografía aérea y la fotogrametría. Gracias a este avance, se optimizaron los métodos de análisis de terrenos y la generación de mapas con información geoespacial detallada, consolidando el uso de la fotografía como herramienta fundamental en la geodesia y la topografía.

En 1921, Walter Bauersfeld desarrolló una innovadora solución basada en el principio Porro-Kope, lo que permitió a la empresa Carl Zeiss construir el estereo planigrafo. Este dispositivo representó un avance significativo en el campo de la cartografía y la

topografía, facilitando la generación precisa de modelos tridimensionales a partir de imágenes estereoscópicas.

A partir del mismo año, Ermenegildo Santoni en Italia retomó los estudios sobre proyección mecánica, diseñando un autorreductor que optimiza los procesos de representación gráfica. Su trabajo impulsó el desarrollo de una serie de dispositivos sucesivos, mejorando la precisión y eficiencia en la transformación de datos geométricos en representaciones cartográficas. Estos avances fueron fundamentales para la evolución de la fotogrametría analógica y su posterior transición hacia sistemas digitales.

En 1924, Otto von Gruber desarrolló un enfoque más sistemático y completo para resolver el problema de las orientaciones en fotogrametría, mejorando significativamente la precisión de los cálculos y optimizando los procedimientos de modelado.

Desde 1936, la empresa Wild, con sede en Suiza, se especializó exclusivamente en la producción de instrumentos de proyección mecánica, consolidando su liderazgo en el desarrollo de dispositivos de precisión para aplicaciones cartográficas. Posteriormente, en 1960, Zeiss Oberkochen adoptó también la proyección mecánica en sus instrumentos, destacando modelos como el Planimap y el Planicart, que contribuyeron a la evolución tecnológica en la generación y análisis de representaciones cartográficas.

Gasser y von Gruber contribuyeron de manera significativa al avance de la fotogrametría mediante el desarrollo de procedimientos para la concatenación de modelos. Estos métodos fueron fundamentales para la evolución de la aerotriangulación, técnica que permitió la interconexión sistemática de múltiples modelos, optimizando la precisión y confiabilidad en la generación cartográfica.

La aerotriangulación transformó la forma en que se estructuran los datos obtenidos a través de la fotogrametría aérea, facilitando el ajuste y la alineación de modelos individuales en una red coherente. Este avance mejoró significativamente la exactitud en la interpretación y representación de superficies terrestres, estableciendo una base metodológica para el desarrollo de sistemas cartográficos modernos y para la implementación de tecnologías digitales en el procesamiento de imágenes geoespaciales.

La fotogrametría aérea experimentó una rápida expansión gracias a la incorporación de aparatos restituidores analógicos, que permitieron una mejora significativa en la precisión y eficiencia de los procesos de restitución cartográfica. Estos dispositivos facilitaron la interpretación y conversión de imágenes aéreas en representaciones topográficas detalladas, contribuyendo al desarrollo de cartografía de alta calidad.

El estereoautógrafo de von Orel, inicialmente aplicado a la fotogrametría terrestre, estableció un precedente en la generación de modelos tridimensionales a partir de pares estereoscópicos. Su influencia se extendió notablemente al ámbito aéreo, promoviendo el perfeccionamiento de técnicas de restitución y la expansión de la producción de mapas y planos de diversa índole. Este avance consolidó la fotogrametría como una herramienta esencial en disciplinas como la geodesia, la planificación territorial y la ingeniería civil.

El avance de la computación permitió realizar cálculos a gran velocidad, lo que facilitó la coexistencia de procedimientos analógicos y analíticos durante varios años. En la década de 1960, el ingeniero finlandés Uki Helava desarrolló el Restituidor Analítico, un dispositivo de alto costo en sus inicios que solo en los años 80 logró equiparar su precio al de los sistemas analógicos.

Este restituidor analítico representó un hito en la fotogrametría, al mejorar notablemente la precisión y permitir el uso de distintos tipos de imágenes, incluidas aquellas no fotográficas. Entre sus principales ventajas se destacó la capacidad de corregir errores sistemáticos, como la distorsión de la lente, las variaciones dimensionales de la película y los efectos de refracción atmosférica y curvatura terrestre. Además, su implementación facilitó el empleo de altas redundancias mediante el tratamiento por mínimos cuadrados, optimizando la fiabilidad de los resultados.

Sin embargo, el impacto más significativo de la fotogrametría analítica no residió exclusivamente en el Restituidor Analítico, sino en la transformación de las técnicas de aerotriangulación. Este cambio permitió una mayor exactitud en la estructuración de modelos fotogramétricos, contribuyendo al perfeccionamiento de los procesos cartográficos y al desarrollo de sistemas geoespaciales más avanzados.

La aerotriangulación analógica consistía en la concatenación de modelos obtenidos a lo largo de una pasada fotográfica dentro de los aparatos analógicos, permitiendo la generación de estructuras cartográficas coherentes. Sin embargo, este método presentaba una propagación de errores altamente desfavorable, lo que afectaba la precisión global de los modelos resultantes.

A pesar de esta desventaja, el proceso ofrecía un aspecto positivo: el efecto de la doble sumatoria en los errores de transferencia generaba deformaciones finales con una apariencia sistemática. Esto posibilitaría la evaluación de las distorsiones mediante el empleo estratégico de puntos de control terrestre ubicados en el inicio, el centro y el final de cada pasada. De este modo, se lograba una corrección parcial de las desviaciones acumuladas.

No obstante, la precisión alcanzada mediante estos procedimientos era limitada, ya que no se ajustaban a una verdadera compensación basada en el método de mínimos cuadrados. La ausencia de una solución matemática rigurosa impedía la optimización plena de los modelos, lo que llevó a la posterior evolución hacia técnicas analíticas más avanzadas, capaces de reducir errores sistemáticos y mejorar la fiabilidad de los datos obtenidos.

La evolución de la aerotriangulación ha estado impulsada, en gran medida, por el desarrollo de la computación, una tecnología en constante avance. Durante las décadas de 1970 y 1980, se implementaron soluciones que no requerían equipos informáticos costosos, aunque no proporcionaban una compensación rigurosa basada en el método de mínimos cuadrados. Un aporte significativo en este contexto fue el de G.H. Schut, quien puso sus programas a disposición de la comunidad fotogramétrica internacional, facilitando el acceso a herramientas de procesamiento de datos aerofotogramétricos.

A mediados de los años 80, con la llegada de las computadoras personales, los programas de compensación en bloque por mínimos cuadrados experimentaron una amplia difusión, reduciendo su costo y convirtiéndose en software opcional incluido con la adquisición de restituidores analíticos. Estos avances marcaron un punto de inflexión en la historia de la fotogrametría, al mejorar la precisión en la triangulación aérea y en el ajuste de modelos fotogramétricos.

En este período, la fotogrametría comenzó su transición de procedimientos analíticos a digitales. Mientras que la teledetección había integrado técnicas digitales desde la década de 1970, la fotogrametría se mantuvo relativamente ajena a estos desarrollos hasta bien entrados los años 80. A partir de la década de 1990, la integración de procedimientos digitales se aceleró, logrando niveles de correspondencia de imágenes con precisiones de sub píxel.

Un desafío clave en la digitalización de la fotogrametría ha sido la adaptación de cámaras digitales en aeronaves. Ante esta dificultad, se ha utilizado un enfoque híbrido, que consiste en la captura de imágenes con cámaras analógicas tradicionales, seguida de su digitalización mediante escáneres de alta precisión. No obstante, en años recientes, se han logrado avances sustanciales en el desarrollo de cámaras digitales para fotogrametría aérea, alcanzando niveles de calidad y precisión comparables a los de las cámaras analógicas convencionales. Actualmente, los primeros modelos de estas cámaras ya están disponibles en el mercado.

En cuanto al tratamiento de imágenes satelitales para aplicaciones fotogramétricas, hace años que existen imágenes con tamaños de píxel compatibles con las exigencias cartográficas de pequeñas escalas, lo que ha permitido la incorporación de técnicas avanzadas en la generación de mapas geoespaciales. Estos desarrollos continúan

consolidando la fotogrametría digital como una herramienta fundamental para la producción cartográfica moderna.

En la actualidad, el empleo de drones ha revolucionado la fotogrametría, proporcionando una herramienta versátil y accesible para diversas aplicaciones en sectores como la agricultura de precisión, la planificación urbana y la gestión de recursos naturales. Gracias a su capacidad de captura rápida y su facilidad de operación, estos dispositivos han democratizado el acceso a datos geoespaciales de alta resolución, optimizando procesos que antes requerían equipos más costosos y complejos.

El impacto de los drones en la fotogrametría se traduce en una reducción significativa de costos y tiempos operativos, al eliminar la necesidad de vuelos tripulados y simplificar la adquisición de imágenes aéreas. Además, su compatibilidad con sensores avanzados, como cámaras multiespectrales y térmicas, ha ampliado su utilidad en estudios ambientales, monitoreo de cultivos y evaluación de infraestructuras.

Otro aspecto fundamental es la integración de estos dispositivos con software de procesamiento fotogramétrico basado en inteligencia artificial, lo que permite mejorar la precisión en la generación de modelos tridimensionales y mapas de alta resolución. Estos avances han consolidado la fotogrametría con drones como una tecnología clave en la evolución de la cartografía digital y el análisis geoespacial.

Divisiones de la Fotogrametría

A lo largo del desarrollo de la fotogrametría, se han implementado diversos métodos adaptados a los distintos campos de aplicación y a los avances tecnológicos. Dependiendo de la metodología utilizada, esta disciplina se puede clasificar en varias categorías:

Clasificación según el método empleado

- **Fotogrametría Analógica:** Se basa en el uso de aparatos de restitución óptica y mecánicos. En este proceso, se colocan un par de fotografías en el dispositivo y el operador alinea manualmente las imágenes para crear un modelo estereoscópico escalado y nivelado. El levantamiento de información planimétrica y altimétrica se realiza mediante una marca flotante que se posiciona manualmente sobre los detalles de la superficie del modelo. La información obtenida es posteriormente ploteada en una cartulina sobre la mesa trazadora, conectada al modelo por medios mecánicos o eléctricos.
- **Fotogrametría Analítica:** Surge con la incorporación de restituidores analógicos y el uso de computadoras, dando inicio a un método más preciso y eficiente. La creación del Restituidor Analítico permitió agilizar los tiempos de

procesamiento y mejorar el nivel de detalle en distintas escalas. Además, posibilitó la transferencia de información a programas especializados, como los de tipo CAD, facilitando la digitalización de los datos cartográficos.

- **Fotogrametría Digital:** Es resultado del avance de la computación, permitiendo la ejecución de todos los procesos fotogramétricos mediante software especializado. La fotogrametría digital amplió las posibilidades de explotación de imágenes, al simplificar la tecnología utilizada y automatizar la generación de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes, estereortoimágenes y representaciones tridimensionales. También ha posibilitado la visualización y análisis de modelos en entornos digitales con alta precisión.

Clasificación según el tipo de fotografía empleada

- **Fotogrametría Terrestre:** Utiliza fotografías capturadas desde un soporte terrestre. Si bien fue la primera aplicación práctica de la fotogrametría, actualmente su uso se concentra en sectores como la arquitectura, la arqueología, la ingeniería estructural y los levantamientos topográficos en terrenos de difícil acceso.
- **Fotogrametría Aérea:** Se basa en imágenes obtenidas desde una cámara montada en una plataforma aerotransportada, como aviones o drones. Esta técnica ha sido fundamental en la cartografía y el estudio de superficies extensas.
- **Fotogrametría Espacial:** Modalidad en crecimiento que emplea imágenes estereoscópicas capturadas por satélites de observación terrestre. Su implementación ha permitido estudios geoespaciales a gran escala, con aplicaciones en gestión ambiental, análisis climático y monitoreo de recursos naturales.

Aplicaciones de la Fotogrametría

Desde sus inicios, la fotogrametría ha sido utilizada con éxito en la generación de mapas y cartas con curvas de nivel, proporcionando información planialtimétrica detallada de una región específica. Su capacidad para obtener representaciones precisas del terreno la ha convertido en una herramienta esencial en diversas disciplinas.

Ámbitos de aplicación

En el ámbito de la ingeniería, la fotogrametría se emplea en el diseño y estudio de proyectos como:

- Rutas y autopistas.
- Presas y canales.

- Acueductos, oleoductos y gasoductos.
- Obras arquitectónicas.
- Relevamientos catastrales, geológicos y agrícolas.
- Evaluación del uso del suelo y planificación territorial.

Ventajas de la fotogrametría

- **Reducción de costos de proyecto:** Diversos estudios económicos han demostrado que la fotogrametría es más rentable que la topografía convencional, especialmente cuando se amplía la superficie de estudio, lo que reduce los tiempos de trabajo y optimiza recursos.
- **Registro multitemporal:** La posibilidad de comparar fotografías tomadas en distintos momentos permite el análisis de cambios en el uso del suelo, facilitando estudios de impacto ambiental y planificación territorial.
- **Acceso a regiones intransitables:** La fotogrametría es la única alternativa viable para el relevamiento de áreas de difícil acceso, ya sea por condiciones topográficas, geográficas o restricciones políticas.

Desventajas

- **Costo elevado en proyectos pequeños:** Para estudios de menor escala, el uso de fotogrametría puede no ser rentable debido a los costos de adquisición y procesamiento.
- **Requerimiento de personal especializado:** La correcta implementación de técnicas fotogramétricas requiere profesionales capacitados, con conocimientos específicos en captura y procesamiento de imágenes.

Fotogrametría Digital

La fotogrametría digital representa la evolución de esta disciplina, integrando procesos automatizados y mejorando la explotación de imágenes. Su objetivo principal es la obtención de información espacial de objetos mediante imágenes en formato digital, optimizando la precisión y eficiencia de los análisis geoespaciales.

Este enfoque se basa en:

- **Entrada en formato digital:** Captura de imágenes mediante sensores digitales.
- **Procesamiento automatizado:** Aplicación de algoritmos avanzados en software fotogramétrico.
- **Salida digital:** Generación de modelos tridimensionales, ortoimágenes y mapas detallados.

Gracias a su capacidad de automatización y mejora en la interpretación de imágenes, la fotogrametría digital ha permitido el desarrollo de sistemas de visualización avanzados,

consolidándose como una herramienta esencial en estudios cartográficos y geoespaciales.

La Imagen Digital en Fotogrametría

En la fotografía digital, las imágenes son capturadas por sensores electrónicos que contienen múltiples unidades fotosensibles. Estos sensores aprovechan el efecto fotoeléctrico para convertir la luz en señales eléctricas, que luego son digitalizadas y almacenadas en una memoria.

Una imagen digital se estructura como una matriz bidimensional en la que cada unidad mínima de información es un **píxel**, identificado mediante coordenadas fila-columna (*i, j*). Cada píxel tiene un **Nivel Digital (ND)**, representado en pantalla como un nivel de gris. Este tipo de composición corresponde a una imagen **monobanda**, es decir, una única matriz visualizada en escala de grises. En contraste, las imágenes a color (**RGB**) están compuestas por tres matrices independientes: una para el **rojo (Red)**, otra para el **verde (Green)** y una última para el **azul (Blue)**.

Resolución de la Imagen Digital en Fotogrametría

En fotografía aplicada a la fotogrametría, se consideran diversos tipos de resolución:

- **Resolución espacial:** Indica la longitud del terreno representada por un solo píxel, siendo el parámetro más relevante para estudios cartográficos y geoespaciales.
- **Resolución temporal:** Determina la frecuencia con la que el sensor captura imágenes de un área específica.
- **Resolución espectral:** Se define por el número de bandas espectrales que registra el sensor, lo que influye directamente en la capacidad de análisis de la imagen.

Aplicaciones de la Fotogrametría Digital

El desarrollo de la fotogrametría digital ha permitido mejoras significativas en la automatización de procesos fotogramétricos. Algunas de sus aplicaciones más destacadas incluyen:

a) Aerotriangulación Automática

La aerotriangulación tradicional requería la selección manual de un conjunto de puntos de referencia en múltiples fotogramas. Posteriormente, estos puntos eran transferidos a todas las imágenes de la serie.

Con la implementación de sistemas digitales, la transferencia de puntos se realiza de manera automática mediante algoritmos de correlación de imágenes. Este avance ha incrementado el número de puntos procesados, pasando de un estándar de 9 puntos a 50 o 100 puntos, lo que ha mejorado significativamente la robustez y precisión de los resultados.

b) Modelos Digitales de Terreno y Superficie

Los Modelos Digitales de Terreno (MDT) representan la distribución espacial de variables cuantitativas y continuas, mediante coordenadas (x, y, z) referenciadas a un sistema cartográfico. Este tipo de modelo elimina elementos ajenos al relieve, como edificaciones o vegetación, proporcionando una representación fiel de la topografía.

Por otro lado, los Modelos Digitales de Superficie (MDS) no solo describen la morfología del terreno, sino que incluyen elementos antrópicos y la cobertura vegetal, facilitando estudios ambientales y urbanos.

c) Obtención de Curvas de Nivel

Las curvas de nivel constituyen una de las técnicas cartográficas más utilizadas para representar la altitud del terreno. Estas curvas pueden generarse a partir de un MDT o MDS, proporcionando una representación bidimensional de la variable Z, a través de líneas conectadas por puntos de igual elevación.

d) Generación de Ortoimágenes

Las ortoimágenes son imágenes digitales corregidas para eliminar los efectos de perspectiva y relieve, garantizando una restitución precisa de la geometría del terreno. Este proceso transforma la imagen de una proyección cónica a una proyección ortogonal, lo que permite su uso en cartografía georreferenciada. La calidad de una ortoimagen depende tanto del modelo digital de terreno empleado como del algoritmo de restitución utilizado.

Ventajas y Desventajas de la Fotogrametría

Ventajas

- **Reducción de costos:** Para áreas superiores a **200 hectáreas**, la fotogrametría se torna más competitiva en comparación con métodos como la topografía convencional o el GNSS.
- **Optimización del trabajo de campo:** La cantidad reducida de puntos de control minimiza la necesidad de extensas campañas de levantamiento en terreno.
- **Mayor rapidez en la compilación de datos:** Permite la generación de mapas en tiempos significativamente menores que los métodos tradicionales.

- **Registro multitemporal:** Facilita el análisis de cambios en el paisaje o en el uso del suelo a lo largo del tiempo.
- **Aplicabilidad en regiones intransitables:** Es una solución viable en zonas de difícil acceso, como desiertos, selvas o áreas afectadas por desastres naturales.
- **Versatilidad:** Puede adaptarse a diversas escalas y metodologías, permitiendo la producción de mapas con diferentes niveles de detalle y precisión.

Desventajas

- **Dificultades en áreas con densa cobertura vegetal:** La presencia de vegetación impide ubicar con exactitud la marca flotante sobre el terreno, lo que introduce errores en la restitución de curvas de nivel.
- **Problemas en superficies planas:** La definición de curvas de nivel en terrenos homogéneos es imprecisa, requiriendo complementación con mediciones de campo.
- **Necesidad de inspección previa:** Antes del análisis fotogramétrico, es esencial identificar elementos no visibles en la imagen o difíciles de reconocer en el estereomodelo.
- **Inversión elevada en tecnología y personal capacitado:** La fotogrametría demanda software especializado y equipos de alta precisión, lo que incrementa los costos operativos.
- **Requerimiento de fotografías actualizadas:** Para estudios periódicos, es necesario obtener imágenes recientes, lo que implica costos adicionales en adquisición de datos.

12.4 - Nociones de Geodesia y Posicionamiento

Geodesia: Definición y Diferencias con la Topografía

La **geodesia** es la ciencia encargada del estudio del **tamaño, forma y campo gravitatorio de la Tierra**. Su principal diferencia con la **topografía** radica en la consideración de la **curvatura terrestre**, ya que sus estudios abarcan extensiones de gran superficie, mientras que la topografía se centra en áreas más reducidas bajo el supuesto de una superficie plana.

Superficies de Referencia en Geodesia

Para la representación precisa de la Tierra, se emplean dos superficies fundamentales:

- **Geoide:** Superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre, que coincide con el nivel medio de los mares en reposo y se extiende bajo los continentes. Debido a la distribución heterogénea de las masas terrestres y la variabilidad de

la densidad de los materiales internos, el geoide presenta irregularidades que lo diferencian de las representaciones geométricas ideales.

- **Elipsoide de revolución:** Superficie matemática que se ajusta al geoide, generada al hacer girar una elipse sobre su eje menor. Se emplea en cálculos geodésicos debido a su representación matemática simplificada y su utilidad en la determinación de coordenadas geográficas.

Ramas de la Geodesia

La geodesia se divide en varias áreas especializadas, dependiendo del enfoque y las metodologías utilizadas en su estudio:

1. **Geodesia Matemática:** Se encarga de la geometría de la Tierra utilizando el **elipsoide de revolución** como superficie de referencia. Sobre esta, se miden **ángulos horizontales y verticales, distancias geodésicas y variaciones de altura**, permitiendo la construcción de modelos precisos.
2. **Geodesia Astronómica:** Se basa en el análisis de **coordenadas geográficas** mediante observaciones astronómicas. A partir del estudio de los astros, se determina la posición y orientación de puntos en la superficie terrestre con gran precisión.
3. **Geodesia Física:** Su objetivo es el **estudio del campo gravitatorio terrestre**, a través de la medición del **módulo del vector aceleración de la gravedad**. Estas mediciones, realizadas en estaciones **gravimétricas**, permiten obtener datos sobre la distribución interna de las masas terrestres y su influencia en la topografía.
4. **Geodesia Global (Espacial):** Se centra en la **determinación de coordenadas geodésicas** mediante el uso de **satélites artificiales**. Además, estudia el **campo gravitacional terrestre** a partir de la variación del **gradiente gravitacional** que experimentan los satélites en sus trayectorias, optimizando la precisión en la modelización del planeta.

La geodesia es una disciplina clave para la **cartografía, la navegación, la planificación territorial y el estudio de fenómenos geofísicos**. Su evolución ha permitido el desarrollo de tecnologías como los Sistema Global de Navegación por Satélite (**GNSS**), facilitando la obtención de información geoespacial de alta precisión.

Sistemas y Marcos de Referencia en Geodesia

Sistema de Coordenadas

Un **sistema de coordenadas** es el elemento matemático fundamental en los **Sistemas de Referencia**, permitiendo la ubicación precisa de puntos en el espacio. Su definición requiere:

- **Origen.**
- **Orientación de los ejes.**
- **Escala.**

En geodesia, se utilizan principalmente **sistemas cartesianos ortogonales**, en los que todos los ejes tienen la misma escala, facilitando la representación de la superficie terrestre y el cálculo de posiciones geográficas.

Sistema de Referencia

Un **Sistema de Referencia** está compuesto por **coordenadas, constantes, modelos y convenciones**, con el objetivo de determinar la posición de puntos en el espacio. Es fundamental para corregir la variación de las coordenadas en la superficie terrestre a lo largo del tiempo debido a fenómenos geofísicos y movimientos tectónicos.

Marco de Referencia

El **Marco de Referencia** corresponde a la materialización de un **Sistema de Referencia**. Se implementa a través de la **construcción, medición y cálculo de coordenadas** de puntos monumentados sobre la superficie terrestre, proporcionando una base tangible para estudios geodésicos.

Definición de un Sistema de Referencia Terrestre

El desarrollo de un **Sistema de Referencia Terrestre** está condicionado por los movimientos planetarios. La Tierra es un **cuerpo rotante con velocidad variable**, lo que afecta la estabilidad de cualquier referencia fija. Dos fenómenos influyen en la orientación de su eje de rotación:

- **Precesión.**
- **Nutación.**

Debido a estos factores, la Tierra **no es apta para un sistema de referencia inercial**, que sería fijo en el espacio. En su lugar, el posicionamiento se define por los astros, mediante:

- **Sistema de Referencia Inercial Celeste (ICRS - International Celestial Reference System).**
- **Marco de Referencia Celeste (ICRF - International Celestial Reference Frame).**

Para resolver la problemática planteada, el **Sistema de Referencia Terrestre** se define a partir de **ejes cartesianos fijos a la Tierra**, con el **eje Z coincidente con su eje de rotación**. La relación entre este sistema y el ICRS permite la corrección de los efectos derivados de precesión y nutación.

Sin embargo, el **movimiento del polo terrestre** provoca una **variabilidad continua en las coordenadas geográficas**. Por ello, la única manera de definir un sistema de referencia estable es con el **eje Z orientado a una posición próxima al eje de rotación o referenciado a una fecha determinada**.

Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS)

El **ITRS** establece procedimientos para generar marcos de referencia geodésicos utilizados en mediciones terrestres. Su definición cumple las siguientes condiciones:

1. **Geocéntrico:** Su centro de referencia es el centro de masa de la Tierra, incluyendo océanos y atmósfera.
2. **Unidad de medida:** Se basa en el **metro (SI)**.
3. **Orientación inicial:** Se estableció siguiendo la orientación del BIH en 1984.0.
4. **Evolución temporal:** Se asegura mediante un modelo de **rotación neta nula**, considerando los desplazamientos tectónicos horizontales a nivel global.

Marco de Referencia Internacional Terrestre (ITRF)

El **ITRF** representa la materialización del **ITRS**, mediante el cálculo de coordenadas y sus variaciones en estaciones geodésicas a través de diversas técnicas de posicionamiento. Su origen se encuentra en el **centro de masa terrestre**, abarcando océanos y atmósfera.

Cada pocos años, se generan **nuevas soluciones ITRF** con refinamientos en los cálculos matemáticos y tecnológicos, mejorando la precisión geodésica. Su mantenimiento y actualización están a cargo del **Servicio Internacional de Sistemas de Referencia y Rotación de la Tierra (IERS)**.

Los sistemas de navegación y cartografía prácticos suelen referirse a una **solución específica de ITRF** o a sus propios **sistemas de coordenadas**, vinculados indirectamente con el **ITRF** para garantizar su precisión.

Sistemas de Referencia Geodésicos

El sistema de referencia Geodésico más comúnmente utilizado es el de latitud, longitud y altura elipsoidal, esta última surge de asociar un elipsoide de revolución al Sistema de Referencia.

Tiene su origen en el centro de masas de la tierra, la orientación de sus ejes es la siguiente:

- El eje "z" está orientado en dirección al eje de rotación de la tierra

- El eje "x" se encuentra sobre el plano del Ecuador, orientado en dirección al meridiano de Greenwich.
- El eje "y" se encuentra sobre el plano del Ecuador y su dirección estará dada por la regla de la mano derecha.

Las coordenadas en este Sistema serán entonces, la latitud geodésica (ϕ), la longitud geodésica (λ) y, la altura elipsoidal (h) (Imagen N° 58).

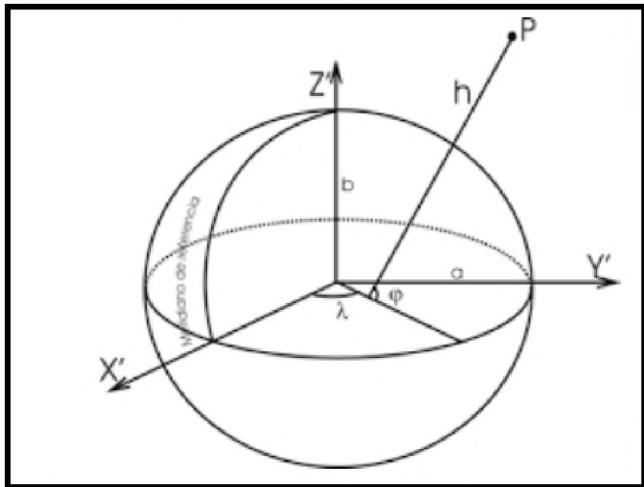


Imagen N° 88 - Coordenadas Geodésicas - Fuente: Ing. UNLP

Definidos el plano ecuatorial y el meridiano de origen, es posible también obtener coordenadas cartesianas asociadas. El origen de este Sistema será también el centro de masas terrestre o geocentro, estaremos en presencia de un triángulo de forma tal que el eje "x" estará en dirección al meridiano de origen, el eje "z" en dirección perpendicular al plano ecuatorial y, el eje "y" perpendicular a estos dos (Imagen N° 89).

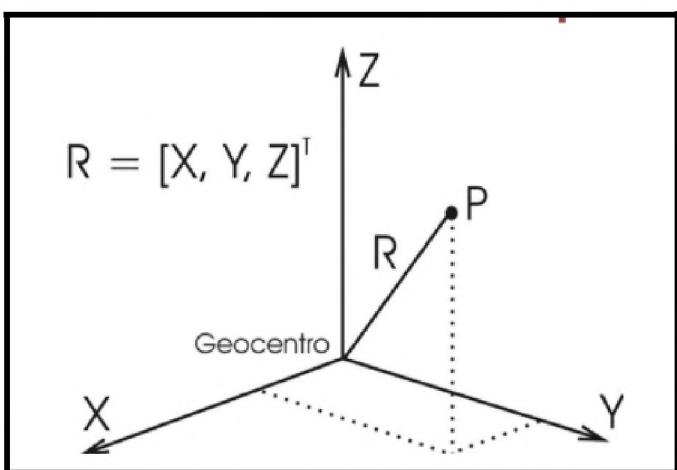


Imagen N°89 - Coordenadas cartesianas - Fuente: Ing. UNLP

La transformación entre coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura elipsoidal) y coordenadas cartesianas (x , y , z) es posible. Como puede apreciarse en la Imagen N° 90, al referir coordenadas genéricas en ambos sistemas a un mismo punto, se establece una relación gráfica entre los mismos.

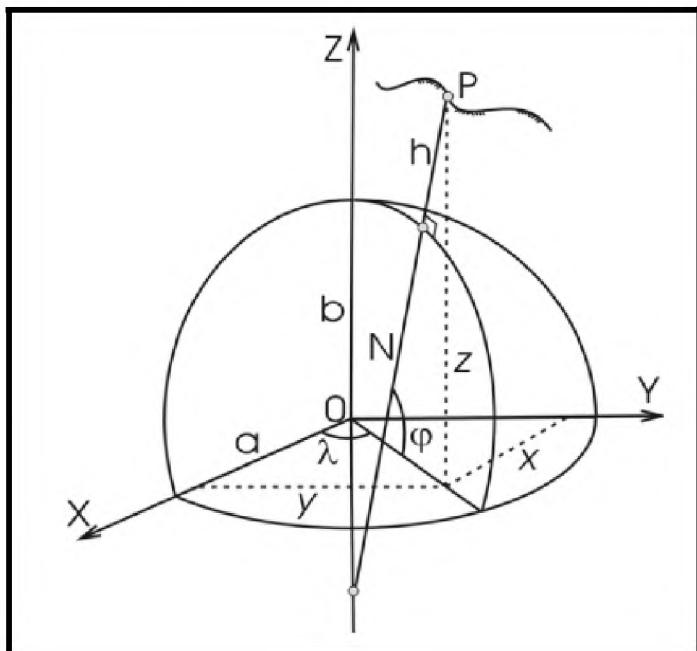


Imagen N°90 - Transformación de coordenadas - Fuente: Ing. UNLP

Sistemas y Marcos de Referencia más Utilizados

Sistema Geodésico Mundial (WGS84)

El **Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84)** es el sistema de referencia más utilizado globalmente en **cartografía, geodesia y navegación**. Establecido en 1984, proporciona un **estándar de coordenadas geográficas**, un **elipsoide de referencia** para datos altimétricos y un **geoide** que representa el nivel medio del mar. Su origen se encuentra en el **centro de masa de la Tierra**, con un margen de error estimado inferior a **dos centímetros**.

El **WGS84** es un **sistema global geocéntrico**, definido por los siguientes parámetros:

- **Origen:** Centro de masa de la Tierra.
- **Sistemas de ejes coordinados:**
- **Eje Z:** Dirección del polo de referencia del **IERS (International Earth Rotation Service)**.
- **Eje X:** Intersección del **meridiano origen** definido en 1984 por el BIH y el Ecuador.
- **Eje Y:** Perpendicular a los ejes anteriores, coincidente en el origen.

Elipsoide WGS84

El **elipsoide de revolución** que define el WGS84 cuenta con los siguientes parámetros:

- **Semieje mayor (a)** = 6.378.137 m.
- **Semieje menor (b)** = 6.356.752,3142 m.
- **Achatamiento (f)** = 1/298,257223563.
- **Constante de Gravitación Terrestre (GM)** = $3,986004418 \times 10^{14}$ m³/s².
- **Velocidad angular (ω)** = $7,292115 \times 10^{-5}$ rad/s.
- **Coeficiente de forma dinámica (J_2)** = -484,16685 × 10⁻⁶.

Este sistema se mantiene bajo **revisión continua** por organismos especializados. La última actualización significativa, **EGM96 (Modelo Gravitacional de la Tierra 1996)**, fue publicada en 1996 y revisada en 2004. Este modelo utiliza el mismo elipsoide WGS84, pero con una **resolución espacial duplicada** (100 km). Posteriormente, se han desarrollado modelos más recientes, como **EGM2008**, con una resolución aún mayor.

Marcos de Referencia en Argentina

En Argentina, el **Instituto Geográfico Nacional (IGN)** es el encargado del establecimiento, mantenimiento y actualización del **Marco de Referencia Geodésico Nacional**. Este marco sirve de base para las actividades de **provincias, municipios, catastros, organismos públicos y entidades privadas**.

Durante **2005**, comenzaron las mediciones para actualizar el **Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 07 (Posiciones Geodésicas Argentinas 2007)**, el cual se vinculó con los marcos de referencia internacionales **ITRF05** y **SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas)**.

La solución final, publicada en **2009**, incluyó:

- **178 coordenadas materializadas sobre pilares en el terreno.**
- **500 puntos medidos**, utilizados para calcular parámetros de transformación.
- **Integración de todas las Redes Geodésicas de Argentina en un único Marco de Referencia.**
- **Creación de una red nacional con aproximadamente 4.500 puntos.**

Estos avances han fortalecido la precisión en estudios geodésicos, mejorando el posicionamiento y la cartografía nacional.

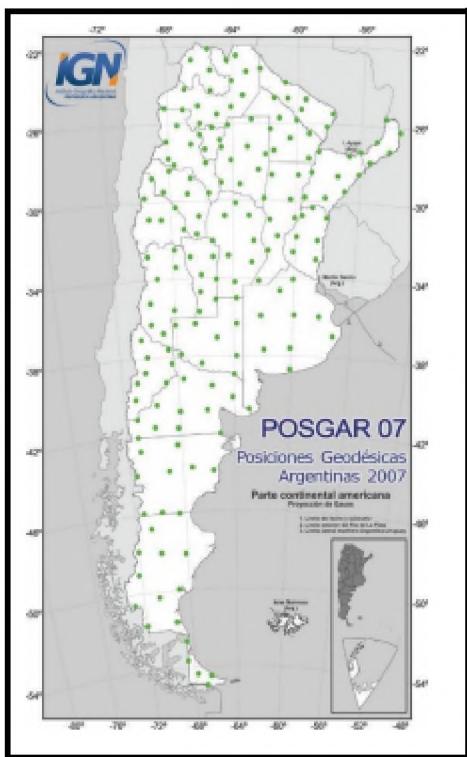


Imagen N° 91 - Red POSGAR 07- Fuente: IGN

Sistemas de Proyección

La transformación de un espacio tridimensional en uno bidimensional es lo que se conoce como “proyección”. Las fórmulas de proyección son expresiones matemáticas que se utilizan para convertir los datos de posiciones geográficas (latitud y longitud) sobre una superficie curva en posiciones sobre una superficie plana. Este proceso distorsiona al menos una de las siguientes propiedades: forma, superficie o distancia. Los mapas conformes conservan las formas locales, mapas equivalentes mantienen todas las áreas a la misma escala y los mapas equidistantes conservan las distancias.

La mayoría de los sistemas de proyección pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de superficie de proyección a utilizar: cónica, cilíndrica o plana, tal como se muestra en las imágenes N° 92, 93 y 94.

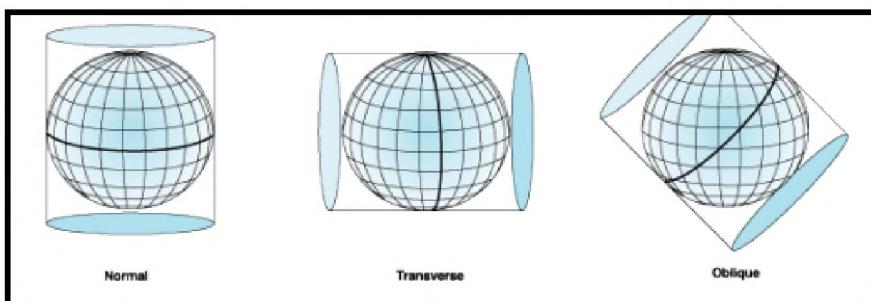


Imagen N°92 - Tipos de proyecciones cilíndricas - Fuente: ArcGIS Desktop

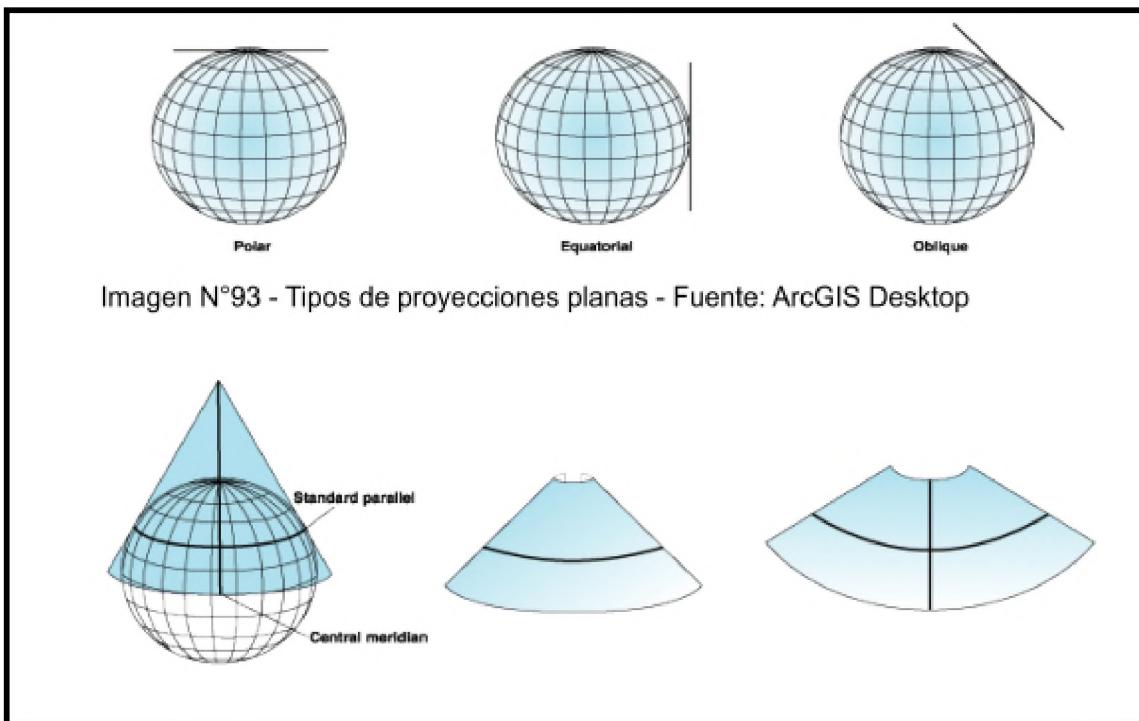


Imagen N°94 - Tipos de proyecciones cónicas - Fuente:ArcGIS Desktop

La llamada proyección UTM (Universal Transversa Mercator) corresponde a un sistema de proyección cilíndrico transversal, conforme a nivel local. En este sistema el globo se divide en 60 zonas o husos, cada una abarcando 6° de longitud. Cada zona tiene su meridiano central. Los límites en el eje ordenado se establecen en 84° N y 80° S (Imagen N° 65).

La escala es 0.9996 en el meridiano central y a lo más 1.0004 en los bordes de la zona. Las coordenadas UTM están definidas en metros, y se fija la coordenada X del meridiano central en 500.000 m, y la coordenada del ecuador (eje Y) se fija en 10.000.000 m bajando hacia el Polo Sur (hemisferio sur). Típicamente las coordenadas UTM tienen 6 dígitos en el eje "X" y 7 dígitos en el eje "Y".

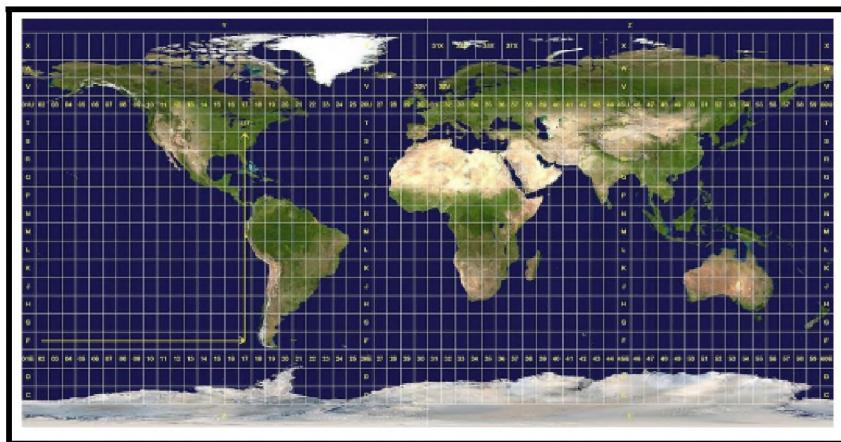


Imagen N°95 - Husos y Zonas UTM - Fuente: Wikipedia

Sistema de Proyección Gauss-Kruger

La proyección **Gauss-Kruger** es la más utilizada por el **Instituto Geográfico Nacional (IGN)** para representar la **República Argentina** y las **Islas Malvinas**, en escalas que van desde **1:25.000 hasta 1:500.000**. Se trata de una **proyección conforme, cilíndrica, transversal y tangente**, que constituye un caso particular de la **proyección Transversa de Mercator**.

Características Principales

Para minimizar **deformaciones**, en Argentina se han adoptado **siete sistemas de fajas meridianas**, separadas cada 3° , con sus orígenes de latitud ubicados en el **Polo Sur**. La determinación del **meridiano central de cada faja** se realiza mediante un coeficiente denominado **característica de faja**, que:

- Se multiplica por 1.000.000 m.
- Se suma un valor arbitrario de 500.000 m.

La condición de **tangencia** en la proyección implica el uso de un **factor de deformación igual a 1** sobre el meridiano central, garantizando la conservación de ángulos.

Funcionamiento del Sistema de Coordenadas

La proyección **Gauss-Kruger** utiliza un **cilindro de sección elíptica**, tangente a un **meridiano central específico**, sobre el cual se proyectan las coordenadas **geodésicas de latitud y longitud**. Sin embargo, las **deformaciones aumentan** conforme uno se aleja del meridiano central. Para evitar distorsiones excesivas, en Argentina se han definido **fajas con diferentes meridianos centrales**.

Este sistema de coordenadas planas se construye mediante:

- **X (gk)**: Medida desde el **Polo Sur**, siguiendo el **meridiano central**.
- **Y (gk)**: Medida desde el **meridiano central hacia el Este**, sumando **500.000 m** a todos los valores para mantenerlos positivos dentro de cada faja.

La numeración de las **fajas** se asigna de acuerdo con su **meridiano central**:

- **Faja 1** → Meridiano central **72°**.
- **Faja 2** → Meridiano central **69°**.
- **Faja 3** → Meridiano central **66°**.
- Y así sucesivamente.

Este sistema es ampliamente utilizado en Argentina para **cartografía oficial, planificación territorial y mediciones geodésicas**, garantizando precisión y conservación angular en representaciones de grandes extensiones.

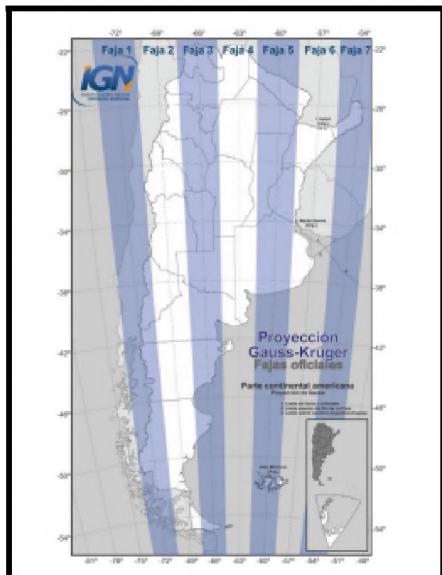


Imagen N°96 - Proyección Gauss Kruger- Fuente: IGN

Posicionamiento Espacial

Determinación de la Posición en Geodesia

La **determinación de la posición con confiabilidad relativa** es uno de los principales desafíos en geodesia y el objetivo fundamental de los sistemas de referencia. Este concepto se basa en la utilización de **ondas electromagnéticas** enviadas o reflejadas por objetos en órbita, permitiendo la ubicación precisa de puntos sobre la superficie terrestre.

El establecimiento de coordenadas en el **sistema de referencia geodésico seleccionado (DATUM)** es esencial para definir la posición de un objeto o punto con relación al mundo real. La capacidad de obtener **posicionamiento con exactitud repetible** es clave en cartografía, navegación y estudios geoespaciales.

Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS)

El **Global Navigation Satellite System (GNSS)** es una **constelación de satélites** que emite señales utilizadas para posicionamiento y localización en **tierra, mar y aire**. Este sistema permite determinar **coordenadas geográficas y altitud**, siendo ampliamente utilizado en navegación, transporte, geodesia, hidrografía y agricultura, entre otras aplicaciones.

Un sistema de navegación basado en satélites proporciona información precisa sobre **posición y tiempo en cuatro dimensiones**, operando de manera continua las **24 horas del día** en cualquier condición meteorológica.

Principales Sistemas GNSS

Actualmente, los sistemas operativos dentro del concepto **GNSS** incluyen:

- **Sistema de Posicionamiento Global (GPS)** de Estados Unidos.
- **Sistema Mundial de Navegación por Satélite (GLONASS)** de Rusia.

Además, organismos como el **Panel de Sistemas de Navegación (NPS)** estudian la incorporación de otros sistemas:

- **Galileo** (Unión Europea).
- **BeiDou/Compass Navigation Test System (BNTS)** (China).
- **Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)** (Japón).
- **Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS)** (India).

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El **NAVSTAR-GPS** ("NAVigation System and Ranging - Global Positioning System") es un sistema de **radionavegación satelital** que utiliza mediciones precisas para determinar posición y tiempo en cualquier parte del mundo.

Características Principales

- Operado por el **Departamento de Defensa de EE.UU..**
- Posee un **error nominal de posicionamiento** de aproximadamente **15 metros**.
- Consta de **32 satélites** en órbita a **20.200 km** sobre **seis planos orbitales** con una inclinación de **55 grados**.

- El número de satélites varía según su ciclo de vida y reemplazos periódicos.

Sistema GLONASS

El **Global Navigation Satellite System (GLONASS)** de Rusia permite determinaciones tridimensionales de **posición y velocidad** mediante mediciones de **tiempo de tránsito y desviación Doppler** de señales de radiofrecuencia.

Este sistema, operado por el **Ministerio de Defensa de Rusia**, ha sido utilizado en combinación con receptores comerciales de GPS. Aunque perdió operatividad tras la disolución de la Unión Soviética, actualmente **GLONASS ha sido restaurado y opera plenamente**.

Métodos de Posicionamiento GNSS

El GNSS permite diversas técnicas de posicionamiento, dependiendo de la **instrumentación utilizada, la precisión requerida y el procesamiento de los datos**.

Clasificación según el tipo de observable

- **CÓDIGO (Pseudodistancias):**
 - Registra pseudodistancias a los satélites.
 - Utiliza receptores de código C/A y P.
 - Ofrece **precisión métrica**.
- **FASE:**
 - Registra pseudodistancias y fase de señal.
 - Posee **precisión centimétrica o milimétrica**.

Clasificación según la cantidad de receptores

- **Autónomo:** Utiliza un solo receptor.
- **Relativo o Diferencial:** Emplea dos o más receptores.

Clasificación según el movimiento de los receptores

- **Estático:**
 - El receptor permanece **fijo** durante un período prolongado.
 - Variante **Estático rápido**: sesiones de observación de aproximadamente **10 minutos**.
- **Cinemático:**
 - El receptor se encuentra **en movimiento**, capturando datos de forma continua.
 - Variante **Stop and Go**: observaciones en puntos específicos de interés.

Clasificación según el procesamiento de datos

- **Postproceso (PPK):** Las coordenadas y líneas base se calculan **después** de la observación.
- **Tiempo Real (RTK):** Las coordenadas se **determinan en el momento** de la observación.

Planificación de Observaciones GNSS

Cualquier **levantamiento topográfico**, ya sea con técnicas clásicas o GNSS, requiere **planificación previa** para optimizar tiempos, costos y garantizar la precisión de los resultados.

Elementos clave en la planificación

1. **Selección de puntos de observación.**
2. **Ventanas de observación** (periodos óptimos para captura de datos).
3. **Tiempos de observación** según la técnica utilizada.

Si bien en la década de 1990 era esencial analizar la disponibilidad de satélites en un área específica, en la actualidad **cualquier ubicación del planeta garantiza al menos 6 o 7 satélites visibles**, reduciendo la necesidad de planificación específica en este aspecto.

12 – BIBLIOGRAFÍA

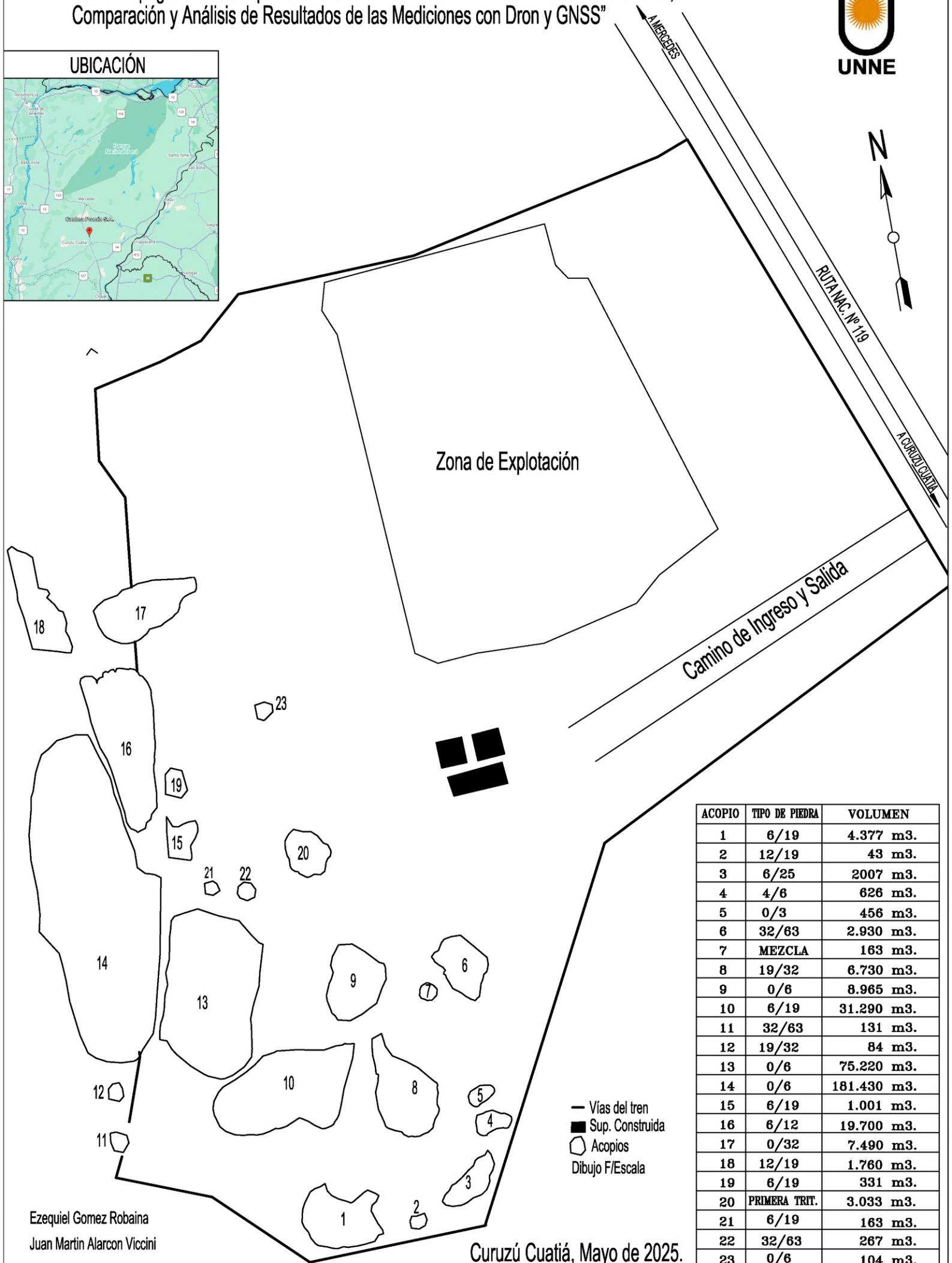
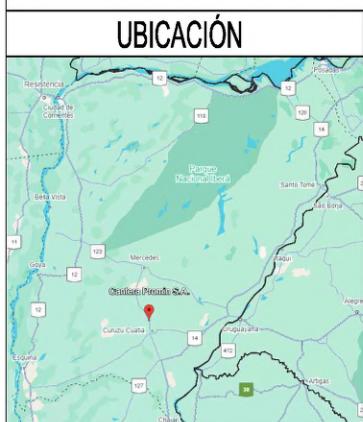
- Apuntes de la cátedra de Fotogrametría (2024).
- Apuntes de la cátedra de Geodesia Física y Global (2024).
- Apuntes de la cátedra de Sistemas de Información Territorial (2024).
- Página web del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Página web de PROMIN S.A.
- Manual Trimble Business Center 5.2.
- Manual Pix4D Mapper.
- Burrough, P.A. (1986) Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.
- Paul R. Wolf; Russell C. Brinker (1997) Elementary Surveying.

<https://elconstructor.com/produccion-de-basalto-de-corrientes/>

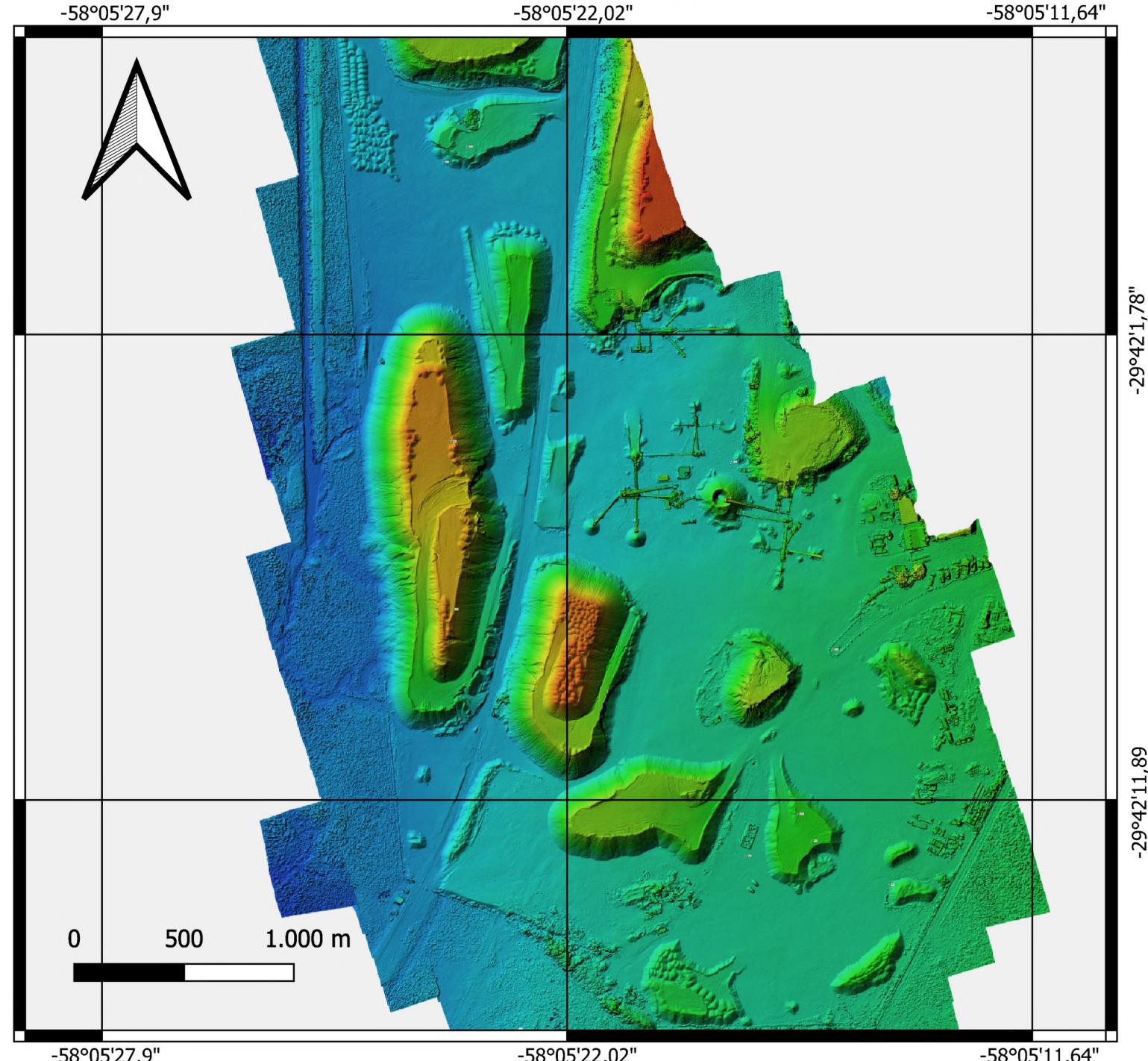
<https://idc.apddrones.com/educacion/planificacion-de-vuelo-con-drones/>

<https://curuzu.gob.ar/wp/la-ciudad/>

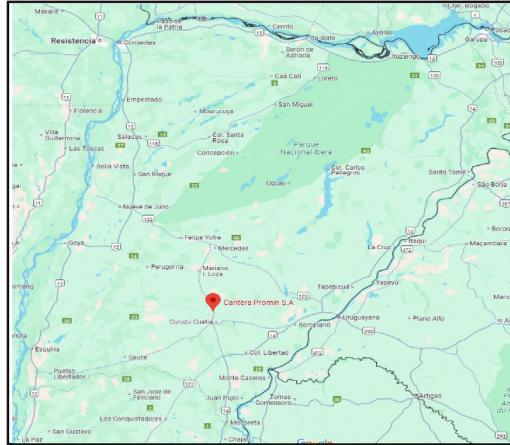
"Relevamiento topográfico de Acopio en una Cantera de Curuzú Cuatiá: Cálculo del Volumen, Comparación y Análisis de Resultados de las Mediciones con Dron y GNSS"



Relevamiento Topográfico de Acopio en una Cantera de Curuzú Cuatiá: Cálculo del Volumen, Comparación y Análisis de Resultados de las Mediciones con Dron y GNSS



UBICACIÓN



MDE - REFERENCIAS SISTEMA DE COORDENADAS:

EPSG: 4328 - WGS 84

Altitudes (m):

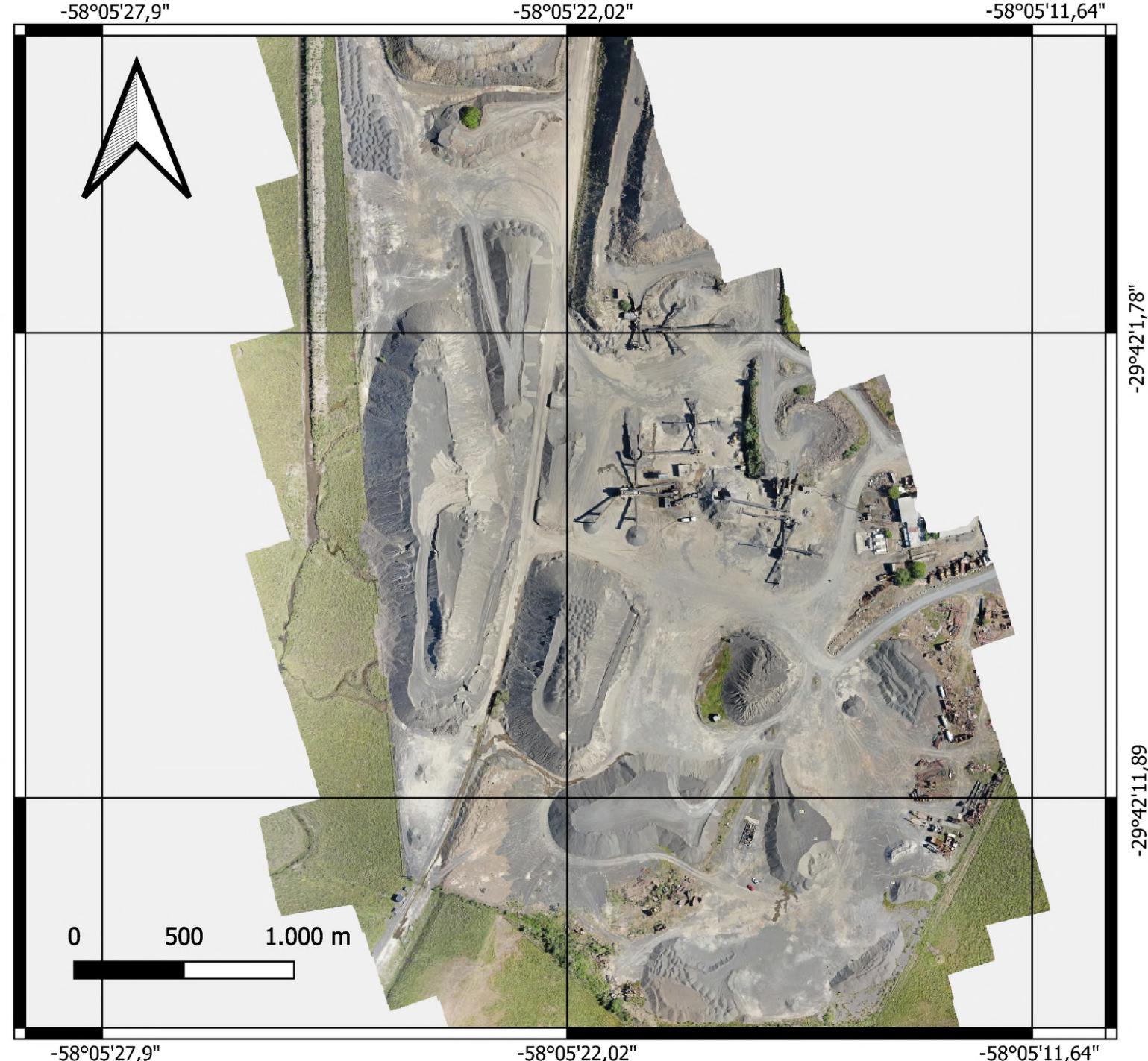
- >122
- 118-122
- 114-118
- 110-114
- 106-110
- 102-106
- 98-102
- 94-98

ESCALA 1:40000

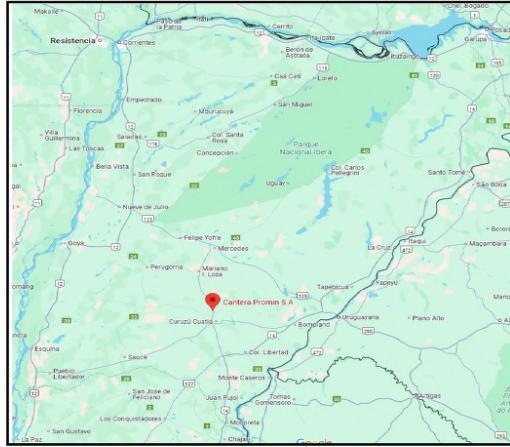
Ezequiel Gomez Robaina
Juan Martin Alarcon Viccini

Año: 2025

Relevamiento Topográfico de Acopio en una Cantera de Curuzú Cuatiá: Cálculo del Volumen, Comparación y Análisis de Resultados de las Mediciones con Dron y GNSS



UBICACIÓN



ORTOMOSAICO

REFERENCIAS

SISTEMA DE COORDENADAS:

EPSG: 4328 - WGS 84

ESCALA 1:40000

Ezequiel Gomez Robaina
Juan Martin Alarcon Viccini

Año: 2025