

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería de Olavarría
Ingeniería en Agrimensura

PROYECTO FINAL DE CARRERA

ANÁLISIS DE MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN PARA RELEVAMIENTO URBANO Y SU APLICACIÓN.

2021

Alumnos: LISSARRAGUE, Nicolás
SILVERII, Camila
Tutor: MORIS, Daniel Omar
Cotutor: LEONETTI, Ángela María

AGRADECIMIENTOS

Carlos Melitón, por el acompañamiento, apoyo, motivación y compromiso durante la carrera. Por enseñarnos y transmitirnos todos sus conocimientos, tanto profesionales como personales.

Daniel Moris y Angela Leonetti por la predisposición, apoyo y la enseñanza durante la carrera y el Proyecto Final.

Luis Polli por la disponibilidad ante las tareas de campaña y compromiso frente a inquietudes en las materias específicas.

Lucia Brockerhof por la transmisión de conocimientos y experiencias. Por la disponibilidad ante consultas en cualquier momento.

Facultad de Ingeniería de Olavarría, por ser pública y gratuita; y brindarnos una excelente calidad educativa.

Compañeros de la Facultad, y amigos, por ser pilares importantes en la formación académica y personal.

Familia por el apoyo, confianza, y optimismo en los buenos y malos momentos. Por ser una pieza importante para lograr nuestros objetivos.

INDICE

1.	Introducción	5
2.	Objetivo	6
3.	Marco Teórico.....	7
3.1	Evolución en los sistemas de medición	7
3.2	Definiciones	8
3.3	Instrumentales.....	10
3.3.1	Metroláser.....	10
3.3.2	GPS.....	10
3.3.3	Estación Total.....	14
3.3.4	Drone.....	15
3.4	Plano de Mensura	20
4.	Aplicación	21
4.1	Ubicación y Búsqueda de Antecedentes	22
4.2	Relevamiento	28
4.2.1	GNSS	28
4.2.2	Estación Total.....	29
4.2.3	Metroláser.....	30
4.2.4	Fotogrametría	30
5.	Resultados.....	44
5.1	Análisis de Superposición	44
5.2	Comparación de Ortomosaicos	47
5.2.1	Análisis analítico	53
5.3	Confección de Plano de Mensura.....	54
6.	Conclusiones	56
7.	Bibliografía.....	59
8.	Anexos	60
8.1	Instrumental.....	60
8.1.1	Equipo GNSS Kolida - Modelo: K20s	60
8.1.2	Estación Total Leica - Modelo: TCR 307	60
8.1.3	Drone eBee - Modelo SenseFly.....	61
8.1.4	Drone Phantom 4 - Modelo pro v2.....	62
8.1.5	Distanciómetro Leica - Modelo: D510.....	62

8.2 Ortomosaicos	63
8.2.1 Vuelo 1 eBee SenseFly – Resolución 1,3 cm/px	63
8.2.2 Vuelo 2 Phantom 4 pro v2– Resolución 2,2 cm/px	68
8.2.3 Vuelo 3 Phantom 4 pro v2– Resolución 3,2 cm/px	76
8.3 Calculo de errores.	83
8.4 Informe de Procesamiento.....	85
8.5 Plano de Mensura.....	90

1. Introducción

El Ingeniero Agrimensor interpreta, mide y representa la información territorial, con el objeto de proveer datos para la evaluación, explotación y transporte de recursos productivos, ordenamiento, certificación y registro de derechos que otorgue la ley a las personas sobre dichos espacios. Se ocupa de las relaciones entre el hombre y la tierra, que incluyen aspectos técnicos, jurídicos y económicos, que hacen a la descripción de la posición, morfología, uso, dominio, posesión, etc. de los objetos territoriales. Posee conocimientos jurídico-legales relacionados con los derechos que se corresponden con los inmuebles. Aplica, genera y combina las técnicas adecuadas para captar, procesar, ordenar y vincular la información territorial, generando documentos y productos aptos para describir el relieve y los accidentes naturales y artificiales del terreno, así como los títulos invocados y la posesión ejercida sobre los inmuebles. El Ingeniero Agrimensor, se ocupa de todo lo relativo a los límites, ordenamiento territorial y problemas semejantes, pudiendo actuar también como perito.

A lo largo de la historia de la Agrimensura se han desarrollado métodos de medición del territorio y han surgido nuevas tecnologías con el objetivo de hacer más prácticas y precisas dichas mediciones.

Estas nuevas tecnologías han tenido una fuerte influencia en el ejercicio de la profesión. Algunas de ellas son Estación Total, GPS, AutoCAD, Sistemas de Información Geográfica, Imágenes Satelitales, Drones y Tecnología Lidar, entre otras.

La aplicación del arte de medir se puede pensar en dos periodos, uno se caracteriza por la utilización de herramientas clásicas de la topografía, que abarca la cinta métrica, el teodolito, y posteriormente en la modernidad, la Estación Total, el GPS, el uso de Drones, que han revolucionado la práctica en la agrimensura.

2. Objetivo

El presente proyecto final de carrera tiene como objetivo analizar la aplicación de la fotogrametría, en los relevamientos catastrales para tareas de mensura. Para ello se utilizarán drones de ala fija y multirrotores, realizando vuelos a diferentes resoluciones espaciales con el objetivo de volar a distintas alturas. De esta manera se analizará las ventajas y desventajas como complemento en las tareas antes descritas y su alcance dentro de las mismas.

Para ello se realiza una mensura urbana utilizando los instrumentos de medición como Metroláser, Equipo GNSS y Estación Total, complementando con vuelos fotogramétricos el relevamiento catastral.

3. Marco Teórico

3.1 Evolución en los sistemas de medición

Uno de los primeros ejemplos de medición de terrenos conocido acerca de la propiedad de tierras es el “Registros de terrenos egipcios” creado alrededor del año 3000 a.C. Este detalla las áreas de terreno de los propietarios y su ubicación. También gracias al historiador Heródoto, se conoce que, en el antiguo Egipto, técnicos llamados “estiradores de cuerdas”, utilizaban cuerdas de longitudes conocidas para poder replantar los límites de las propiedades después de las crecidas del Nilo, asignando luego a cada agricultor el área que le correspondía tal cual había sido relevada previo a la subida del Río. Sus herramientas básicas eran la plomada, una varilla de codo para mediciones cortas y una cuerda de calibración de 100 codos para mediciones largas.

Luego de miles de años, en el continente americano, cuando comenzaron a practicarse las mensuras, resultó difícil su materialización, en especial cuando se debían considerar los rumbos de los límites, por lo que en el año 1.610 aparece el primer instrumento a utilizar llamado “cadena de agrimensor”, reemplazado poco tiempo después por la cinta métrica de acero, utilizada muchos años, hasta que aparecieron los primeros distanciómetros electro-ópticos.

Además de medir distancias, otro problema a resolver era la medición de ángulos, que si bien la brújula era apta por diferencia de rumbos, no era confiable. Este problema fue resuelto con la aparición del teodolito, en el año 1.720, con 4 tornillos calantes.

Los constructores de teodolitos tuvieron problemas con la división de círculos, es decir la alidada. Pasaron de ser de bronce, luego plata y por último de cristal generando exactitud a la hora de medir ángulos.

Luego de la segunda guerra mundial el avance tecnológico favoreció a la agrimensura fuertemente mejorando las precisiones para medir distancias, ángulos y fijar posiciones geográficas de puntos sobre el territorio.

El método de medición más utilizado fue la poligonal topográfica con teodolito y una cinta de acero, dicho método es poco uniforme debido a la exactitud.

Se trató de mejorar este problema con el método de la triangulación, midiendo pocos lados y todos los ángulos en los levantamientos territoriales.

En la década del cincuenta, se desarrollan los distanciómetros electroópticos y luego los electrónicos alcanzando exactitudes buenas en relación a la medición indirecta de gran distancia. Nace la trilateración, a partir de tres lados de un triángulo se calculan los elementos que lo comprenden.

Si hablamos de Geodesia, se reemplazó la triangulación por la poligonal geodésica. Cabe aclarar que, en el comienzo de la misma se hablaba desde un marco teórico, que luego con el avance de la tecnología se llevó a la práctica utilizando distanciómetros y teodolitos de segundos, sumado a la intervención de computadoras.

Luego aparecieron las estaciones totales que facilitaron la observación del terreno, con un problema de exigencia de intervisibilidad entre los puntos. Lo contrario sucede con el posicionamiento de puntos sobre la esfera terrestre medidos astronómicamente, que se liberan del problema mencionado anteriormente, si se limitan a exactitudes posibles. Es de conocimiento que un segundo de arco como error angular, significa una incertidumbre de aproximadamente 30 metros en la posición de un punto.

Hace un par de décadas que se tiene en cuenta un procedimiento satelital llamado "Sistema de Posicionamiento Global" (G.P.S.) generando exactitudes altas en mediciones geodésicas.

El 4 de octubre de 1.957, la Unión Soviética lanza el primer satélite ruso, "SPUTNIK I", con fines destinados a la navegación. Y como consecuencia de la Guerra Fría, Estados Unidos, en 1.958, desarrolla el programa satelital "TRANSIT". Luego el Departamento de Defensa de los Estados Unidos desarrolla el "sistema de navegación por tiempo y distancia", llamado NAVSTAR, autorizado para uso civil.

Así comienza una era satelital, donde en el año 1.993, se declara operacional para métodos de aplicación en Geodesia y Topografía, para la utilización de la Geometría Territorial.

Del mismo modo que las nuevas tecnologías, el desarrollo de drones, en su siglo y medio de existencia, se ha empleado en las diferentes batallas armamentísticas, para bombardear, espiar, confundir al enemigo y fotografiarlo.

Los primeros usos registrados fueron en el año 1.849 con globos aerostáticos no tripulados montados con bombas en la ciudad de Venecia. Después de la Guerra Civil en Estados Unidos, fuerzas de la Confederación y de la Unión volaban globos para misiones de reconocimiento. En 1.896 se desarrolló una serie de aeronaves a vapor, aviones sin piloto. La práctica de la vigilancia, surgió más tarde en la Guerra Hispano-Americana de 1.898, cuando los militares de EE.UU. equiparon una cámara a un cometa, dando lugar a una de las primeras fotografías de reconocimiento aéreo.

Como se menciona anteriormente, las guerras dieron impulso a las nuevas tecnologías, siendo los Vehículos Aéreos No Tripulados no ajenos a esto, usados tanto para estrategia e información como para el enfrentamiento bélico. Hoy en día también se aplican para uso civil como estudio de suelos, investigaciones, rescates y fotogrametría. Esta última se utiliza para creación de modelos 3D, mosaicos, entre otros usos, que acompañados con el avance de las cámaras se puede obtener mejores resultados.

3.2 Definiciones

Para lograr el objetivo, primero se debe reconocer algunos términos que servirán de apoyo para el entendimiento de este proyecto:

Realizar una Mensura es una actividad técnica - legal que tiene como objeto determinar en el terreno los límites dominiales. Esto depende si hay o no hechos existentes. Si no los hay, se realiza un amojonamiento, y si existieran signos visibles

y permanentes, se confrontan estos mismos con lo que enuncia el título de propiedad.

Cuando se habla de técnica, se hace referencia a toda medición en el lugar del relevamiento, y el término legal, se refiere al análisis que se lleva a cabo con respecto a los títulos de propiedad, es decir, que cumpla con las normativas vigentes luego de confrontar dicha medición.

Por lo tanto, se puede decir que *“La Mensura es la operación de agrimensura que tiene por finalidad la confrontación entre el replanteo del polígono individualizado por el título, y el relevamiento de los signos aparentes de la posesión ejercida por el comitente, con arreglo a las disposiciones vigentes en el ámbito territorial al que pertenece el inmueble”*. (Apunte Cátedra, Agrimensura Legal II, UNCPBA).

Una de las finalidades del agrimensor en la mensura, es cotejar la ubicación de aquellos signos que aparentan demostrar la extensión de la posesión ejercida, con la ubicación que correspondería a los límites emergentes del título de propiedad.

El organismo que regula a los profesionales de la Agrimensura es el Consejo Profesional de Agrimensura de la Provincia de Buenos Aires. Es la entidad paraestatal de derecho público, creada por la Ley 10.321, que gobierna la matrícula, reglamenta el ejercicio de la profesión y tiene potestad disciplinaria sobre la actividad de la Agrimensura en la Provincia. Sus órganos directivos son: Asamblea, Consejo Superior y Tribunal de Disciplina. Los Colegios de Distritos son las jurisdicciones del territorio de la Provincia de Buenos Aires en que se divide el gobierno y la administración del Consejo Profesional de Agrimensura. Olavarría pertenece al Distrito II, cuya sede se encuentra en la Ciudad de Azul.

La Ley de Catastro Territorial de la provincia de Buenos Aires, Ley 10.707, es el registro del estado de hecho de la cosa inmueble, relacionado al derecho de propiedad emergente de los respectivos títulos o la posesión ejercida. Además, define lo que significa una parcela en su artículo 4°. Este expresa,

“A los efectos de esta Ley, denominase parcela a la cosa inmueble de extensión territorial continua, deslindado por una poligonal cerrada, perteneciente a un propietario o a varios en condominio, o poseído por una persona o por varias en común, cuya existencia y elementos esenciales consten en un plano registrado en el organismo catastral”.

En su artículo 5° hace referencia a los elementos esenciales de la misma, la cual se diferencian en esenciales, como la ubicación georreferenciada del inmueble, los límites en relación a las causas jurídicas que les dan origen y medidas lineales, angulares y superficiales. Y elementos complementarios incluye la valuación fiscal y linderos.

3.3 Instrumentales

Para realizar el relevamiento urbano y la confección del plano de mensura, se trabaja con los siguientes instrumentales, que presentan determinadas características:

3.3.1 Metroláser

A partir del avance de la tecnología en el mundo, se descubrió la medición electrónica de distancias.

Se los considera esenciales para levantamientos topográficos. Con ellos se pueden obtener medidas de altura, volumen o inclinación. En la tarea de mensura, son útiles, para levantar detalles constructivos dentro de la parcela, vinculación de edificaciones, ancho de calles, lugares de difícil acceso. Además, es de suma importancia y validez poder obtener medidas en tiempo real.

Actualmente, los modelos han evolucionado y los más sencillos tienen un margen de error máximo de 3 milímetros por cada 15 metros. Pero los modelos profesionales son mucho más precisos, con un margen de error, anunciado por fabricantes, de apenas 1,5 milímetros por cada 100 metros.

3.3.2 GPS

“GPS, Sistema de Posicionamiento Global, tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del mundo, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día.” (Huerta, Mangiaterra y Noguera, 2005)

Para la obtención de coordenadas, el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias a cuatro satélites como mínimo, de coordenadas conocidas. Estas distancias se obtienen a partir de las señales emitidas por los satélites, las que son recibidas por receptores especialmente diseñados. Las coordenadas de los satélites son provistas al receptor por el sistema del posicionamiento global.

“El sistema GPS, ofrece una nueva visión y concepción acerca del posicionamiento sobre la superficie de la Tierra. Las notables mejoras técnicas y la reducción en los costos de la tecnología GPS, proliferaron su uso, tanto en el ámbito civil como el militar.”

En la actualidad, los marcos de referencia están siendo definidos con mucha precisión a través de las estaciones permanentes instaladas sobre el planeta, las que reciben en forma continua datos provenientes de las constelaciones de satélites NAVSTAR y GLONASS. El sistema es denominado por sus siglas en inglés GNSS (Global Navigation Satellite System), y las estaciones son las que materializan los marcos de referencia a nivel mundial.

Conforme con la tendencia internacional, en el año 1.998, Argentina generó un Proyecto que consiste en la instalación de estaciones GNSS permanentes que permitan contribuir a materializar el Marco de Referencia Geodésico Nacional. El Proyecto se denomina Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC).” (Introducción | Instituto Geográfico Nacional, n.d.).

Sistema de Referencia

Es un soporte matemático para asignar coordenadas a puntos medidos sobre la superficie terrestre. Parte de definiciones teóricas y convencionales basadas en mediciones.

Es necesario definirlos para establecer la posición de puntos que respondan a un Sistema de Coordenadas con un origen, una orientación y una escala que sea accesible para todos los usuarios.

Sistema Local

Se define un punto Datum donde coincide la normal al elipsoide y al geoide (Origen). Se le dice local ya que cambia con la posición geográfica del punto Datum. Es un sistema planimétrico sin tener en cuenta la altura. Figura 1.

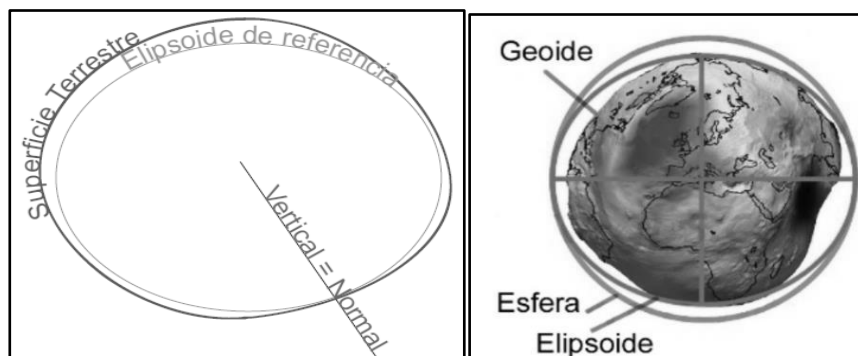


Figura 1. Elipsoide y Geoide. Fuente: <http://www.albireotopografia.es/>

Sistema Global

Se determina una terna de ejes cartesianos ortogonales, cuyo origen coincide con el centro de masas terrestre (Figura 2):

- El Origen es coincidente con el geocentro (centro de masa de la Tierra).
- Eje Z, es paralelo a la dirección del polo para una época determinada.
- Eje X, es coincidente con el plano meridiano de Greenwich para una época determinada.
- Eje Y, es situado en el plano ecuatorial y perpendicular al plano XZ.
- Coordenadas cartesianas tridimensionales XYZ

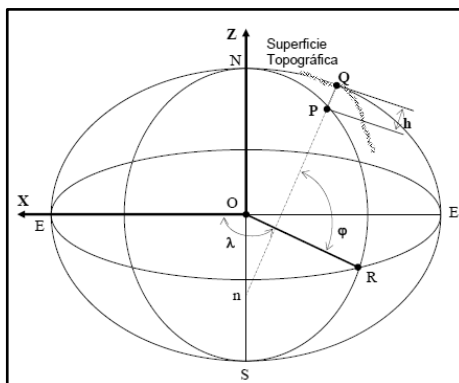


Figura 2. Sistema global, tres ejes cartesianos.

Fuente: Geometría del Elipsoide, Apunte Cátedra, Geodesia II.

Marco de Referencia

Un Marco de Referencia es la materialización de un Sistema de Referencia mediante mediciones. Constituido por las coordenadas de una red de puntos que lo definen. Las coordenadas de los mismos son consistentes entre sí para una época en particular.

A partir de 1.993 se establece la red SIRGAS (South American Geocentric Reference System) que define un sistema de referencia para América del Sur mediante una red de estaciones (G.P.S.) distribuidas en los países americanos. Este sistema de referencia geocéntrico para las Américas provee las coordenadas de referencia para todos los fines topográficos y geodésicos. SIRGAS crece rápidamente en su número de estaciones y se posiciona entre los mejores marcos de referencia del planeta.

Actualmente, en Argentina, POSGAR 07 constituye la materialización sobre el Territorio Nacional del Marco de Referencia Geodésico Internacional IGS05 y de su densificación regional SIRGAS (solución DGF08P01), para la época 2006.632, adoptando el elipsoide de referencia WGS84. En este sentido, POSGAR 07 está alineado con los estándares dispuestos por la Asociación Internacional de Geodesia y el Subcomité de Geodesia de las Naciones Unidas.

Georreferenciación

Si bien la aplicación de este trabajo se realiza para una parcela urbana, y no existe normativa que exige una vinculación para dicha parcela, cabe aclarar que para una mensura rural existe una Disposición N° 384/2009 que implementa la vinculación a la red Geodésica de Alta Precisión de la Provincia de Buenos Aires (REDGEOBA).

La georreferenciación de un inmueble consiste en la determinación de las coordenadas geodésicas de todos sus vértices en un Marco de Referencia Geodésico

Global (POSGAR 07) que incluye todas las estaciones GPS/GNSS de la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo (RAMSAC).

Para vincular una parcela a la Red POSGAR, se requiere de dos mediciones diferenciales con equipos GPS/GNSS. Una de ellas será una Estación Permanente, coincidente con la Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo y la otra será el receptor GPS/GNSS ubicado en un punto dentro de la parcela en cuestión.

Se realiza el método de medición estático con un receptor de doble o simple frecuencia. Dependiendo de esta última característica será el tiempo mínimo que deberá estar midiendo el equipo. Es decir, el tiempo de observación depende de la frecuencia y de la distancia a la que se encuentra la Estación Permanente y el receptor dentro de la parcela, como se observa en la Figura 3.

Las condiciones de aprobación del vector determinado son el tiempo mínimo de observación y que el vector tenga una solución de ambigüedades fija.

Equipo Simple Frecuencia (L1)	
Distancias menores o iguales a 30 Km	0:45 hs
Distancias mayores a 30 Km y menores o iguales a 65 Km	1:30 hs
Distancias mayores a 65 Km y menores o iguales a 100 Km	2:30 hs
Equipo Doble Frecuencia (L1/L2)	
Distancias menores o iguales a 30 Km	0:30 hs
Distancias mayores a 30 Km y menores o iguales a 80 Km	1:00 hs
Distancias mayores a 80 Km y menores o iguales a 150 Km	1:30 hs
Distancias mayores a 150 Km y menores o iguales a 200 Km	2:00 hs

Figura 3. Tiempo de observación. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Métodos de medición

- Estático: Consiste en dos receptores que miden en forma simultánea, se calcula con mucha precisión el vector que separa los dos receptores GPS, uno de los puntos debe tener coordenada conocida, resuelve ambigüedades y determina dos tipos de soluciones fija o flotante.
- RTK: Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 o 2 cm +1ppm). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial, donde el receptor fijo estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el móvil es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real. Sus aplicaciones son muchas en topografía, y van desde levantamientos hasta replanteos en tiempo real.

Errores

Obtener una medida es un proceso y un análisis, que deberá aplicar el interviniente profesional, usando sus conocimientos, y su instrumental, por lo que la medida que se obtenga siempre será una aproximación afectada por algún error, por más pequeño que sea.

Errores sistemáticos

Son aquellos errores sistemáticos que afectan la exactitud de las medidas, y las alejan del valor “exacto” o “verdadero”, más allá de que en general ese valor es en definitiva desconocido en la mayoría de los casos. No debe confundirse exactitud, que depende de los errores sistemáticos, con precisión, que se refiere más bien a la calidad de la medición y depende de otros factores, como son los errores accidentales y la configuración adoptada.

En GPS son típicos los errores sistemáticos de reloj de receptor y satélite, los de efemérides, los que devienen de la propagación atmosférica y el llamado efecto de “multicamino” consistente en la reflexión de las señales en superficies próximas al receptor.

Errores accidentales

Son como consecuencia de repetir una misma medición, aparecen siempre en algún grado de dispersión en los resultados. Surgen de pequeñas variaciones, aun extremando al máximo las precauciones e intentando repetir las condiciones y el mismo método de medición. Se puede estudiar estos errores a través de la “campana de gauss”, el cual se basa en el promedio, en que los errores positivos o negativos son igualmente probables, y que los errores pequeños son más frecuentes que los grandes.

3.3.3 Estación Total

La estación total, es un instrumento electrónico que permite medir una distancia determinada en forma directa. Dicho instrumental resulta de la integración en un solo equipo del sistema electrónico de medida de ángulos y el sistema electroóptico para la medida de distancias, con un microprocesador para el cálculo automático de datos topográficos.

Las estaciones incluyen un distanciómetro infrarrojo convencional para medir con prisma, en el que se debe colocar el instrumento en un punto y un objeto reflector en otro punto determinando la distancia incógnita. Se le indica al equipo que comience a medir y en la pantalla se indica la distancia. Como también un distanciómetro láser que no requiere reflector, facilitando al operador cambiar el método de medición

cuando así lo necesite. Esto ofrece varias ventajas cuando los puntos a medir no son accesibles.

Se lleva a cabo la medición a partir de una emisión de onda, desde un emisor hasta un elemento reflector. Este último depende de la superficie a la cual va direccionado el rayo, que sale de la estación. Pueden ser superficies lisas, que le corresponderá colocarle, por ejemplo, papel adhesivo reflectante. También se utilizan prismas, formados por una pirámide trirectangular de lados isósceles y base equilátera. Figura 4.

Dicho prisma se confecciona de vidrio macizo y el rayo que incide en él llega a la base equilátera y vuelve en dirección paralela a la entrada tras una triple reflexión.



Figura 4. Estación Total y Prisma. Fuente: Elaboración Propia.

3.3.4 Drone

En 1.990 surge la fotogrametría digital, es decir, imágenes digitales. Por este motivo, los restituidores analíticos quedaron atrás, apareciendo computadoras repotencializadas, las cuales resuelven la relación entre coordenadas de puntos medidos sobre la imagen digital y las correspondientes al terreno.

“La Fotogrametría es un método de levantamiento indirecto que permite medir y registrar coordenadas tridimensionales y producir representaciones muy precisas (gráficas o fotográficas) de todo tipo de objeto, cuya imagen o imágenes puedan ser registradas mediante rayos de luz sobre soportes analógicos o digitales” (Cheli, 2011)

Con la fotogrametría se puede realizar documentos puntuales, coordenadas de puntos identificados sobre las imágenes; documentos representativos, como planos y mapas topográficos, curvas de nivel, modelos tridimensionales, mapas

temáticos y documentos texturales, estos pueden ser mosaicos, estereogramas, ortofotos o cartas.

Realizar relevamientos urbanos en la actualidad, permite aplicar diferentes técnicas e instrumentales para una misma medición. Está en el profesional actuante analizar qué técnica e instrumentales son convenientes para optimizar el tiempo y obtener mejores resultados.

Los vehículos aéreos no tripulados son una alternativa interesante y nueva en el campo de la Agrimensura, que empezó a aparecer hace pocos años.

Quién regula a los Vehículos Aéreos no tripulados es la Administración Nacional de Aviación Civil. La cual actúa en calidad de autoridad aeronáutica en la materia a partir de la Resolución ANAC 885 - 2019.

En su artículo 2° menciona: *El presente reglamento prescribe los requisitos generales de operación de los VANT y SVANT que operen en el territorio de la REPÚBLICA ARGENTINA, sus aguas jurisdiccionales, el espacio aéreo que lo cubre y los espacios aéreos extraterritoriales, cuando por convenios internacionales se acuerde que dichos espacios se encuentran bajo jurisdicción de nuestro país.*

Un uso frecuente de este instrumental es obtener información topográfica. Para esto se debe tener algunas consideraciones como medir puntos de apoyo, procesar imágenes y la utilización de un software específico como puede ser Pix4d.

Etapas Del Proceso Fotogramétrico

El proceso fotogramétrico se divide en tres etapas: Planificación, Vuelo y Restitución.

Para la **Planificación** se debe tener en cuenta diferentes variables, ya sea la autonomía de vuelo del avión, el lugar de despegue y de aterrizaje y la cámara a utilizar que debe estar conectada a una unidad de control central. Esta puede ser de toma de datos común, o en distintas bandas del espectro electromagnético. A si mismo se conecta la cámara a una unidad de movimiento inercial, IMU.

Otro factor importante es el periodo o época en donde se toman las fotos, en relación a las condiciones atmosféricas, como también la superposición longitudinal para lograr estereoscopia, y la superposición transversal para unir las fotografías y con ellas lograr un ortomosaico.

Otro concepto esencial es la base de toma, esto se refiere al avance útil sobre el terreno, distancia entre dos exposiciones, que corresponde a la superposición de dos fotografías consecutivas. Figura 5.

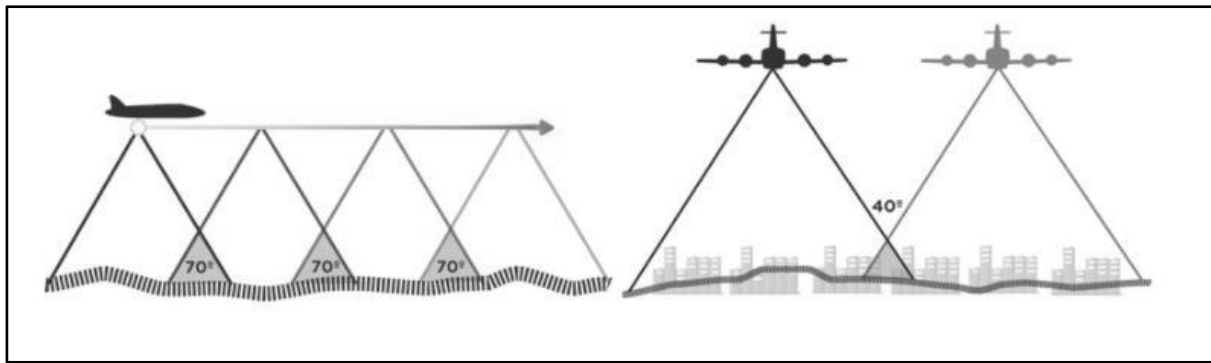


Figura 5. Esquema de superposición. Fuente:

<https://www.buenosaires.gob.ar/planeamiento/estadistica-y-proyeccion-urbana/fotogrametria>.

Un píxel es la unidad mínima que forma una imagen digital. Figura 6.

La determinación de la altura de vuelo va a estar relacionada directamente con la resolución espacial del tamaño de píxel al que se quiera llegar. Para esto se debe tener en cuenta el valor de GSD (Ground Sample Distance), el cual expresa la resolución espacial de la imagen, es decir, el área real que representa un píxel en el terreno, determinando así la resolución del modelo que se requiere.

Cuanto menor sea el valor de la Ground Sample Distance de las imágenes, mayor será la resolución espacial que se consiga en el modelo.

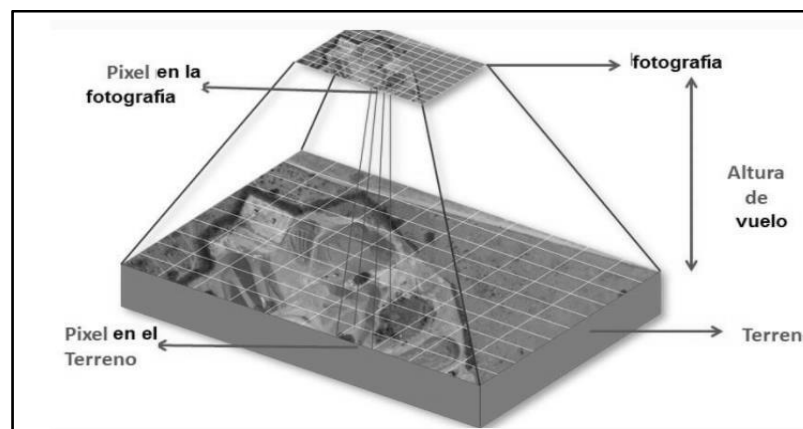


Figura 6. Representación de Pixel. Fuente: <https://alfageomatics.com/>.

Para la determinación de un menor tamaño de píxel, existen dos factores a tener en cuenta:

- La altura de vuelo: A mayor altura de vuelo, mayor superficie cubierta, pero con un menor detalle. Es decir, la GSD aumenta a medida que aumenta la altura de vuelo.
- El sensor y la óptica de la cámara: Una cámara que tiene más megapíxeles, genera un mejor GSD a igual altura de vuelo.

Para conocer con exactitud la localización de la toma de imágenes y asegurar la precisión de la reconstrucción del ortomosaico, se debe colocar en los puntos de apoyo fotogramétrico un equipo GNSS para establecer la localización geográfica de cada punto.

Para estos puntos se debe tener en cuenta las siguientes características:

- Tamaño suficiente y forma adecuada: Como regla general se puede establecer que el tamaño de los PAF debe ser mayor o igual a 10 veces el GSD.
- Centro claramente definido y con suficiente contraste: Lo más importante de los puntos PAF es su centro, se podrá realizar diferentes figuras como, una cruz, un cuadrado dividido en cuadrantes, entre otras. Además, deberá tener contraste de color con respecto al fondo donde está ubicado para encontrarlo fácilmente.
- Apoyados sobre superficies planas: Mejorar la probabilidad de que el punto de control se vea completo y con suficiente tamaño. Además, se considera, a la hora de ubicarlos, que estén dentro de la zona estereoscópica evitando los bordes.

El criterio en el número y localización de los puntos de control depende de muchos aspectos, como la superficie a mapear o la morfología del territorio. Se debe tener presente incluir, como mínimo, tres puntos de control para fijar el modelo en sus tres dimensiones X, Y, Z. A partir de ese número de puntos, cualquier dato adicional ayuda a precisar la localización y posicionar la totalidad del mosaico.

Una vez hecha la planificación se realiza el **Vuelo**. Se elige un día con condiciones climáticas óptimas, y se examina que alrededor de donde se efectúa el vuelo no se encuentren antenas, edificaciones altas que condicionen la altura de vuelo.

Una vez resuelto el vuelo, se procede a realizar la **Restitución** fotogramétrica, la cual consta de tres partes: Orientación Interna, Orientación Relativa y Orientación Absoluta.

La orientación interna digital, se refiere, a que las cámaras digitales capturan imágenes orientadas internamente, es decir, la posición de cada pixel en el plano focal es conocida y estable en relación al sistema óptico que dio origen a la imagen. Por lo que no es necesario realizar esta orientación.

La orientación relativa analógica tiene como objetivo lograr que el par de imágenes tenga la misma orientación recíproca que tenía en el instante de la toma y como consecuencia formar un modelo tridimensional.

Si se logra la intersección de pares de rayos en cinco puntos elegidos convenientemente sobre la zona estereoscópica, más un sexto, como control (llamado punto de Von Gruber), cualquier otro par de rayos también se interceptan.

Para ello se introducen pequeñas rotaciones (κ , φ , ω) y traslaciones (b_x , b_y , b_z) en cada cámara de restitución, Figura 7. De este modo se eliminan los paralajes verticales, logrando la intersección de pares de rayos homólogos.

Como resultado, las cámaras de restitución quedarán con la misma orientación angular relativa que tenían en el momento de la toma, quedando como consecuencia el modelo tridimensional geoméricamente igual al terreno.

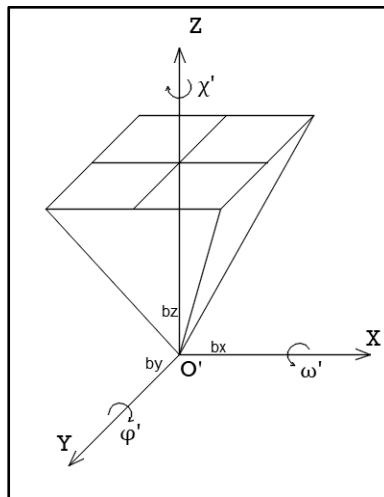


Figura 7. Orientación Relativa.

Fuente: Introducción a la fotografía y su evolución.

La orientación relativa digital hace referencia a una unidad de medición inercial o IMU. Es un dispositivo electrónico que mide e informa acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de un aparato, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos.

De esta manera, cada foto contiene la información de la posición relativa y los giros que tenía al momento de la toma, resolviendo de manera automática la orientación relativa.

Una vez que se logra la orientación relativa, se obtiene como resultado “una maqueta virtual” del terreno, en la que los detalles artificiales y naturales tienen su verdadera forma y ubicación relativa entre ellos.

Aún se desconoce su escala, el origen de sus coordenadas, su orientación con respecto al norte y su inclinación con respecto a un plano horizontal de referencia.

Es decir que la maqueta no está georreferenciada con respecto a un sistema de coordenadas del espacio - objeto (Coordenadas nacionales o locales).

La orientación absoluta, tiene por objeto establecer la relación entre el sistema de coordenadas del modelo y el sistema de coordenadas del espacio - objeto. Para ello se recurre a los puntos de apoyo fotogramétrico.

3.4 Plano de Mensura

Una vez que se realiza el relevamiento con diversos instrumentales se puede llevar a cabo el plano de mensura, que será desarrollado más adelante en el presente trabajo. Este mismo se confecciona a partir de la Resolución 56/20, la cual establece una normativa de dibujo.

La resolución menciona en su Artículo 1º: Establecer las especificaciones técnicas de dibujo que deberán observar los profesionales con incumbencia en el ejercicio de la agrimensura para confeccionar Planos de Mensura, Planos de Propiedad Horizontal, Planos de Propiedad Horizontal Especial, Georreferenciaciones y Croquis de Estados Parcelarios; que deban ser aprobados o registrados ante esta Autoridad de Aplicación; y que integran el Anexo Único de la presente Resolución.

Un plano de mensura es un documento catastral por excelencia. Es el resultado específico y meditado de todas las causas y hechos que permiten determinar en forma integral a la parcela. Su inscripción en Catastro, permite al Estado apropiarse de todo su rico contenido físico, jurídico y económico y con ello lograr el conocimiento integral de las parcelas.

Es el medio para dar forma a la voluntad humana de crear una parcela, y a través de los cuales su existencia no solo se hace visible sino también legalmente aceptada.

El profesional responsable es el agrimensor y cumple esa función al efectuar la mensura amojonando los límites de las parcelas, determinando su ubicación, límites, medidas y linderos, debiendo finalmente describir todo ello para que la parcela pueda identificarse, ser ostensible y también restablecer los límites si fuera necesario.

Por tales motivos, el plano de mensura es el principal responsable de la actualización de los aspectos físico, económico y jurídico del Catastro.

El **aspecto físico**, referido a la ubicación, forma, dimensiones lineales y angulares, superficie, límites, linderos y toda característica intrínseca y expresión cuantitativa de las cosas que la integran en condición de inmuebles por naturaleza e inmuebles por accesión.

El **aspecto jurídico**, relacionado a los elementos que permiten vincular o relacionar esa porción de suelo con una persona determinada y que exponen la situación legal en virtud de la cual, la comunidad debe reconocerle el derecho a disponer de ese bien, como así también exigir la observancia de los deberes propios de la función social que debe cumplir tal bien.

El **aspecto económico**, asociado a los elementos cuantitativos y cualitativos de las parcelas y sus accesiones, considerados con la finalidad de definir la situación actual y posibilidad potencial en la producción de bienes, los que permiten determinar su valor dentro del concepto económico actual, posibilitando el ordenamiento de su desarrollo y el cálculo del tributo inmobiliario en mérito a la función social que deben cumplir.

4. Aplicación

Como se mencionó anteriormente, el proyecto consiste en realizar una mensura a partir de un relevamiento con equipos como GNSS, Estación Total y Metroláser, y como complemento se realizan vuelos fotogramétricos con dos tipos de drones, uno de ala fija y el otro multirrotor a distintas resoluciones espaciales.

Para ello se sigue la siguiente metodología de trabajo:

Como primera instancia, se determina la ubicación de la parcela y se realiza una búsqueda de antecedentes que permita analizar la misma.

Luego se continúa con el relevamiento catastral, realizando mediciones con el equipo GNSS, en el macizo donde se encuentra la parcela. También se emplea la Estación Total como una alternativa más del relevamiento, que acompaña al análisis de las diferentes técnicas de medición. Con el metroláser se toman medidas parciales y totales de la parcela, determinando superficies cubiertas y semicubiertas.

Utilizando el equipo GNSS se realiza la georreferenciación, y se determinan los puntos de apoyo fotogramétricos a partir de medición RTK. Luego se ejecutan los vuelos fotogramétricos con dos drones, a partir de tres resoluciones espaciales, determinando tres alturas diferentes.

Posteriormente, se analizan los resultados de los ortomosaicos generados, las diferentes resoluciones, y se comparan los puntos tomados con la estación total, para estudiar similitudes o distorsiones que se generen.

Se verifica que las superposiciones asignadas en la planificación de vuelo, sean realmente las generadas por los drones.

Se lleva a cabo un análisis analítico de los errores que presentan los ortomosaicos generados.

Por último, se confecciona un plano de mensura a presentar en el Organismo Catastral utilizando los nuevos lineamientos de confección a través de la Resolución 56/20.

4.1 Ubicación y Búsqueda de Antecedentes

Para la aplicación de este proyecto se opta por una parcela con la siguiente Nomenclatura Catastral:

Partido: 078 - Circunscripción: I - Sección: D - Quinta: 143 - Manzana: 143f - Parcela: 6b

El área de estudio se encuentra en la Localidad de Olavarría, en la Avenida J.J. de Urquiza 3.145. El primer paso con ayuda de Google Earth es ubicar en el espacio físico la parcela, lo que da una idea de cómo está conformado el macizo. Figura 8.



Figura 8. Ubicación de parcela a relevar. Fuente: Elaboración propia.

Para visualizar la información catastral de cualquier propiedad del territorio de la provincia de Buenos Aires, se puede acceder a una página web brindada por ARBA, llamada CARTOARBA, donde se observa la cartografía digital de la provincia, Figura 9, que permite conocer información de la parcela. Este sitio cuenta con acceso público y también privado, de esta última se puede acceder a más información y herramientas. Se ingresa a través de la Nomenclatura, Partida o buscando en el mapa.

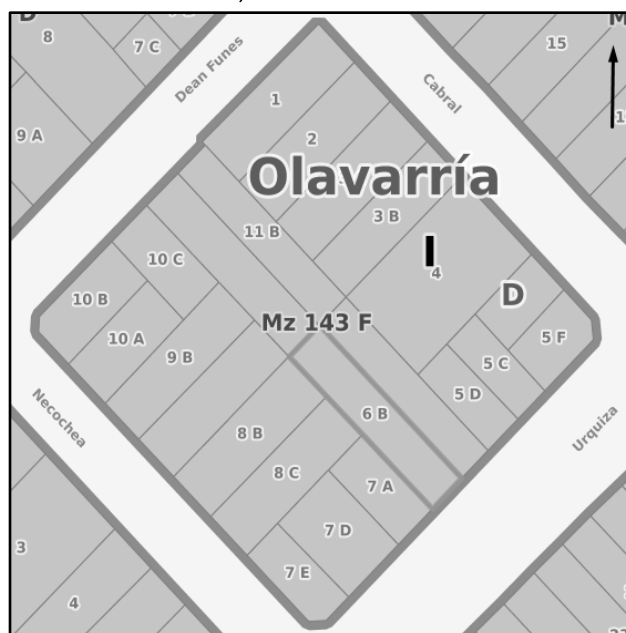


Figura 9. Visualización de CARTOARBA. Fuente: Elaboración propia.

Si se selecciona la parcela, se encuentra la información de la valuación del año actual, el estado de los trámites, plancheta, DXF, planos antecedentes, cédulas, entre otros. Figura 10.

Nomenclatura Catastral		
Partido: 78 (Olavarría) Circunscripción: 1 Sección: D Quinta: 143 Manzana: 143F Parcela: 6B		
Copiar		
Valores Básicos		
Partida	Sup. Terreno	SP
2875	408	
Descargas		
Plancheta		
DXF		
Planos		
Dirección		
 3131, Avenida Urquiza, Obrero, Olavarría, Partido de Olavarría, Buenos Aires, 7400, Argentina (Open Street Map)		
Ubicación		
Escala: 846.37		
Latitud: -36.89942		
Longitud: -60.30981		

Figura 10. Información en CARTOARBA.
Fuente: Elaboración propia.

Ubicando la parcela en el macizo, describimos las medidas y linderos: 9.45 m al SE por su frente con Avenida J.J. de Urquiza, 43.15 m al SO por uno de sus costados con parte de las parcelas 7a, 8c y 8b, 9,45 m al NO por su contrafrente con parcela 11a, 43.15 m al NE por su otro costado con parcela 6a. Encerrando una superficie de 407.77 m². Figura 11.

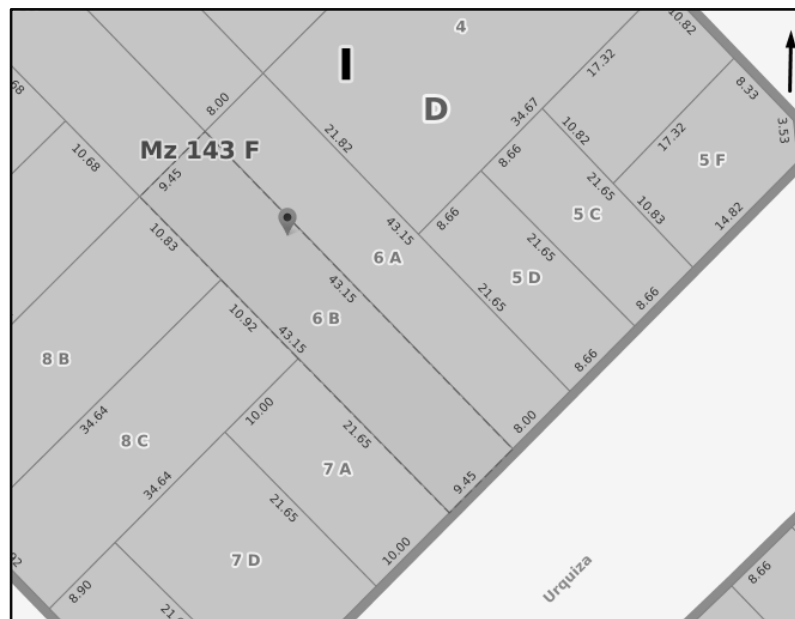


Figura 11. Descripción de la parcela. Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de este proyecto comienza con la búsqueda de antecedentes. Estos son: Planos de unidades características o comúnmente llamados planchetas, Plano origen o antecedente y Cédulas catastrales.

Los planos de unidades características o planchetas son registros en los cuales se pueden encontrar medidas según título, según catastro y según plano. Se cuenta con el parcelamiento de las manzanas, con las respectivas medidas, nomenclatura catastral, nombre de calles, manzanas linderas, planos antecedentes, superficies, entre otros datos de interés.

La plancheta que corresponde a la parcela de este proyecto pertenece a los relevamientos masivos del año 1938. Figura 12.

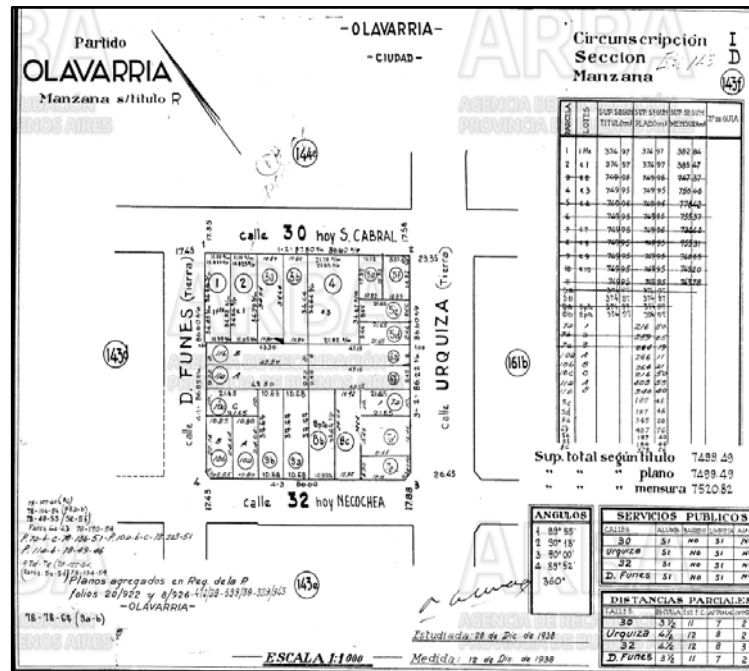


Figura 12. Plancheta Digital. Fuente: CARTOARBA.

La cédula catastral es el resumen que, por parcela y en una hoja especialmente diseñada, se confecciona todas las constancias importantes que figuran en los documentos agregados al legajo parcelario. Estos resúmenes permiten el conocimiento integral de la parcela en sus tres aspectos, físico, jurídico y económico. En la Figura 13 se encuentra una cédula remitida desde Arba con una actualización más reciente, y en la Figura 14 una cédula histórica que se solicita en el Municipio, que en este caso solo sirve a fines de analizar información, ya que las mismas no se encuentran actualizadas.

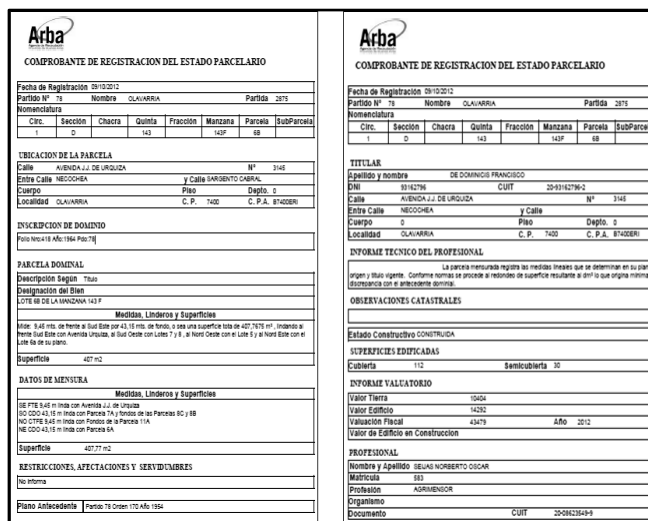


Figura 13. Cédula remitida de ARBA. Fuente: CARTOARBA.

4.2 Relevamiento

4.2.1 GNSS

Georreferenciación

En primer término, se decide hacer una georreferenciación, para disponer espacialmente la posición de la parcela. Por normativa, mencionada anteriormente, hoy en día se exige georreferenciar las parcelas rurales, pero teniendo presente que la Ley 10.707, la georreferenciación es un elemento esencial de la parcela, se pretende georreferenciar la misma.

Se procede a vincular el relevamiento a la Red POSGAR 07.

Para realizar la vinculación se utiliza el receptor Equipo GNSS Kolida K20s (ver Anexo), doble frecuencia. Dicho receptor se encuentra ubicado en el patio de la parcela a relevar. Figura 16. Se genera un vector largo, para obtener la ubicación, a partir de la estación permanente de Azul. Dicha estación tiene coordenadas conocidas en el Marco de Referencia POSGAR 07, y toma datos 24 horas.

El tiempo de observación de dicho punto fue de 1h 56' 00" con el método de observación estático, dando como resultado una solución fija.

Se procesa el vector de la medición estática, utilizando el software Trimble Business Center y se obtienen las coordenadas del punto base. Generando también los informes de procesamiento (ver Anexo). Tabla 1.



Figura 16. Ubicación del receptor GPS. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1	Latitud	Longitud	Altura
Estación Permanente Azul	S36°46'01.28003"	W5°52'52.60867"	158.313m
Base	S36°53'57.77400"	W60°18'35.37969"	179.773m

Puntos PAF con medición RTK

Una vez ubicado el punto base, se continúa revelando todos los puntos de apoyo fotogramétrico para georreferenciar el ortomosaico, a través del método RTK.

Conocer con exactitud la localización en donde se ha tomado cada imagen del vuelo es importante para asegurar la precisión de la reconstrucción de los ortomosaicos. La tecnología GNSS a través del método RTK permite relevar los 5 puntos de apoyo, conociendo así la posición geográfica de cada punto. Estos mismos darán la ubicación exacta de varias zonas del mapa, es decir, el ortomosaico resultante.

Medición Urbana

Se continúa revelando todos los puntos significativos o hechos existentes del terreno como medidas de la parcela, edificaciones, frentes de linderos, distancias a esquina, cordón cuneta, anchos de calle, ochavas, líneas de edificación a través del método RTK.

4.2.2 Estación Total

Luego de la vinculación, se propone el método de estación libre colocando la Estación Total Leica TCR 307 (ver Anexo) en un punto estratégico, en este caso en el fondo de la parcela, para poder vincular desde dentro de la misma hacia afuera. Se coloca una estaca, que será el punto de arranque. Luego se toman dos puntos, con un miniprisma. Uno de ellos corresponde a la ubicación del equipo GNSS donde se realizó una medición estática, y el siguiente punto fuera de la parcela en cuestión también tomado con equipo GNSS, por lo que se obtienen coordenadas conocidas. Figura 17.

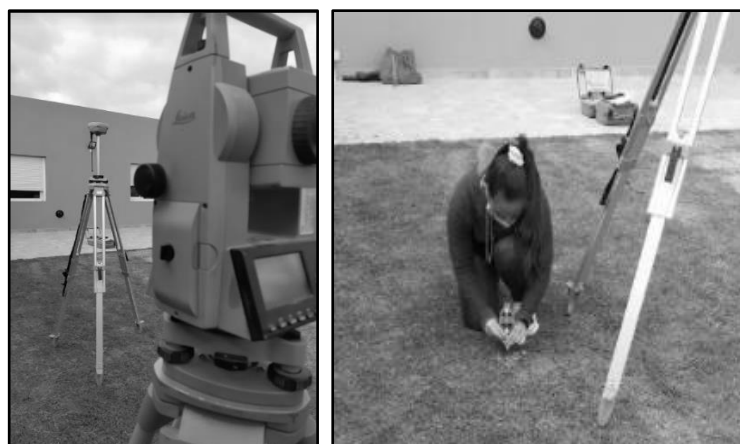


Figura 17. Método Estación Libre. Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Metroláser

Para terminar con las tareas de campaña se utiliza el Distanciómetro Leica D510 (ver Anexo), con el que se mide el perímetro de construcción de la parcela, discriminando superficies cubiertas y semicubiertas que permitan confeccionar el plano de mensura.

4.2.4 Fotogrametría

Se utilizan dos Drones, para realizar tres vuelos a diferentes resoluciones espaciales, con tal de determinar en qué condiciones se logra una mejor precisión y visión en cuanto a la vacilación, por ejemplo, de un lindero

Para la mayoría de los casos es aconsejable adquirir las imágenes con un patrón regular de cuadrícula. El traslape recomendado es por lo menos 75% frontal, que se superponen con respecto a la dirección del vuelo. Y por lo menos un traslape lateral de 60% entre las pistas de vuelo. La cámara debe mantenerse en lo posible a una altura constante sobre el terreno para asegurar un óptimo GSD.

Los Drones utilizados fueron eBee SenseFly y Phantom pro v2 (ver Anexo), que cuentan ambos con una cámara de 20 megapíxel.

Primero se realiza una simulación, debido a que se conocen los datos del fabricante, de lo que respecta a la resolución del píxel en el terreno y la del sensor. Con los datos del fabricante se puede calcular la altura que se necesita dependiendo la resolución esperada.

Para obtener dicha incógnita se utiliza una simplificación de triángulos semejantes, Figura 18.

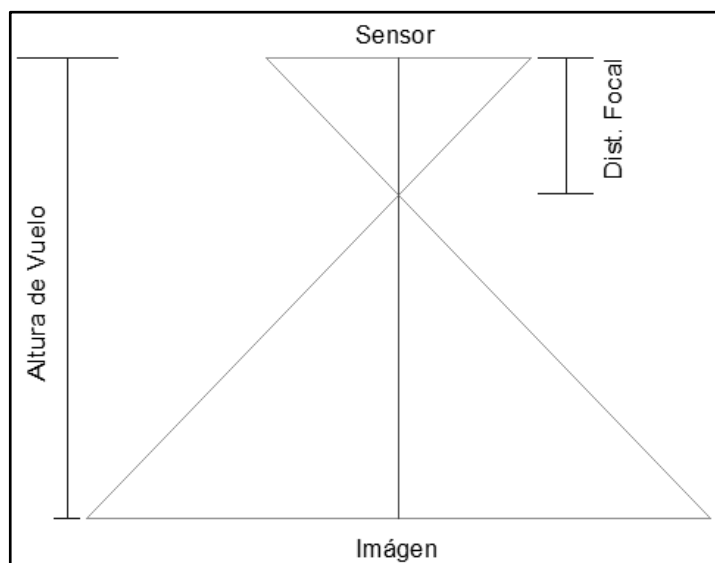


Figura 18. Semejanza de triángulos. Fuente: Elaboración propia.

Vuelo 1 - Drone eBee - Modelo SenseFly

Los datos de fabricación, en este caso, son los siguientes:

- Sensor de la cámara: 5472 px * 3648 px (13.133 mm * 8.755 mm)
- Distancia Focal: 10.6 mm

Si se pretende una resolución de **2.2 cm/px**, a través de la siguiente ecuación se obtiene la altura:

$$\frac{\text{Pixel en el terreno}}{\text{Altura de Vuelo}} = \frac{\text{Pixel en el sensor}}{\text{Distancia Focal}}$$

$$\text{Altura de vuelo} = \frac{00022 (m) * 3648 * 0.0106 (m)}{0.008755(m)}$$

$$\text{Altura de vuelo} = 99 m$$

Vuelo 2 - Drone Phantom 4 - Modelo pro v2

Los datos de fabricación, en este caso, son los siguientes:

- Sensor de la cámara: 5472 px * 3648px (12.833 mm * 8.556 mm)
- Distancia Focal: 8.8 mm

Si se pretende una resolución de **1.3 cm/px**, a través de la siguiente ecuación se obtiene la altura:

$$\frac{\text{Pixel en el terreno}}{\text{Altura de Vuelo}} = \frac{\text{Pixel en el sensor}}{\text{Distancia Focal}}$$

$$\text{Altura de vuelo} = \frac{0.013 (m) * 3648 * 0.0088 (m)}{0.008556(m)}$$

$$\text{Altura de vuelo} = 49 m$$

Vuelo 3 - Drone Phantom 4 - Modelo pro v2

Los datos de fabricación, en este caso, son los siguientes:

→ Sensor de la cámara: 5472 px * 3648px (12.833 mm * 8.556 mm)

→ Distancia Focal: 8.8 mm

Si se pretende una resolución de **3.2 cm/px**, a través de la siguiente ecuación se obtiene la altura:

$$\frac{\text{Pixel en el terreno}}{\text{Altura de Vuelo}} = \frac{\text{Pixel en el sensor}}{\text{Distancia Focal}}$$

$$\text{Altura de vuelo} = \frac{0.032 (m) * 3648 * 0.0088 (m)}{0.008556(m)}$$

$$\text{Altura de vuelo} = 120 m$$

Planificación

Para dar comienzo a los vuelos, en primer lugar, deben estar ubicados los puntos de apoyo fotogramétricos en el terreno.

La superficie, para dicho vuelo, forma un octágono, el cual presenta un área de 8,60 Ha. Se elige dicha área con el objetivo de analizar más allá de la parcela, para obtener una visión general y ampliada de los macizos lindantes, que será de gran ayuda a la hora de confeccionar el plano de mensura y contrastar con los títulos. Figuras 19 y 20.

Para los tres vuelos se utilizan los mismos puntos de apoyo fotogramétricos y la misma área a relevar.

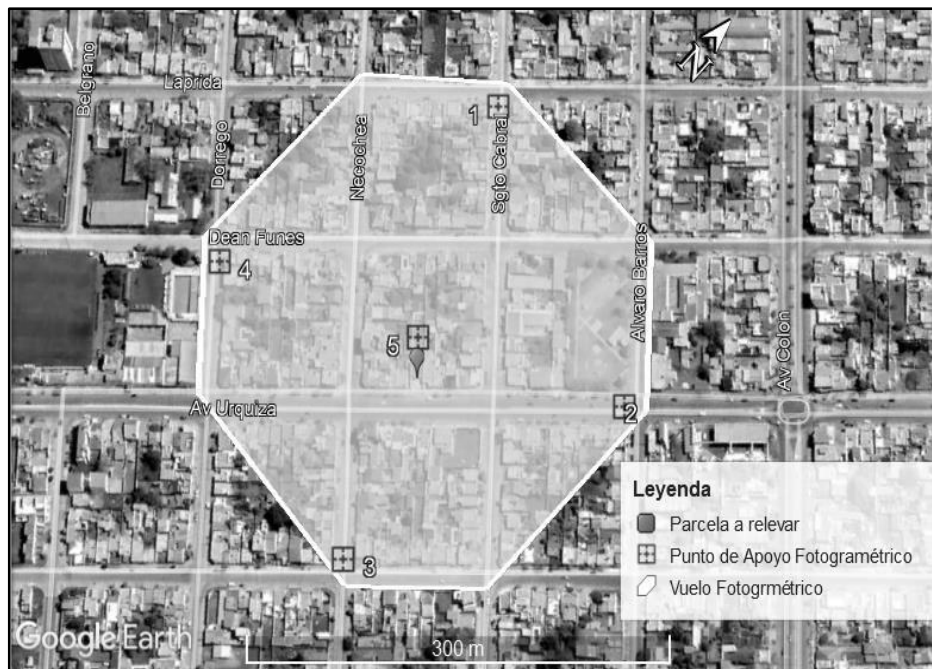


Figura 19. Ubicación de Puntos de Apoyo Fotogramétricos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 20. Punto de Apoyo Fotogramétrico.
Fuente: Elaboración propia.

En el momento en el que se introduce, dentro de la planificación del software, Figura 21, la altura y la superposición longitudinal y transversal que se desea; dicho software calcula la resolución de píxel. En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos. Tabla 2.

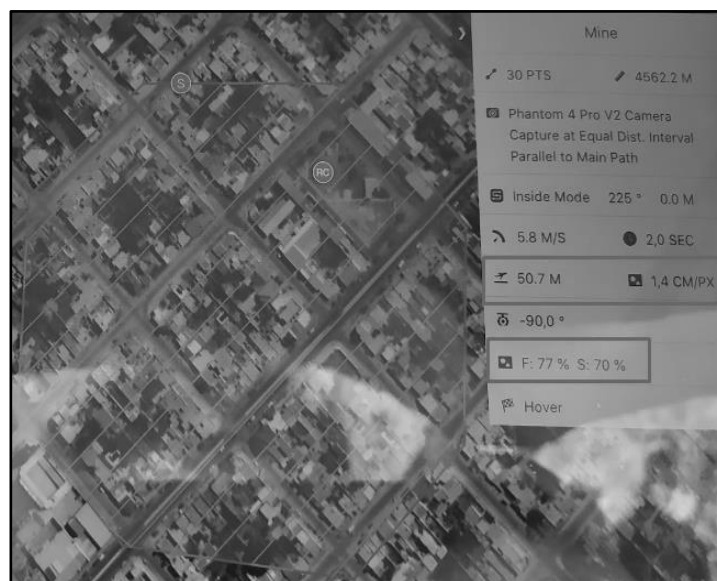


Figura 21. Parámetros del Software. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2	Vuelo 1 eBee - SenseFly	Vuelo 2 Phantom 4 - pro V2	Vuelo 3 Phantom 4 - pro V2
Resolución de Pixel	2.2 cm/px	1.3 cm/px	3.2cm/px
Superposición	Sl: 75% St: 70%	Sl: 77% St: 70%	Sl: 80% St: 80%
Altura de Vuelo	94m	50m	120m

Vuelo

Luego de la planificación, el siguiente paso es efectuar los vuelos. Esto se realizaron en dos días, con dos drones que presentan distintas características. Siendo uno de ala fija y el otro Multirrotor. Para ambos se deberá verificar la carga de la batería, teniendo en cuenta el tiempo de vuelo estimado que fija el software para dicho relevamiento.

Drone Ala Fija - GSD: 2,2 cm/px

Día de vuelo: 23/03/2021 - 16:30 hs.

Las condiciones climáticas de la fecha presentaron un día soleado con ráfagas de viento de 19 Km/hs permitiendo volar sin complicaciones a la hora de tomar las imágenes.

Una vez que el drone se sitúa en el lugar de despegue, Figura 22, el primer paso es calibrar in situ el lugar de aterrizaje.

Para el despegue, se coloca el drone a 45 grados en contra del viento, esto hace que el aire fluya alrededor de las alas, y permite que el drone se eleve sin dificultad para lograr la altura deseada. En este caso el viento llegaba desde el Norte.

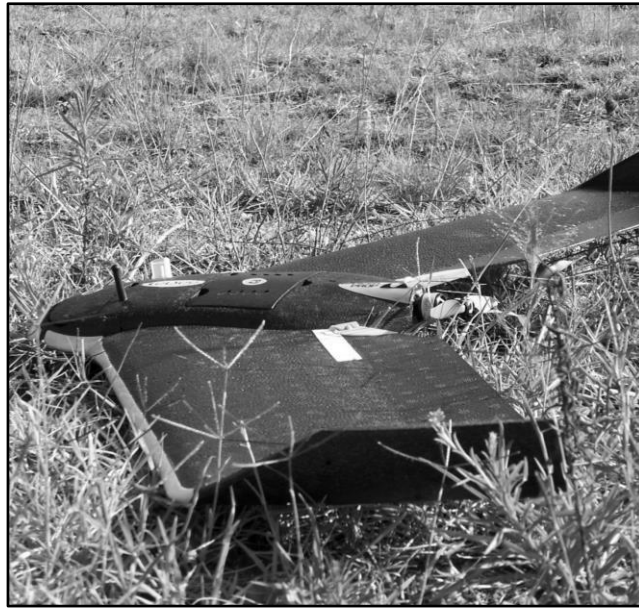


Figura 22. Lugar de despegue/aterrizaje. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se realiza el despegue, se dirige al punto de arranque previamente fijado elevándose en forma de tirabuzón hasta alcanzar la altura que se le indica por medio del software. El recorrido hasta tomar las primeras imágenes fue de 1,86 Km.

Luego se orienta al lugar del relevamiento, en donde se posiciona para tomar las imágenes, haciendo un barrido desde la posición más lejana. Figura 23.

El tiempo de vuelo fue de 15 minutos. En el software se genera un cono de aterrizaje, con el cual el drone busca la trayectoria que mejor se encuentre en contra del viento. Si el cono fuera muy estrecho traería complicaciones a la hora de seguir dicha trayectoria con respecto a la orientación del viento.

Una vez que el drone comienza con el descenso, girará a favor del viento, permitiendo disminuir la velocidad mientras mantiene su altitud, evitando que descienda rápidamente, y de esta manera comenzará a bajar en el lugar determinado previamente.



Figura 23. Ruta de Vuelo-eBee. Fuente: Elaboración propia.

Drone Multirrotor - GSD: 1,3 cm/px

Día de vuelo: 30/03/2021 - 12.00 hs.

La condición climática era óptima, un día soleado y con ráfagas de viento de 20 Km/hs.

Para dar comienzo a este vuelo, el lugar de despegue se encuentra en la plaza ubicada a una cuadra del relevamiento, en la esquina de las calles Álvaro Barros y Deán Funes, Figura 24.

Antes de comenzar el despegue, se tiene presente la altura de los edificios, árboles, antenas, tendido eléctrico que se encuentran dentro del área del octágono. Luego se carga en el software la planificación de dicho vuelo, aclarando altura, superposición y resolución del pixel.

Se fija la posición del drone en el lugar de despegue y aterrizaje. Posteriormente comienza a elevarse hasta lograr la altura deseada y se inicia el relevamiento.



Figura 24. Posición de despegue. Fuente: Elaboración propia.

Drone Multirrotor - GSD: 3,2 cm/px

Día de vuelo: 30/03/2021 - 12.30 hs.

Se procede de la misma forma que el vuelo 2, utilizando el mismo drone.

Restitución

Para obtener los tres ortomosaicos, de los diferentes vuelos, se utiliza el software Pix4d.

Para procesar la información con esta técnica se debe tener en cuenta los requisitos mínimos y recomendados de hardware y software. Para proyectos de tamaño mediano, entre 100 y 500 imágenes, como en el caso del proyecto, en los cuales se obtuvieron 123, 177 y 327 imágenes; se recomienda 8 GB RAM, y un espacio libre de 20 GB en HDD, de lo contrario los procesamientos tardarán más, y en algunos casos no se podrán realizar.

Se inicia el proyecto seleccionando las imágenes del vuelo, donde es importante que las mismas estén geolocalizadas, y tildadas para continuar con los procesos. Se seleccionan las coordenadas geodésicas, Posiciones Argentinas Posgar 07 - Faja 5.

Una vez cargadas las imágenes se procede a cargar las coordenadas conocidas de los Puntos de Apoyo Fotogramétrico, para ajustar la imagen correctamente y además se seleccionan los mismos con el cursor como se muestra en la Figura 25. Esto asegura que los puntos se fijen al suelo.

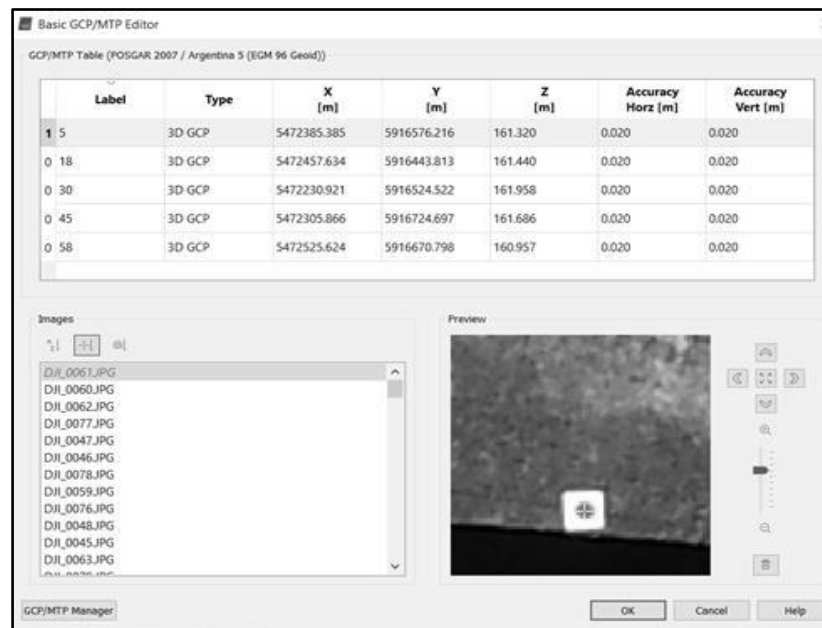


Figura 25. Pix4D. Fuente: Elaboración propia.

1. Procesamiento Inicial

En este paso se realizan las siguientes tareas:

- Extracción de Puntos Clave: identifica características específicas como puntos clave en las imágenes.
- Puntos clave que coinciden: encuentra imágenes que tienen los mismos puntos clave y coinciden con ellas.
- Optimización del modelo de la cámara: calibra la distancia interna (distancia focal, entre otras) y parámetros externos (orientación) de la cámara.
- Localización GPS /GCP: localiza el modelo, si se proporciona información de geolocalización.

Durante este paso se crean puntos de enlace automático que son la base para los próximos pasos de procesamiento. Figura 26.

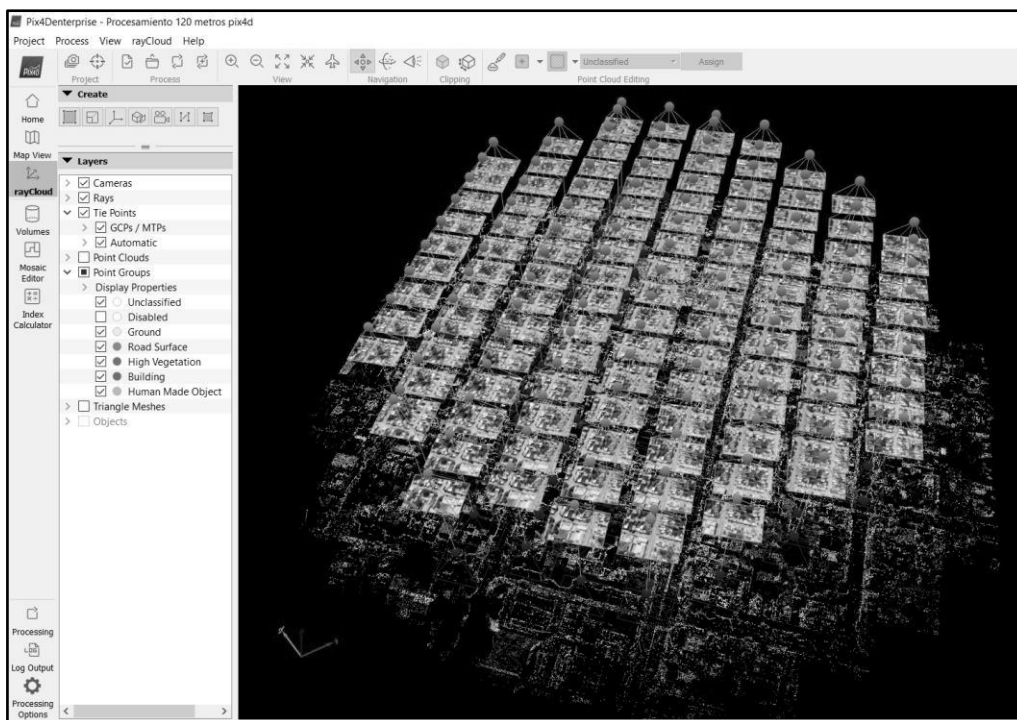


Figura 26. Orientación de las imágenes. Fuente: Elaboración propia.

Terminada la orientación se obtiene el primer reporte (ver Anexo), el cual ofrece una mirada previa del proyecto, en la que, si todos los parámetros se encuentran dentro de la tolerancia, se podrá continuar con el proyecto. Es importante verificar, en el reporte, que toda la zona de interés esté verde, es decir que más de 5 imágenes se traslapen. Figura 27.

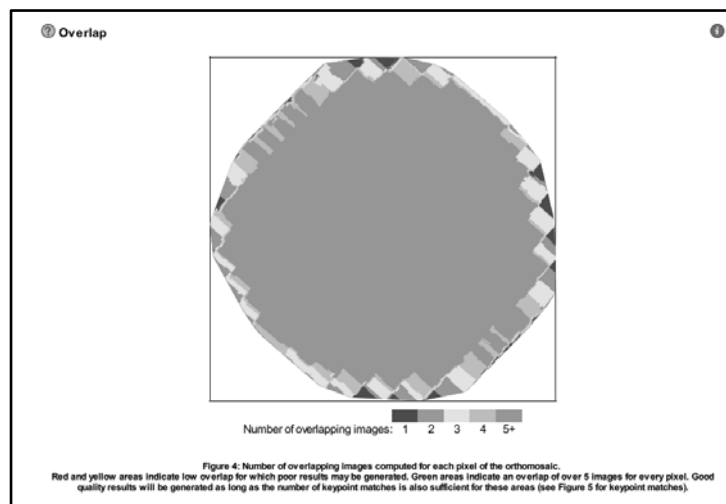


Figura 27. Traslapo. Fuente: Elaboración Propia.

2. Nube de puntos y malla

Este paso se basa en los puntos de empalme automáticos:

- Densificación de Puntos: Se crean Puntos de Empate adicionales basados en los Puntos de Empate Automáticos que resultan en una Nube de Puntos Densificados. Figura 28.
- Malla con textura 3D: basada en la nube de puntos densos, se puede crear una malla con textura 3D.

La densidad se configura con la opción Óptimo. Esta se calcula a partir de un punto 3D por cada octavo pixel de la imagen original, densidad de nube de puntos recomendada.

El número mínimo de coincidencias es 3, cada punto 3D debe volver a proyectarse correctamente en al menos 3 imágenes.

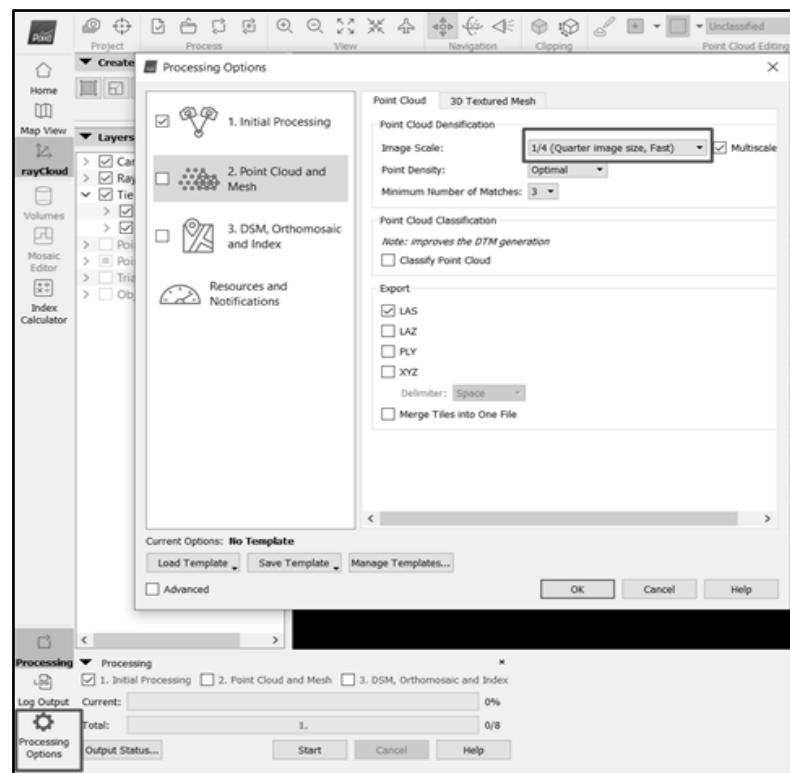


Figura 28. Configuración para la nube de puntos. Fuente: Elaboración propia.

Se procesa nuevamente obteniendo como resultado una nube de puntos Figura 29.

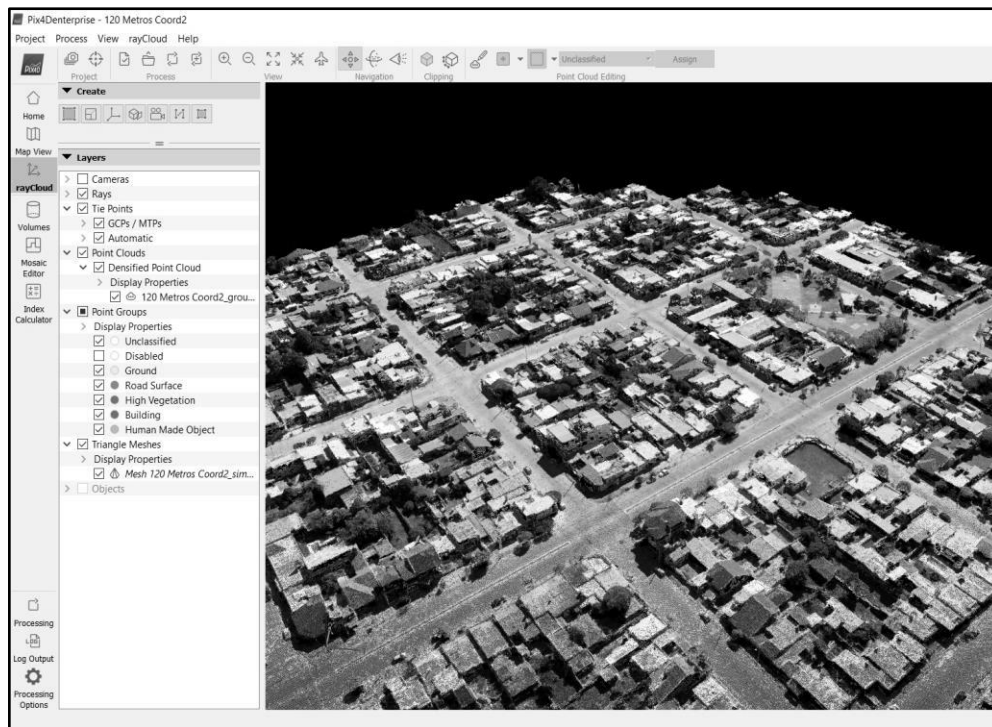


Figura 29. Resultado Nube de puntos. Fuente: Elaboración propia.

3. DSM, Ortomosaico e índices

Este paso permite la creación de:

- Modelo de superficie digital (DSM): La creación del DSM permite el cálculo de volúmenes, ortomosaicos y mapas de reflectancia.
- Ortomosaico: La creación del Ortomosaico se basa en ortorectificación. Este método elimina las distorsiones de perspectiva de las imágenes. Figura 30.
- Mapa de reflectancia: El objetivo es producir un mapa en el que el valor de cada píxel indique fielmente la reflectancia del objeto.
- Mapa de índices: Genera un mapa de índices donde se calcula el color de cada píxel utilizando una fórmula que combina diferentes bandas de los mapas de reflexión.

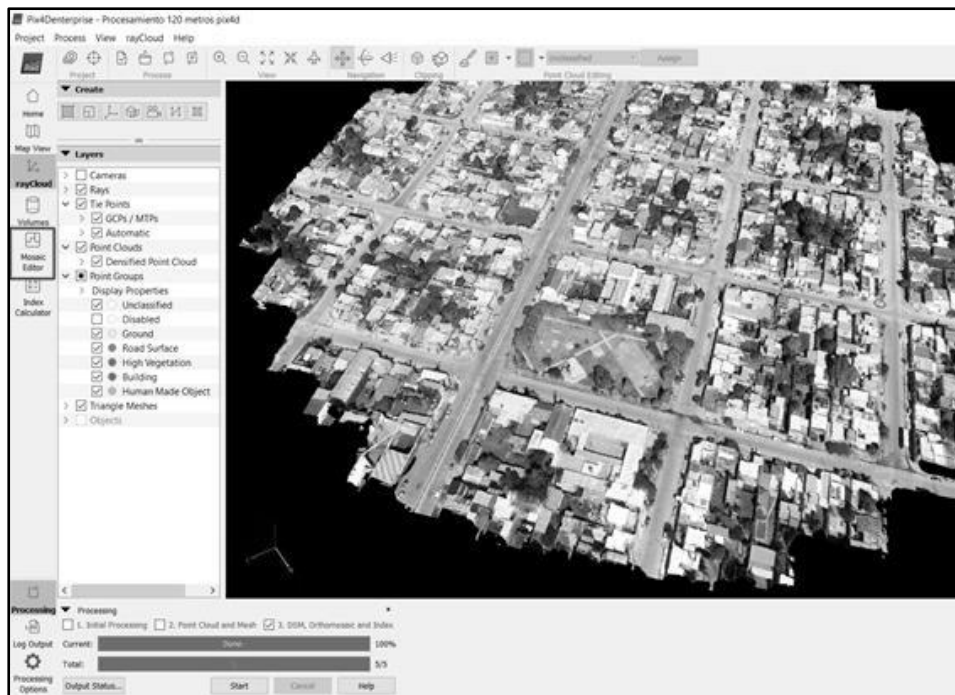


Figura 30. Creación de Ortomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Reconstruyendo el modelo se genera el Ortomosaico, Figura 31. Compuesto por imágenes georreferenciadas y corregidos de deformaciones generadas a partir de las fotografías aéreas.

En resumen, la generación del Ortomosaico, producto del software, se basa en la búsqueda automática de puntos comunes entre las imágenes, generando una malla 3D. Cuando se realiza la superposición entre un par de imágenes, se intenta que esta zona en común sea la más grande, para poder identificar más puntos significativos entre sí, y a mayor cantidad de coincidencias, se calculan puntos 3D más precisos.

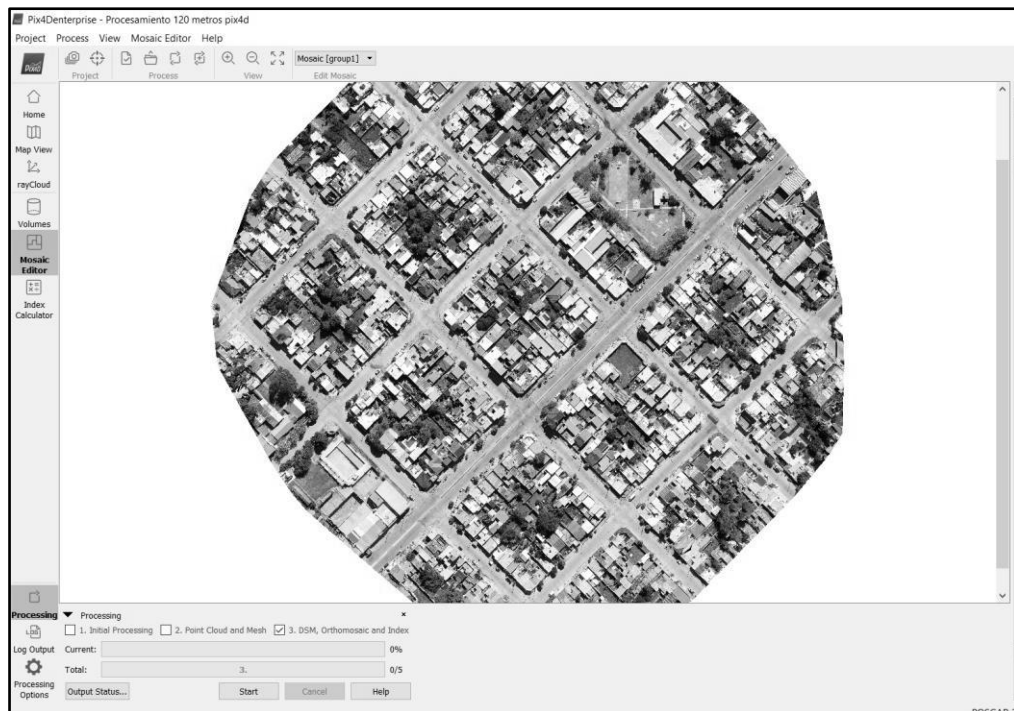
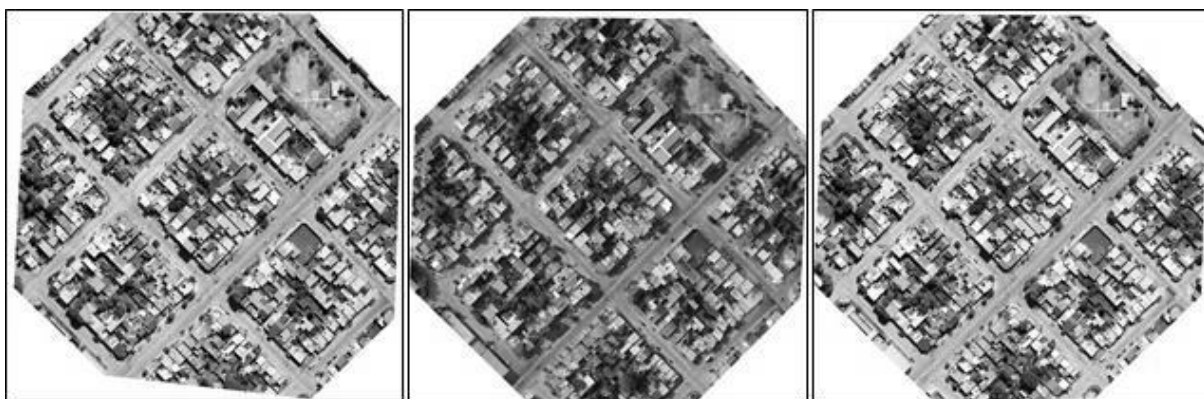


Figura 31. Resultado de Ortomosaico. Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se realiza el procedimiento para los tres vuelos, se generan tres ortomosaicos con resoluciones distintas (ver Anexo). Figura 32.



Vuelo 1/GSD: 1,3 cm/px

Vuelo 2/GSD: 2,2 cm/px

Vuelo 3/GSD: 3,2 cm/px

Figura 32. Resultado Final de Ortomosaicos. Fuente: Elaboración propia.

5. Resultados

5.1 Análisis de Superposición

Completada la etapa del relevamiento se continúa analizando los resultados de los vuelos fotogramétricos. Como primer paso se insertan los ortomosaicos en un archivo CAD donde se encuentran los puntos relevados con el equipo GNSS.

Al momento de insertar el Mosaico en el CAD, se procede a tomar como puntos principales el PAF5, y el PAF 1, correspondiente al punto ubicado en el centro de la parcela y el otro a uno de los extremos. De esta manera se logra alinear el ortomosaico en la nube de puntos. Figura 33.



Figura 33. PAF principales. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha mencionado anteriormente se plantea que si existe una gran superposición entre 2 imágenes, la zona común capturada es más grande y se puede identificar más puntos significativos entre sí. Cuantas más coincidencias, se calculan puntos 3D más precisos. Por lo tanto, la regla principal es mantener un alto traslape entre las imágenes, para lograr un buen resultado en los Ortomosaicos.

Al momento de ingresar los parámetros del vuelo en el software, se pueden obtener datos que son de utilidad, conociendo así la velocidad de vuelo, distancia entre líneas de vuelo y la base de toma. Figura 34.

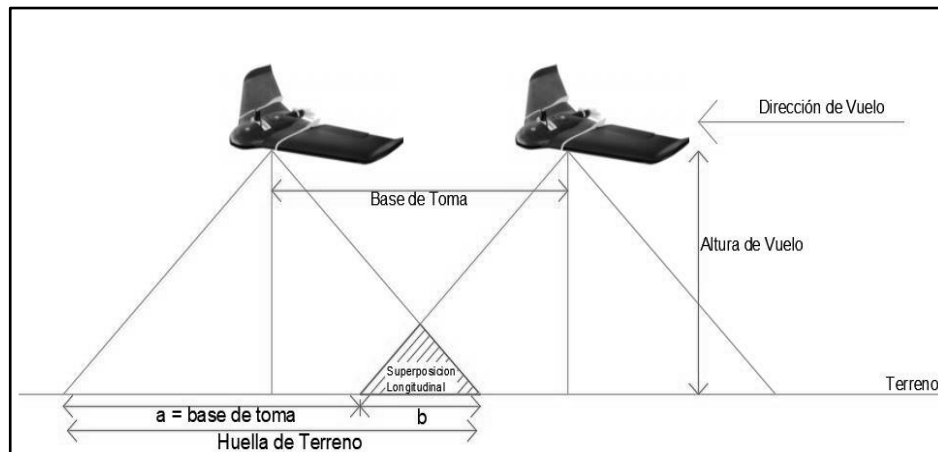


Figura 34. Diagrama de vuelo. Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el vuelo, se requiere de ciertas consideraciones relativas al traslape, con el fin de poder realizar la restitución del modelo estereoscópico durante el procesamiento. Para ello se calcula la verdadera superposición del vuelo, y se verifica si esta coincide con la que se proyecta.

Drone Ala Fija – vuelo 1

Para calcular la superposición, se sabe que el drone eBee tiene una velocidad crucero de 11 m/s y la cámara tarda en estabilizarse en un intervalo de 3.5 segundos. Esto quiere decir que el eBee en 3.5 segundos recorre una distancia de 39 metros. Dicha distancia es la llamada Base de Toma.

La huella de terreno se calcula teniendo en cuenta la resolución en cuestión y el ancho del sensor, por lo que se determina:

$$\text{Huella del terreno} = \text{Resolución (m/px)} * \text{Sensor(px)}$$

$$\text{Huella del terreno} = 0.022 \text{ (m/px)} * 3648 \text{ (px)}$$

$$\text{Huella del terreno} = 82 \text{ m}$$

Luego se calcula la incógnita b, para conseguir la superposición:

$$b = \text{Huella del Terreno} - \text{Base de Toma}$$

$$b = 82 \text{ m} - 39 \text{ m}$$

$$b = 43 \text{ m}$$

Por lo tanto, la superposición verdadera es:

$$\% = \frac{b}{\text{Huella de Terreno}}$$

$$\frac{43 \text{ m}}{82 \text{ m}} * 100 = 52\%$$

En este caso se destaca que la superposición resultante, es mucho menor a la que se le indica al software en el momento del vuelo.

Drone multirrotor – vuelo 2

Los parámetros que se utilizan para obtener la superposición son:

- Altura = 50,7 m
- Velocidad = 5.8 m/s
- Base de Toma = 11.5 m
- Obturador = 2.0 s

La huella de terreno se calcula teniendo en cuenta la resolución en cuestión y el ancho del sensor, por lo que se determina:

$$\text{Huella del terreno} = \text{Resolución (m/px)} * \text{Sensor(px)}$$

$$\text{Huella del terreno} = 0.013 \text{ (m/px)} * 3648 \text{ (px)}$$

$$\text{Huella del terreno} = 47 \text{ m}$$

A partir de dichos datos se encuentra la incógnita b:

$$b = \text{Huella del Terreno} - \text{Base de Toma}$$

$$b = 47 \text{ m} - 11.5 \text{ m}$$

$$b = 36 \text{ m}$$

Y con ella la superposición verdadera:

$$\% = \frac{b}{\text{Huella de Terreno}}$$
$$\frac{36 \text{ m}}{47 \text{ m}} * 100 = 77\%$$

Drone multirrotor – vuelo 3

El mismo procedimiento ocurre con este vuelo, los datos conseguidos del software son los siguientes:

- Altura= 120 m
- Velocidad = 12.0 m/s
- Base de Toma = 23.9 m
- Obturador = 2.0 s

La huella de terreno se calcula teniendo en cuenta la Resolución en cuestión y el ancho del sensor, por lo que se determina:

$$\text{Huella del terreno} = \text{Resolución (m/px)} * \text{Sensor(px)}$$

$$\text{Huella del terreno} = 0.032 \text{ (m/px)} * 3648 \text{ (px)}$$

$$\text{Huella del terreno} = 117 \text{ m}$$

Con estos datos se calcula b y la superposición:

$$b = \text{Huella del Terreno} - \text{Base de Toma}$$

$$b = 117 \text{ m} - 23.9 \text{ m}$$

$$b = 93 \text{ m}$$

Y con ella la superposición verdadera:

$$\% = \frac{b}{\text{Huella de Terreno}}$$

$$\frac{93 \text{ m}}{117 \text{ m}} * 100 = 79\%$$

Podemos decir que con un alto solapamiento se puede tener un mejor modelo que ayudará a obtener un mejor Ortomosaico.

5.2 Comparación de Ortomosaicos

A partir de los reportes que se obtienen en el procesamiento de los ortomosaicos se realiza una comparación de datos como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3.	Altura de Vuelo	GSD	Cámara	Distancia Focal
Vuelo 1	94 m	2.22 cm/px	S.O.D.A	10.6mm
Vuelo 2	50 m	1.3 cm/px	FC6310	8.8 mm
Vuelo 3	120m	3.2 cm/px	FC6310	8.8 mm

Tabla 3.	Cantidad de fotos	Linea de vuelo	Puntos por Imagen	Tamaño de Imagen
Vuelo 1	123	12	50.653	13.133 * 8.755 (mm)
Vuelo 2	377	15	43.352	12.833 * 8.556 (mm)
Vuelo 3	177	9	50.241	12.833 * 8.556 (mm)

En esta Tabla, se puede diferenciar la cantidad de imágenes que se toman en los diferentes vuelos para mantener la superposición; Como así también, se contempla que el Vuelo 1 realizado con el eBee y el vuelo 3 con el Phantom 4, tienen una diferencia muy pequeña en cuanto a la cantidad de fotos, siendo que ambos vuelan a alturas diferentes.

A continuación, se efectúa una comparación entre los diferentes ortomosaicos, comparándolos con las mediciones de la estación total.

En la Figura 35, se observa un martillo existente en un muro de la parcela, que se identifica a partir de los Ortomosaicos. Esto sería difícil de detectar si se realizara una medición con instrumental desde el suelo.

En la imagen 1,3 cm/píxel se tiene una mejor claridad a la hora de notar los límites. En la imagen 2,2 cm/píxel el martillo es difícil de identificar, pero mantiene una claridad aceptable. No así en la imagen 3,2 cm/píxel, que no permite definir los límites ni el martillo que presenta el muro.

Otro factor a analizar es la luz que incide en las edificaciones, depende del rango horario en el cual se realiza el vuelo. Esto puede ayudar o no al analizar los resultados. En este caso, GSD: 1,3cm/px y GSD: 3,2 cm/px se realiza cerca de las 12 hs y el GSD: 2,2 cm/px aproximadamente a las 16 hs.

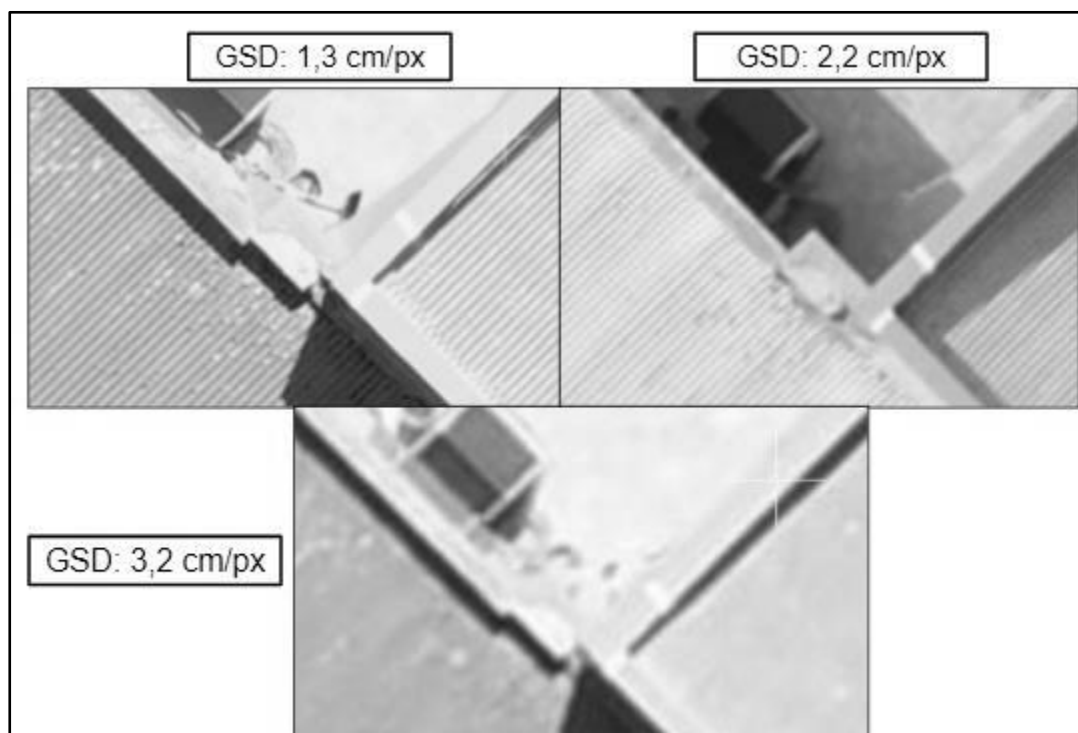


Figura 35. Comparación de Ortomosaicos. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36, se realiza una comparación entre la unión de los puntos obtenidos con la Estación Total (en rojo) y los límites definidos a partir del resultado del ortomosaico (en verde). La diferencia entre ambos GSD, no es significativa en el momento de determinar dicho esquinero.

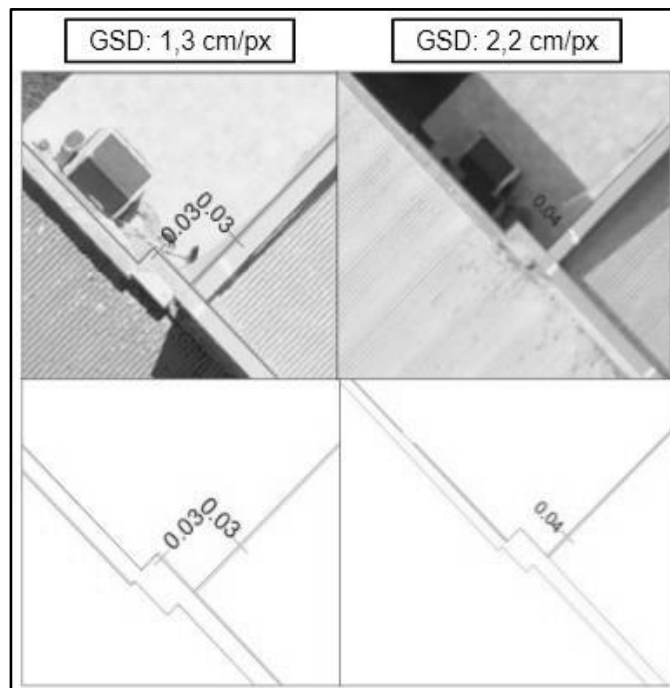


Figura 36. Comparación de Ortomosaicos. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 se confronta el siguiente muro y se observan las siguientes características:

- En la resolución 1,3 cm/px, se puede definir el muro, aunque no se observa con claridad los costados del mismo.
- En 2,2 cm/px se torna difícil definir los límites debido que este mismo esta deformado, y parece más ancho de lo que en realidad es.
- Por último, en 3,2 cm/px mantiene la forma del muro, y presenta una mejor percepción de la realidad.

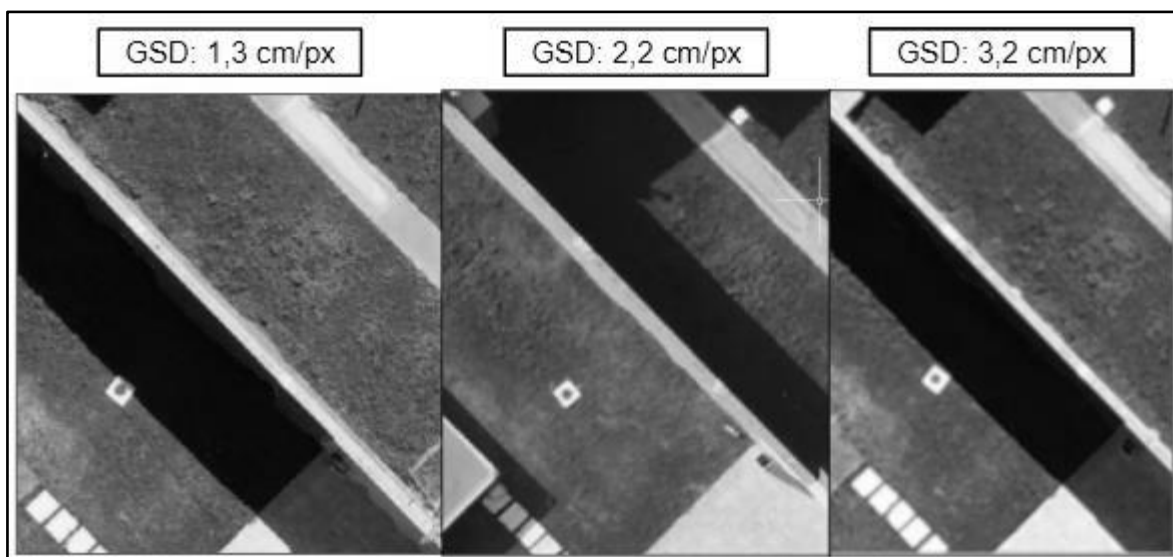


Figura 37. Comparación de Ortomosaicos. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 38, se distingue que, si bien se puede determinar un muro con la resolución 1,3 cm/px, este mismo se deforma, de modo que es difícil diferenciar el ancho verdadero del muro.

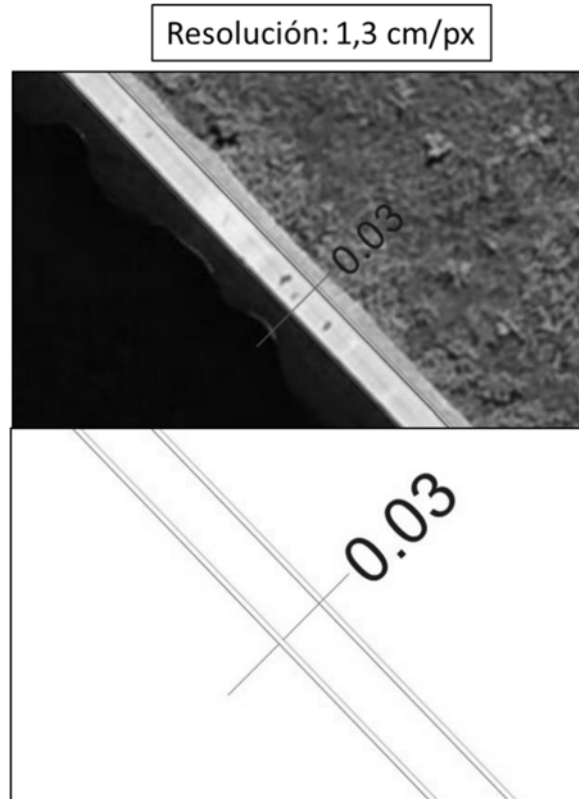


Figura 38 Comparación de Ortomosaicos.
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar la imagen con los puntos tomados con la Estación total, en la resolución 2,2 cm/px, Figura 39, se identifica una gran variación entre ambas mediciones. No así, en el resultado del ortomosaico de resolución espacial 1,3cm/px.

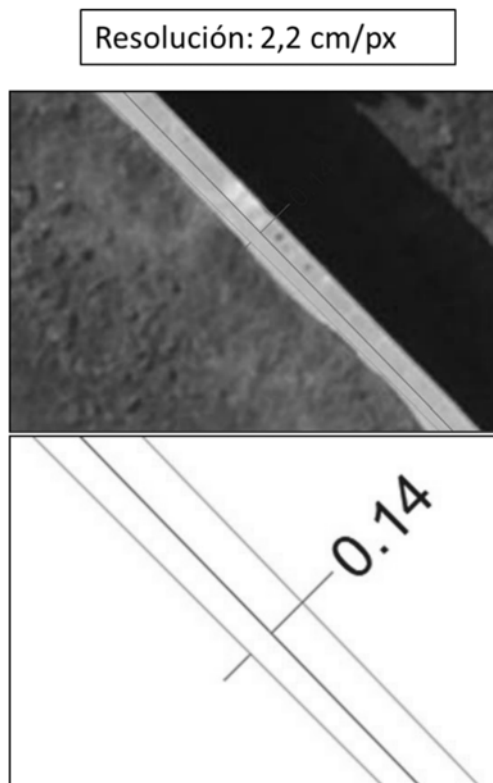


Figura 39. Comparación de Ortomosaicos.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40, se analiza que, por cuestiones de iluminación, el GSD 2,2 cm/píxel y 3,2 cm/px, se dificulta determinar el total del muro, en cambio en el GSD 1,3 cm/px, si se puede delimitar el límite.

También se identifica que parte del muro del ortomosaicos con resolución de 3,2 cm/píxel, está incompleto, siendo complejo definir los límites a través de la imagen. El software Pix4d permite seleccionar áreas o polígonos, Figura 41, para corregir el Ortomosaico, y obtener de esta manera un mejor resultado.

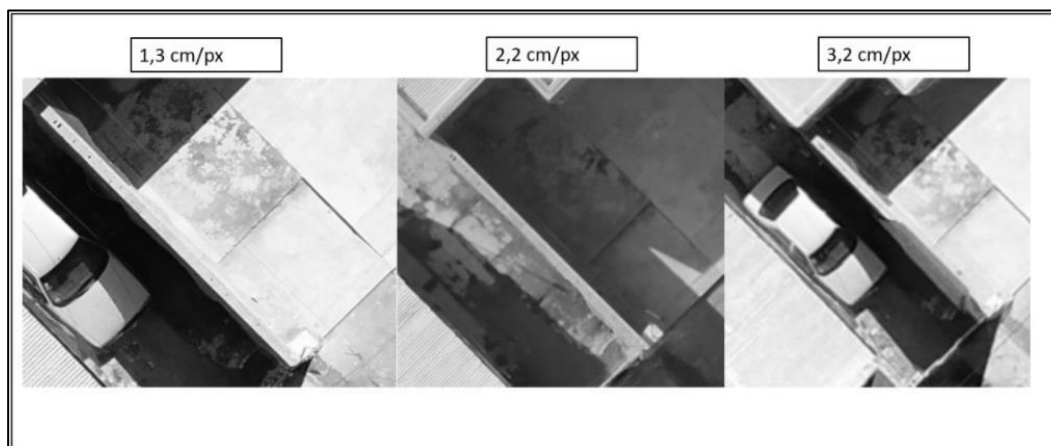


Figura 40. Comparación de Ortomosaicos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 41. Edición de Ortomosaicos. Fuente: Elaboración propia.

Al rectificar, se mejora la imagen. Como se puede apreciar, no es exacta la edición y hay deformaciones, por lo que se identifica la modificación de dicha imagen si se observan las sombras de la edificación. Figura 42.



Figura 42. Corrección de imágenes en pix4d. Fuente: Elaboración propia

Para realizar el plano de mensura, se debe diferenciar superficies cubiertas de semicubiertas. Se analiza en este caso, a partir de los ortomosaicos, si es posible determinar estas superficies.

De esta manera, en color rojo se muestran los puntos radiados por la estación total, los cuales difieren 20 centímetros, con respecto al ortomosaico con GSD de 1,3 cm/px.

Esto ocurre debido a que, a través de las fotografías aéreas es difícil diferenciar si se está en presencia de aleros, canaleta, semicubiertos, entre otros. Por lo que no se puede definir a qué tipo de superficie corresponde.

También, se puede decir que en la resolución 1.3 cm/px por cuestión de luminosidad, en cuanto a la franja horaria en la que se está volando, se alcanza a interpretar un muro que en realidad no es. Figura 43.

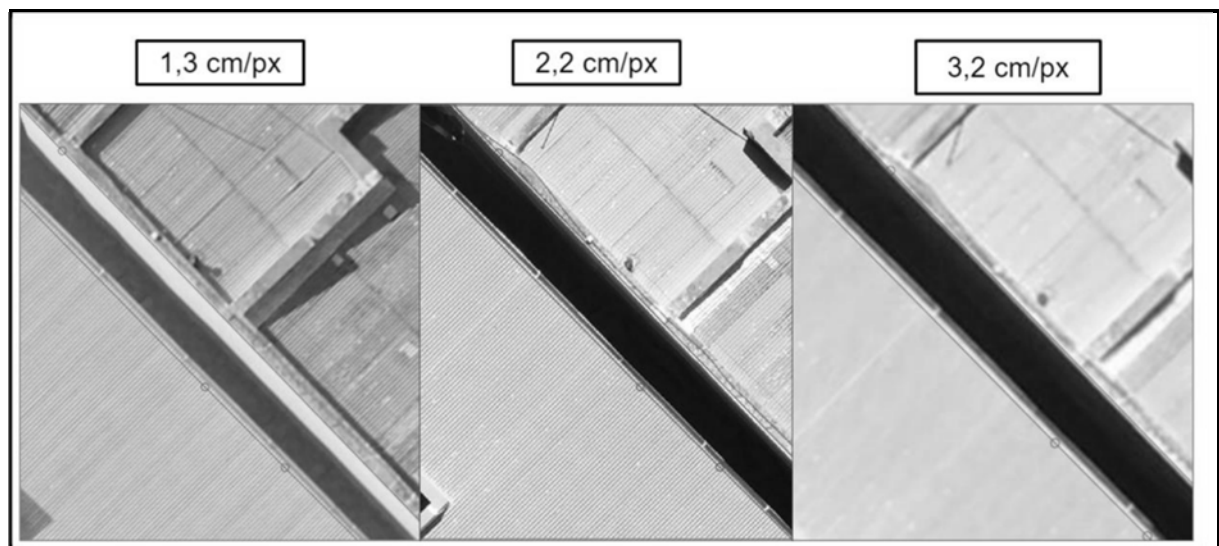


Figura 43. Comparación de Ortomosaicos. Fuente: Elaboración propia

5.2.1 Análisis analítico

Una vez que se comparan los ortomosaicos de manera gráfica, es decir, lo que se observa en cada uno de ellos, se realiza un análisis analítico de los mismos.

Para ello se realiza un control de calidad y se calculan distintos errores (Ver Anexo). Estos son, el desvío estándar, error medio absoluto (MAE) y la raíz cuadrada media del error (RMSE).

Se determinan 10 vértices a partir de la proyección de los puntos tomados con Estación Total, medición directa. Y los mismos vértices definidos a partir de los ortomosaicos, medición indirecta.

Primero se determina el desvío estándar, el cual es un índice numérico de la dispersión de un conjunto de datos. Es un promedio de las desviaciones individuales, en este caso de las coordenadas X e Y, de cada observación con respecto a la media de una distribución.

Luego se calcula el error medio absoluto, el cual es una medida de la diferencia entre variables continuas. Se considera dos series de datos, en este caso, datos a partir de medidas directas y datos a partir de medidas indirectas. Sirve para cuantificar la precisión de una técnica de predicción.

Por último, la raíz cuadrada media del error (RMSE) que mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. En otras palabras, compara un valor predicho (medida indirecta) y un valor conocido (medida directa). El valor deseado es 0, ya que indica que la medición no produjo errores.

Los resultados se observan en la Tabla 4 y 5.

Tabla 4	Ortomosaico 1,3		Ortomosaico 2,2		Ortomosaico 3,2	
	X	Y	X	Y	X	Y
Desvío estándar	11.834	12.417	11.873	12.348	11.821	12.417
n	10		10		10	
MAE	-0.01	-0.07	-0.06	-0.02	-0.08	-0.10
RMSE	0.09	0.09	0.08	0.09	0.13	0.14

Tabla 5	Medida Directa	Medida Indirecta		
		1,3 cm/px	2,2 cm/px	3,2 cm/px
Superficie Edificada	141.20	143.05	142.80	144.08
Superficie Parcela	402.78	400.70	396.89	399.34

A partir de las tablas se percibe que la desviación estándar es similar en los tres ortomosaicos. En cuanto a MAE y RMSE, los que presentan mejores resultados son los ortomosaicos de 1,3 y 2,2 cm/px. Esto se puede asociar a que vuelos de menor altura, las resoluciones son mayores y los errores disminuyen.

Si se tiene en cuenta el resultado de las superficies obtenidas, se demuestra que ninguna se acerca a la superficie de la medición directa.

5.3 Confección de Plano de Mensura

Una vez que se confrontan los títulos con el relevamiento, se confecciona el plano de mensura (ver Anexo). Este mismo se compone por una caratula, la mensura con su respectivo balance de superficies y un croquis según título. Este último se elabora a partir de la escritura N°776, que brinda información de titulares, inscripción de dominio y la designación del bien. Figura 44.

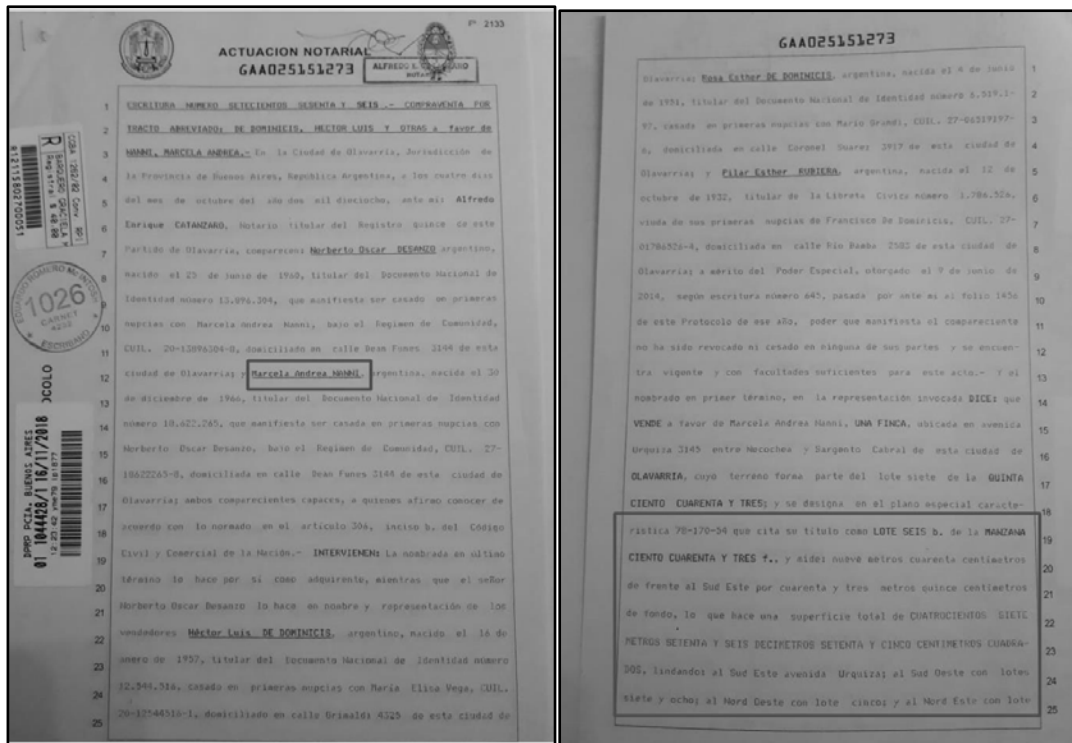


Figura 44. Escritura. Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizado el Plano, ARBA permite controlar las validaciones que requiere la Resolución 56/2020, por lo que, si se accede a la página, <https://www.arba.gov.ar/> se pueden revisar dichas validaciones. En la pestaña de Catastro y Geodesia, se selecciona trámites de profesionales con incumbencias y se realiza la prueba DXF. Se carga el plano de mensura en formato DXF y se seleccionan los controles, como resultado el plano estará aprobado o no. Figura 45.

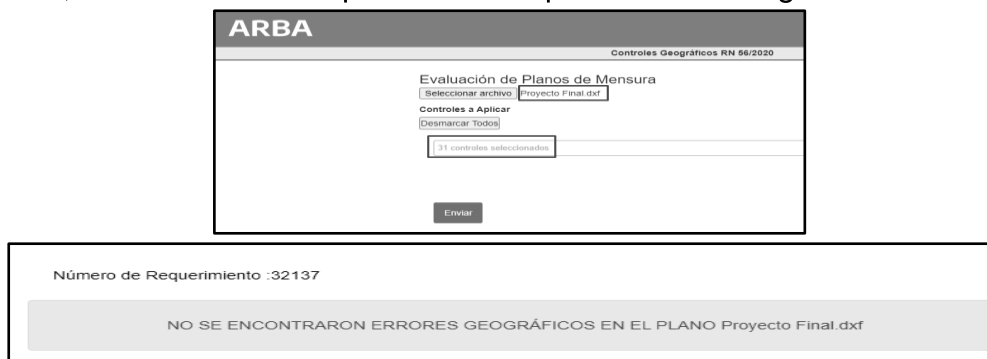


Figura 45. Validaciones de ARBA. Fuente: Elaboración propia

6. Conclusiones

En cuanto a la confección y calidad de los ortomosaicos resultantes, se puede decir que estos dependen de varios parámetros y factores de vuelo:

El clima y hora de vuelo: Dependiendo del horario que se elija realizar el vuelo, tendrá una incidencia directa con la luminosidad. Como dificultad podrá presentarse lugares con mayor o menor luz, provocando una confusión visual sobre hechos existentes que se encuentran en los macizos.

Ráfagas de viento: Influyen en la toma de imágenes, que puede provocar diferentes elevaciones y cambios de ángulos en la cámara al momento en que se toma la imagen. Esto hará que esta no se obtenga de manera correcta y que genere una inclinación en la misma.

GSD: La resolución espacial depende de la altura de vuelo, y ésta del lugar a relevar. Es decir, si hay edificación, antenas, entre otros de gran altura, condicionará dicha altura.

Una altura más baja significa una menor distancia para la muestra del suelo y resultados más detallados.

Superposición: En un primer momento se esperaba que, a menor altura, la superposición no sea constante en todo el vuelo. Como resultado se comprueba que a partir de datos que brinda el programa, al volar más bajo, la cantidad de fotos aumenta para poder respetar la superposición programada. Pero como se analiza a lo largo del proyecto, hacer un vuelo a diferentes alturas no garantiza que en los ortomosaicos generados no se observen deformaciones. También, se debe tener en cuenta que, no se tiene la misma superposición a nivel del suelo que en una medianera o en un edificio en altura, esta resulta menor como se observa en la Figura 46.

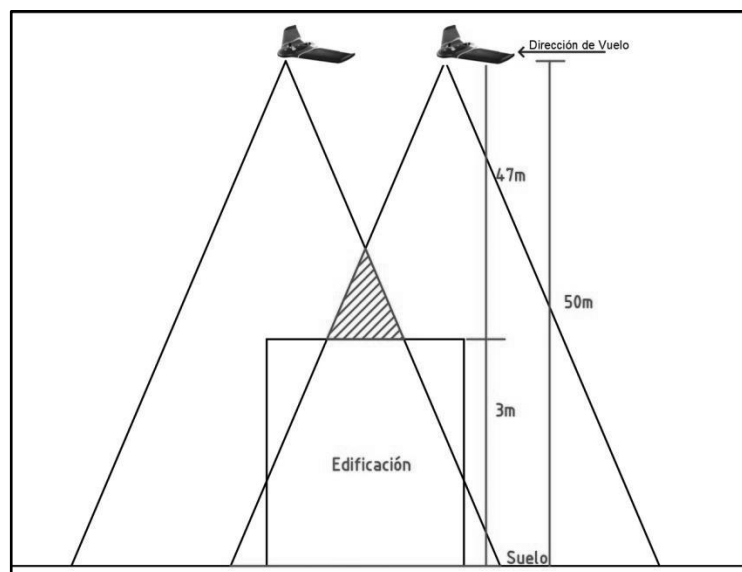


Figura 46. Superposición en edificaciones. Fuente: Elaboración propia

Para las precisiones que se requieren en dicho relevamiento, se puede decir que una resolución de aproximadamente 2 cm/px bastaría para poder obtener un mosaico que sirva de ayuda para la confección de un plano de mensura.

Si bien el ortomosaico de 1,3 cm/pixel presenta buenos resultados en el análisis analítico, presenta dificultades en algunos aspectos. Al volar más bajo significa más tiempo de vuelo (y baterías) para poder captar la misma área, como también el tiempo para procesar las imágenes con el software y generar el ortomosaico. Este último presenta inconvenientes a la hora de insertarlo en el AutoCAD Map 2016, generando una incompatibilidad por el gran tamaño del archivo (1,5 GB). Esto se debe a la cantidad de imágenes tomadas por el dron para mantener el solapamiento. Es importante aclarar que el AutoCAD Map acepta la imagen en varios formatos, pero si se quiere conservar el ortomosaico con las coordenadas se tiene que insertar en formato TIFF, y por ende realizar un recorte del mismo para que sea de un tamaño menor y poder trabajar con él.

Los UAV son un buen complemento para los relevamientos urbanos. Debido a que muchas veces se descartan datos que desde el suelo no se observan, desde la altura se puede mejorar o ayudar a resolver diversas situaciones, así como también, a comprender como están consolidados los macizos, ya sea el de la parcela a mensurar y los lindantes.

El alcance que se obtiene con los vuelos fotogramétricos no reemplaza a los instrumentales utilizados para la confección del plano de mensura, como la Estación Total o el equipo GNSS que se utilizaron para realizar una georreferenciación y medición de anchos de calles, distancias a esquina, frentes y fondos de parcelas.

7. Bibliografía

- *Puntos de control para drones y plantillas de dianas.* [En línea] Disponible en: <http://www.qisandbeers.com/puntos-de-control-drones-plantillas-dianas/> [Consultado el 26 de febrero, 2021].
- *Historia de los drones.* [En línea] Disponible en: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/> [Consultado el 1 de Marzo,2021].
- Bartaburu, S. G. (2013). *Evocaciones de una profesión milenaria.* (1.^a ed., p. <http://www.cpa.org.ar/>). Córdoba: Paula Benedetto. Disponible en: <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/libagr/index/assoc/HASH0176.dir/doc.pdf>
- Meliton, C., n.d. *Topografía I.* 1st ed. Olavarría, pp.50-70.
- Gismano, H., 2009. Apunte de Cátedra., 1st ed. Bahía Blanca.
- Argentina.gob.ar. 2019. *REGLAMENTO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT) Y DE SISTEMAS DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (SVANT).*[En línea] Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if-2019-reglamento-vant-rs-885.pdf> [Consultado 1 de Marzo, 2021].
- *Planeamiento de Vuelo Fotográfico para tomas de fotografías verticales.* [En línea] Disponible en: <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/lpr/pdf/p14.PDF> [Consultado el 3 de Marzo,2021].
- *Manual de levantamiento geológico.* [En línea] Disponible en: <http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/documentos/sipcyt/bfa005522.pdf> [Consultado el 4 de Marzo,2021].
- *Gnss KOLIDA k20s IMU.* [En línea] Disponible en: https://www.southgeosystems.com/contents/es/p701_Kolida-K20s-IMU.html [Consultado el 5 de Marzo,2021].
- ZCopters Aerial Imaging, 2016. *Qué es la Ground Sampling Distance? - Topografía con drones.* [video] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=8nJLCe3x3cQ> [6 de Marzo, 2021].
- *Introducciones la fotogrametría y su evolución* Antonio Cheli. [En línea] Disponible en: <http://www.bibliotecacpa.org.ar/greenstone/collect/libagr/index/assoc/HASH011b.dir/doc.pdf> [Consultado el 10 de Marzo,2021].
- Gomez, J., 2017. *Inicios de la agrimensura en Egipto, Grecia, Roma y Mesopotamia.* [En línea] Academia.edu. Disponible en [https://www.academia.edu/34373149/Inicios de la agrimensura en Egipto grecia roma y mesopotamia](https://www.academia.edu/34373149/Inicios_de_la_agrimensura_en_Egipto_grecia_roma_y_mesopotamia) [Consultado el 29 de Marzo,2021].
- Tecnitop |. n.d. *¿Cómo despegar y aterrizar un eBee? | Tecnitop.* [En línea] Disponible en: <https://tecnitop.com/es/como-despegar-y-aterrizar-un-eebe/> [Consultado el 2 de Abril,2021].
- Support. n.d. *Opciones de procesamiento.* [En línea] Disponible en: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557799-Menu-ProcessProcessing-Options-2-Point-Cloud-and-Mesh-Point-Cloud> [Consultado el 5 de Abri, 2021].

8. Anexos

8.1 Instrumental

8.1.1 Equipo GNSS Kolida - Modelo: K20s

- Características: Placa base GNSS de 692 canales, todas las constelaciones compatibles. Tecnología de medición inercial, pantalla OLED.
- Precisión Tiempo Real (RTK): Horizontal $\pm 8\text{mm} + 1 \text{ ppm}$ - Vertical $\pm 15\text{mm} + 1\text{ppm}$



8.1.2 Estación Total Leica - Modelo: TCR 307

- Característica: Precisión 7"



8.1.3 Drone eBee - Modelo SenseFly

Características: Planificador de vuelo y software eMotion, el peso incluido la cámara y batería es de 0,69 kg. La cámara fotográfica es senseFly S.O.D.A. con Sensor: 1" RGB, Obturador RGB: Global 1/30 - 1/2000 s. Cuenta con planificación automática de vuelo 3d, una velocidad de crucero de 40 - 90 km/h, Resistencia al viento hasta 45 km/h, Autonomía de vuelo de 50 min.

Encendido: Para realizar la marcha del motor, se agita tres veces para poner en marcha el motor, y directamente se lanza al aire, sin otro accesorio adicional.

Software: Planificador de vuelo y software(suministrado) eMotion. En la consola se muestran los parámetros de vuelo del aparato, su nivel de batería y el progreso de la adquisición de imágenes en tiempo real, mientras que la inteligencia artificial integrada en el piloto automático analiza de forma constante los datos IMU (unidad de medición inercial) y GPS a fin de controlar y optimizar el vuelo del dron. Cuenta con comportamientos inteligentes a prueba de fallo, reforzando aún más la seguridad y la fiabilidad.

Hardware: Envergadura: 96 cm - Peso (incluido cámara y batería suministradas): 0,69 kg - Motor: Silencioso, sin escobillas, eléctrico - Alcance de radio: Hasta 3 km - Alas desmontables.

Cámara: senseFly S.O.D.A. es la primera cámara de fotogrametría diseñada específicamente para uso profesional con drones y se ha convertido rápidamente en el sensor de referencia en su campo. Obtiene imágenes aéreas de una nitidez asombrosa en diferentes condiciones de luz, lo que permite generar ortomosaicos vívidos y detallados, así como modelos digitales de superficie en 3D de alta precisión. Es adecuada para supervisiones y catastros, cartografía topográfica, digitalización de emplazamientos, medición de volúmenes, inspecciones, entre otros.

Sensor: 1" RGB - Lente RGB: F/ 2.8-11, 10.6 mm (equivalencia a 35 mm: 29 mm) - Resolución RGB: 20 MP, 5472 X 3648 px (3:2) - Compensación de la exposición: ± 2.0 (incrementos de 1/3) - Obturador RGB: Global 1/30 - 1/2000 s - Balance de blancos: Auto,soleado, nublado, sombrío - Rango ISO: 125 - 6400 - RGB FOV: HFOV: 64°, VFOV: 45°, DFOV:73° - SOPORTE RTK/PPK : Si- Temperatura Operativa: -10° 40° C - Formatos RGB: JPEG, DNG+JPEG.

Funcionamiento: Cuenta con planificación automática de vuelo 3d, una velocidad de crucero de 40 - 90 km/h, Resistencia al viento hasta 45 km/h, Autonomía de vuelo de 50 min.



8.1.4 Drone Phantom 4 - Modelo pro v2

Características: Pesa 1388 g, tiene una distancia diagonal (sin hélices) de 350 mm, su autonomía de vuelo es de 30 minutos, velocidad máxima: 20 m/presenta baterías Inteligentes de Polímero de Litio. La Cámara tiene un sensor CMOS de 1', un obturador mecánico y la resolución es de 20 Megapíxeles. Contiene 4 hélices de plástico. Planificador de vuelo y software: DJI GS PRO.



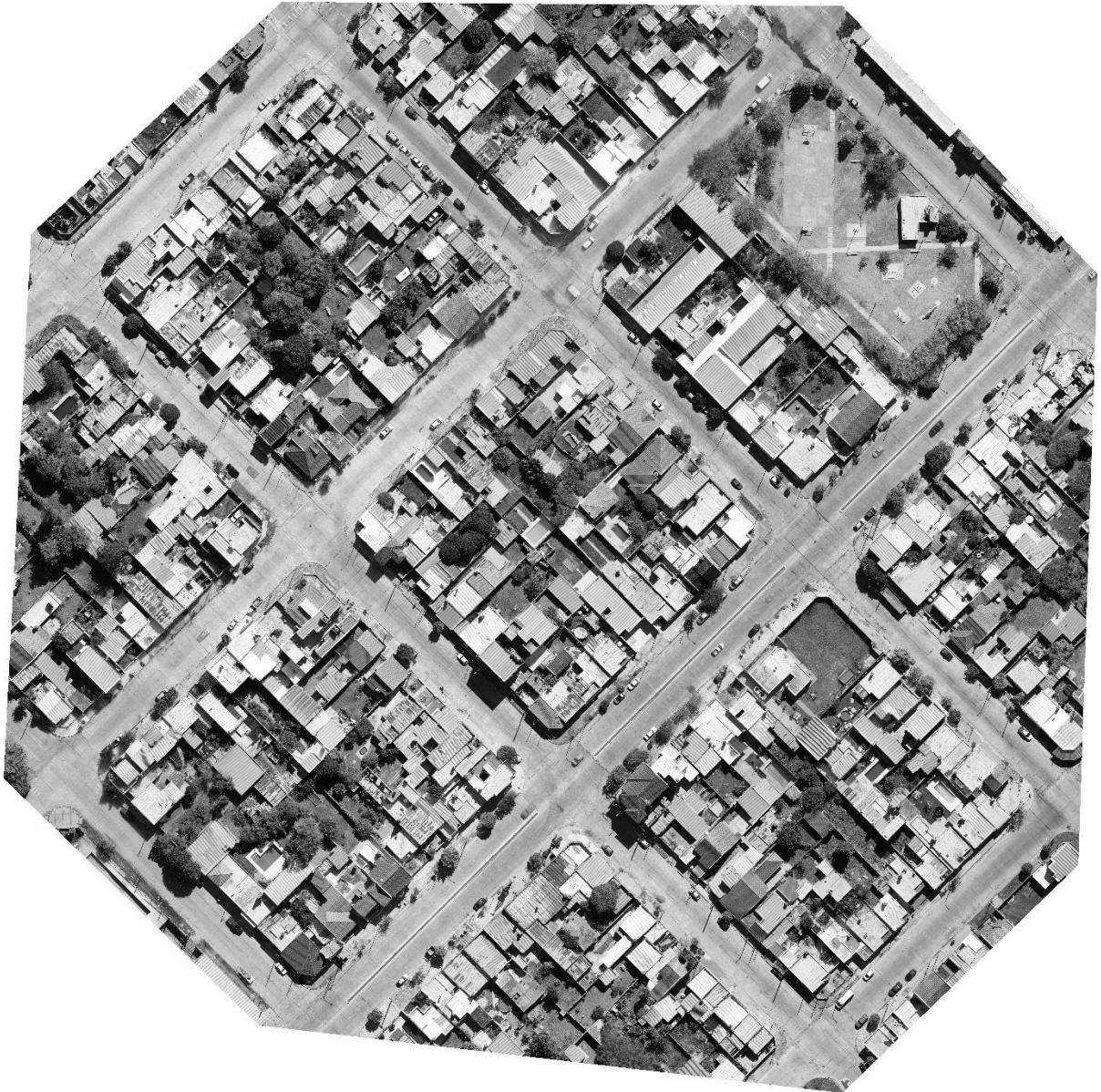
8.1.5 Distanciómetro Leica - Modelo: D510

- Característica: Precisión ± 1 mm



8.2 Ortomosaicos

8.2.1 Vuelo 1 eBee SenseFly – Resolución 1,3 cm/px



Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 3.1.22

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	casa angle 50
Processed	2021-04-04 11:07:56
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.32 cm / 0.52 in
Area Covered	0.1224 km ² / 12.2413 ha / 0.0473 sq. mi. / 30.2645 acres
Time for Initial Processing (without report)	29m:50s

Quality Check

Images	median of 43352 keypoints per image	
Dataset	377 out of 377 images calibrated (100%), all images enabled	
Camera Optimization	1.69% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
Matching	median of 17085.1 matches per calibrated image	
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.015 m	

Preview

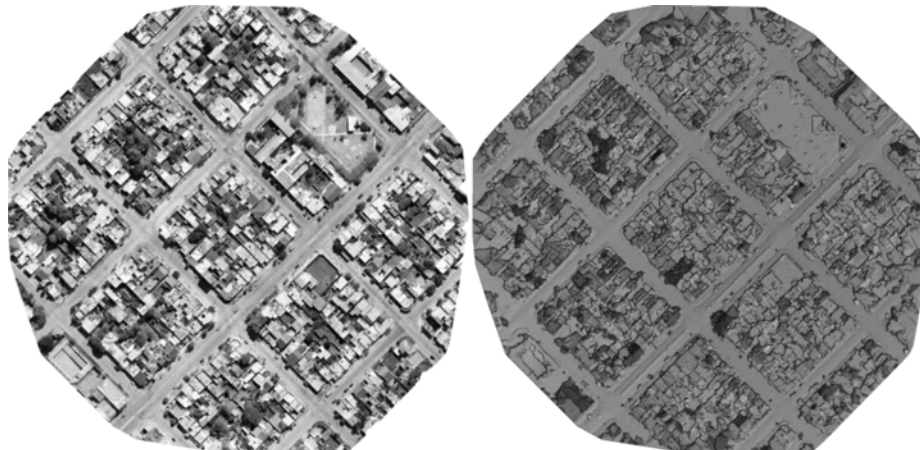


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	377 out of 377
Number of Geolocated Images	377 out of 377

Initial Image Positions

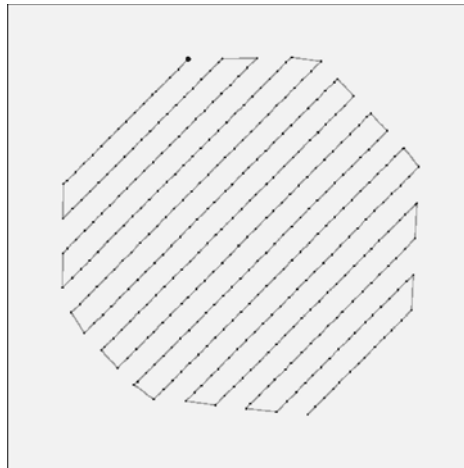
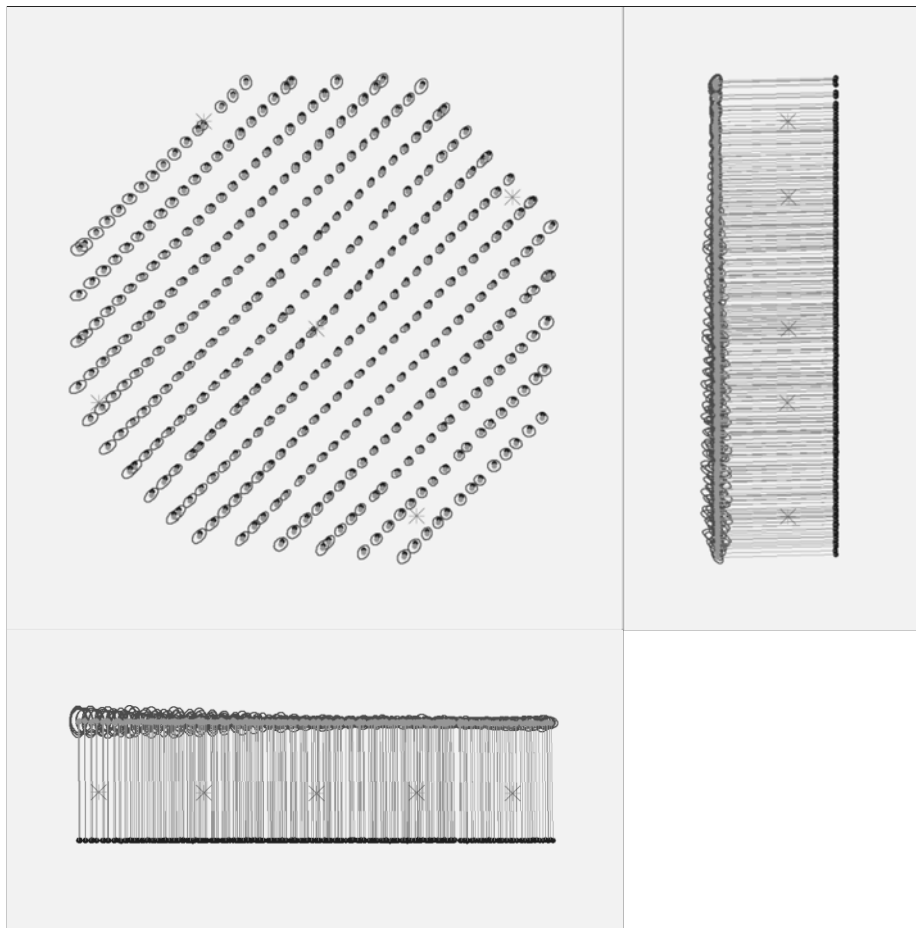


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

② Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

1



Uncertaintyellipses 100xmagnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

③ Absolute camera position and orientation uncertainties

1

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.037	0.036	0.046	0.042	0.035	0.010
Sigma	0.007	0.007	0.019	0.009	0.007	0.002

Overlap

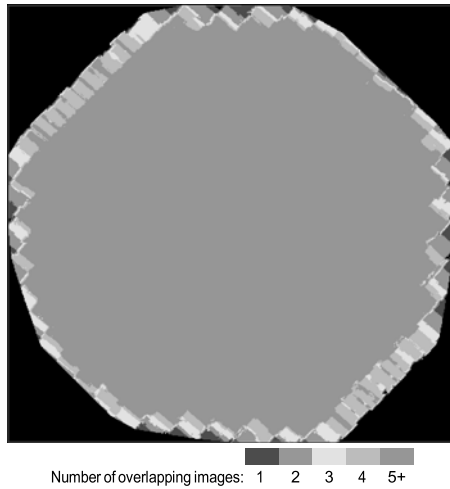


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details


Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	6389312
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2200718
Mean Reprojection Error [pixels]	0.184

Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB), Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]

EXIF ID: FC6310S_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3730.776 [pixel] 8.750 [mm]	2755.118 [pixel] 6.461 [mm]	1846.328 [pixel] 4.330 [mm]	0.007	-0.013	0.012	0.002	0.002
Uncertainties (Sigma)	0.113 [pixel] 0.000 [mm]	0.063 [pixel] 0.000 [mm]	0.090 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

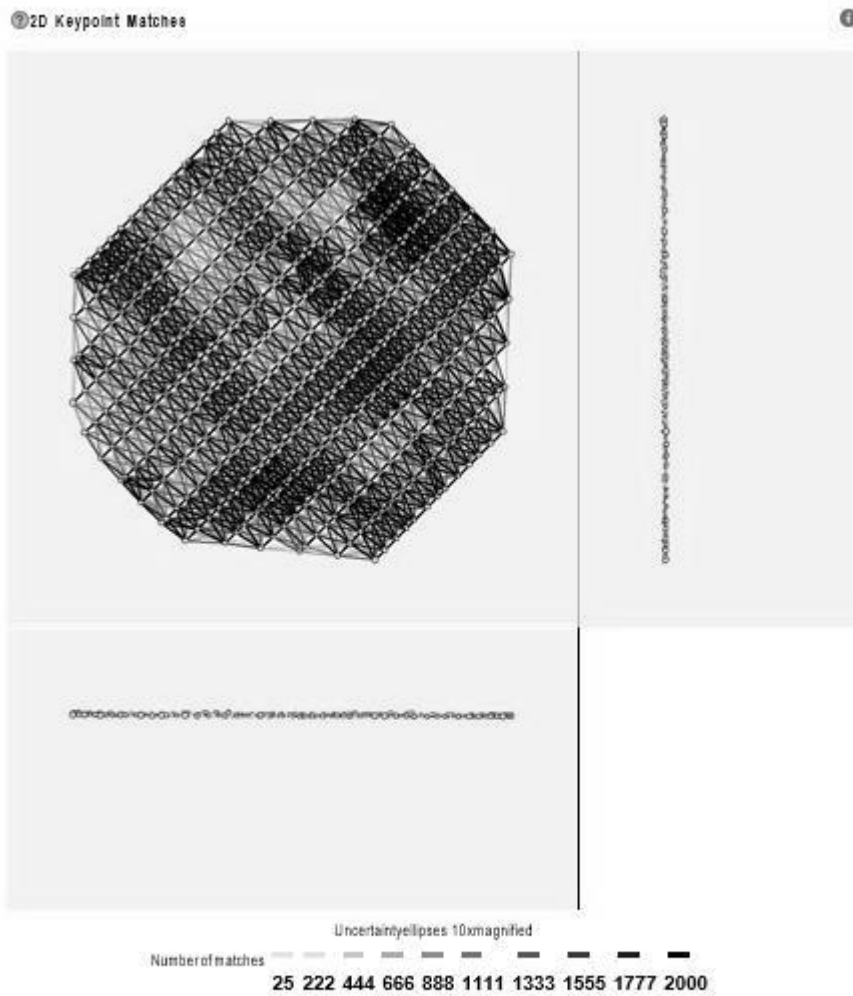
2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	43352	17085
Min	29664	7346
Max	59798	25337
Mean	43489	16948

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1427579
In 3 Images	355317
In 4 Images	163068
In 5 Images	79252
In 6 Images	50954
In 7 Images	37178
In 8 Images	27791

In 9 Images	18739
In 10 Images	13696
In 11 Images	11494
In 12 Images	9328
In 13 Images	3497
In 14 Images	1440
In 15 Images	704
In 16 Images	434
In 17 Images	191
In 18 Images	45
In 19 Images	10
In 20 Images	1



8.2.2 Vuelo 2 Phantom 4 pro v2– Resolución 2,2 cm/px



Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 3.1.22

Important: Click on the different icons for:

- Help to analyze the results in the Quality Report
- Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	casa_angle
Processed	2021-04-05 11:55:38
Camera Model Name(s)	SODA_10.6_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.24 cm / 0.88 in
Area Covered	0.1901 km ² / 19.0115 ha / 0.0734 sq. mi. / 47.0027 acres

Quality Check

Images	median of 50653 keypoints per image	✓
Dataset	123 out of 123 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.57% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 15941.1 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.022 m	✓

Preview

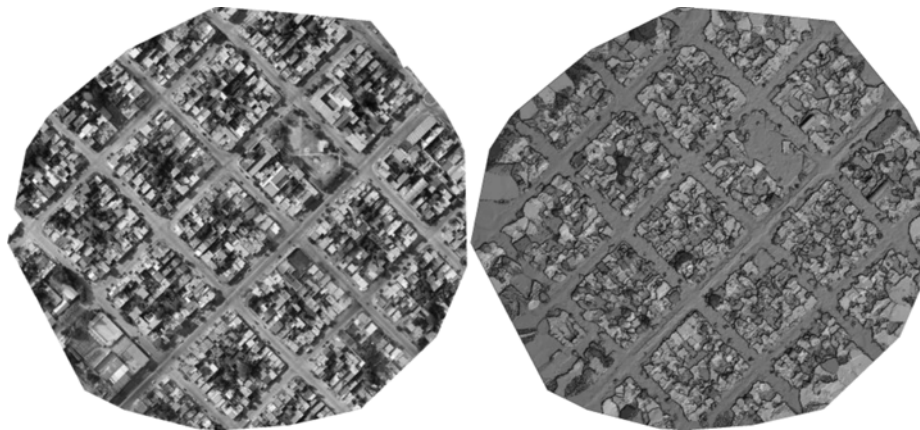


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	123 out of 123
Number of Geolocated Images	123 out of 123

Initial Image Positions

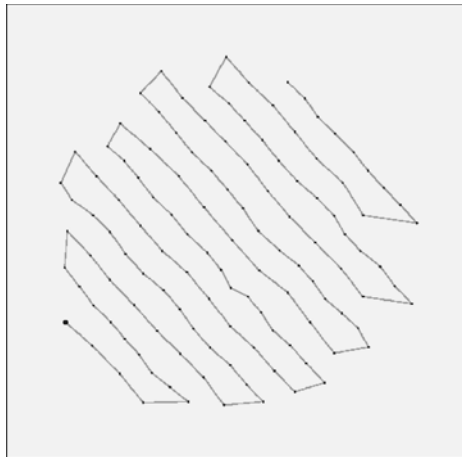
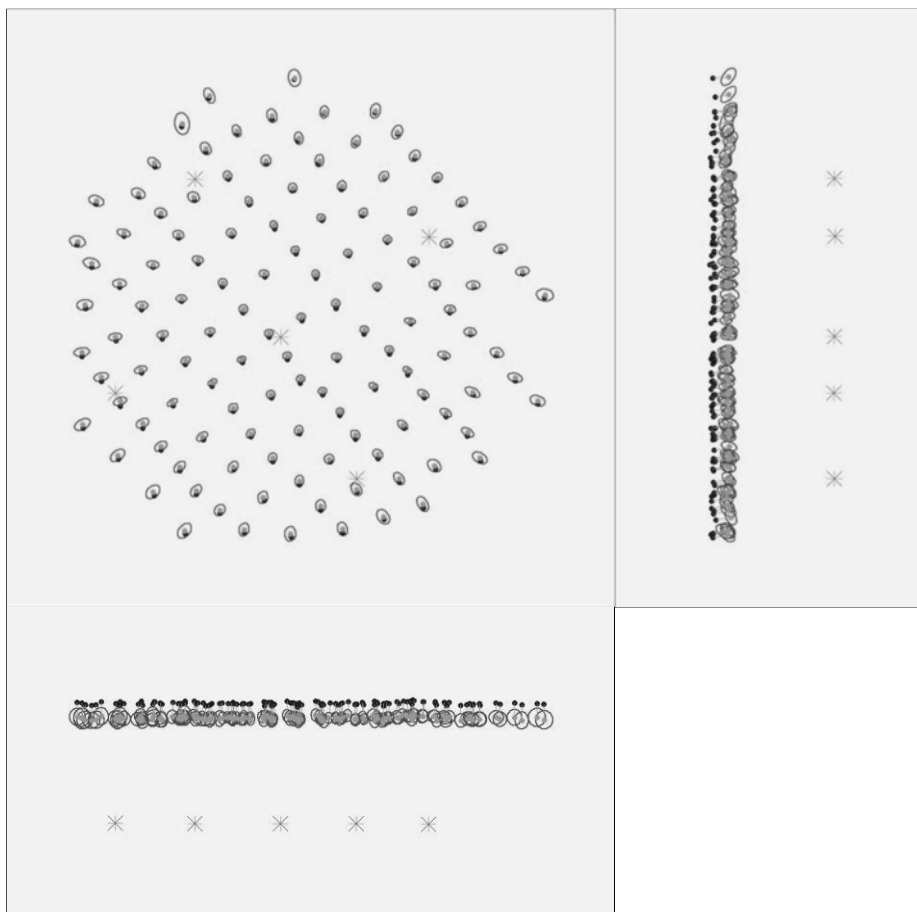


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

② Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

1



Uncertainty ellipses 100x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

② Absolute camera position and orientation uncertainties

1

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.052	0.048	0.062	0.029	0.027	0.008
Sigma	0.010	0.011	0.010	0.007	0.006	0.003

② Overlap

1

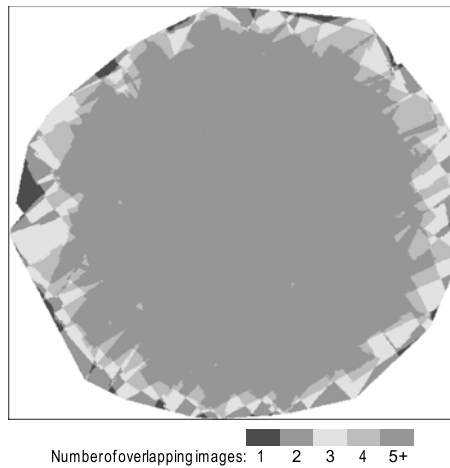


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1852292
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	731643
Mean Reprojection Error [pixels]	0.187

Internal Camera Parameters

S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 13.133 [mm] x 8.755 [mm]

EXIF ID: S.O.D.A._10.6_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4430.420 [pixel] 10.633 [mm]	2725.000 [pixel] 6.540 [mm]	1811.670 [pixel] 4.348 [mm]	0.033	-0.209	0.315	0.000	0.000
Optimized Values	4404.879 [pixel] 10.572 [mm]	2691.395 [pixel] 6.459 [mm]	1820.559 [pixel] 4.369 [mm]	0.032	-0.199	0.292	-0.001	-0.002
Uncertainties (Sigma)	1.651 [pixel] 0.004 [mm]	0.417 [pixel] 0.001 [mm]	0.496 [pixel] 0.001 [mm]	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

2D Keypoints Table

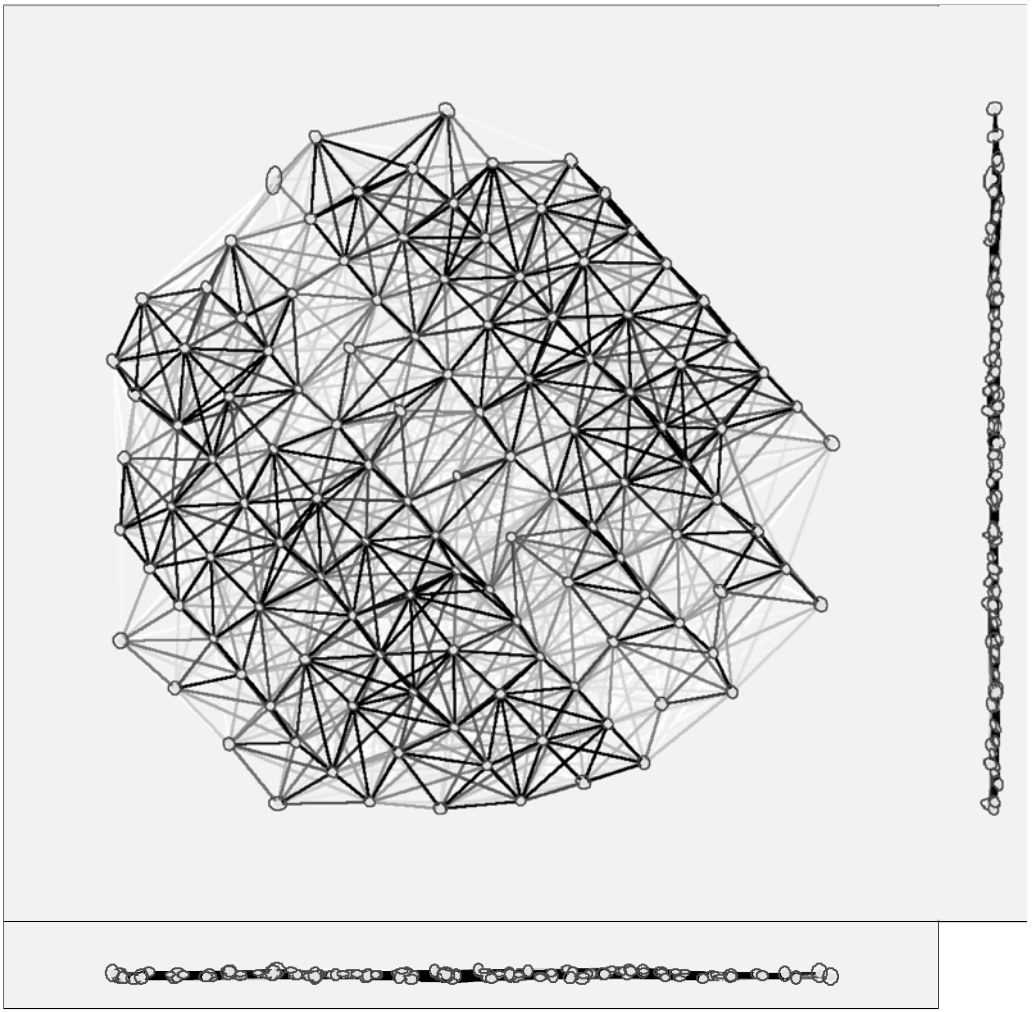
	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	50653	15941
Min	39391	5100
Max	58897	21469
Mean	50562	15059

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	520749
In 3 Images	119397
In 4 Images	45802
In 5 Images	22434
In 6 Images	12108
In 7 Images	6605
In 8 Images	3069
In 9 Images	1087
In 10 Images	315
In 11 Images	67

In 12 Images 10

2D Keypoint Matches



Uncertainty ellipses 100xmagnified

Number of matches 25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

2b 222 444 bbb 666 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 2: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X[m]	Y[m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.033	0.034	0.027	0.027	0.025	0.006
Sigma	0.006	0.007	0.010	0.009	0.008	0.003

Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
Pa01 (3D)	0.020/0.020	-0.005	0.009	-0.103	0.350	3 / 3
Pa02 (3D)	0.020/0.020	0.005	-0.004	-0.007	0.467	3 / 3
Pa03 (3D)	0.020/0.020	-0.014	-0.017	0.003	0.444	3 / 3
Pa04 (3D)	0.020/0.020	0.023	0.002	-0.001	0.346	3 / 3
Pa05 (3D)	0.020/0.020	-0.013	0.006	0.023	0.685	4 / 4
Mean [m]		-0.000936	-0.000699	-0.017149		
Sigma [m]		0.013649	0.009180	0.044198		
RM 1 Error [m]		0.013681	0.009206	0.047408		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	MaxError [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z [%]
-	-3.95	0.00	0.00	0.00
-3.95	-3.16	0.00	0.00	0.00
-3.16	-2.37	0.00	0.00	0.00
-2.37	-1.58	0.00	0.00	0.00
-1.58	-0.79	2.44	7.32	8.94
-0.79	0.00	55.28	43.09	34.15
0.00	0.79	39.84	36.59	54.47
0.79	1.58	2.44	8.94	2.44
1.58	2.37	0.00	4.07	0.00
2.37	3.16	0.00	0.00	0.00
3.16	3.95	0.00	0.00	0.00
3.95	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.077665	-2.872908	13.989071
Sigma [m]		0.410447	0.680101	0.531202
RMS Error [m]		0.417730	2.952311	13.999153

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.102439	-2.933883	13.985330

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	97.56	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	1.637943	1.637943	2.147065
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.164486	0.164486	0.226004

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	3.650
Phi	3.932
Kappa	20.921

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4712HQ CPU @ 2.30GHz RAM: 16 GB GPU: Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver: 10.18.15.4248)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	POSGAR 2007/Argentina 5
Output Coordinate System	POSGAR 2007/Argentina 5

Processing Options

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor

Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes Bundle Adjustment: Classic

Point Cloud Densification details i

Processing Options i

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group 1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no

Results i

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	21227425
Average Density (per m ³)	214.59

DSM, Orthomosaic and Index Details i

Processing Options i

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.24 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no

8.2.3 Vuelo 3 Phantom 4 pro v2– Resolución 3,2 cm/px



Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 3.1.22

! **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

💡 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

Summary i

Project	casa angie 120
Processed	2021-04-04 21:55:10
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_5472x3648(RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.22 cm / 1.26 in
Area Covered	0.1813 km ² / 18.1325 ha / 0.07 sq. mi. / 44.8296 acres
Time for Initial Processing (without report)	13m:

Quality Check i

? Images	median of 50241 keypoints per image	<input checked="" type="checkbox"/>
? Dataset	117 out of 117 images calibrated (100%), all images enabled	<input checked="" type="checkbox"/>
? Camera Optimization	0.1% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	<input checked="" type="checkbox"/>
? Matching	median of 24298.6 matches per calibrated image	<input checked="" type="checkbox"/>
? Georeferencing	yes, 5 GCPs (5 3D), mean RMS error = 0.019 m	<input checked="" type="checkbox"/>

? Preview i

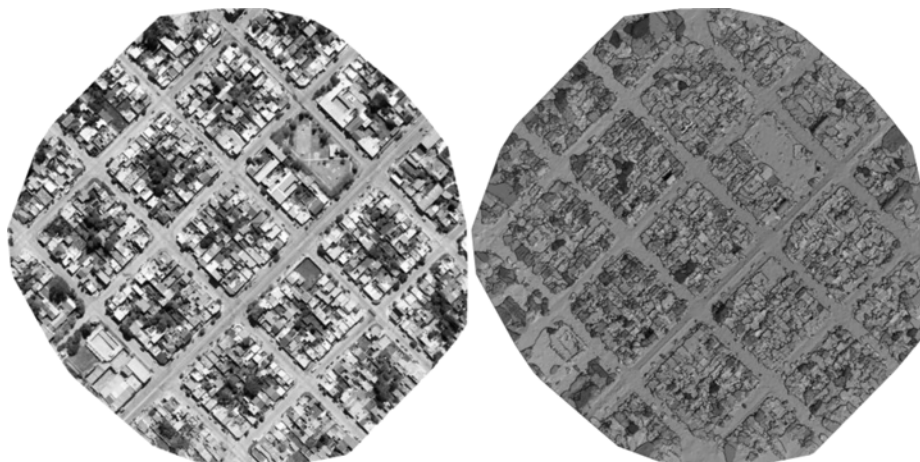


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details i

Number of Calibrated Images	117 out of 117
Number of Geolocated Images	117 out of 117

? Initial Image Positions i

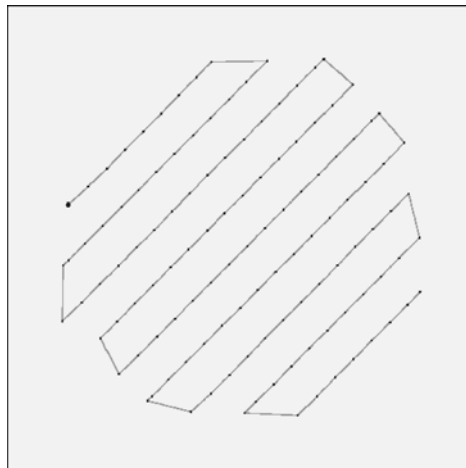
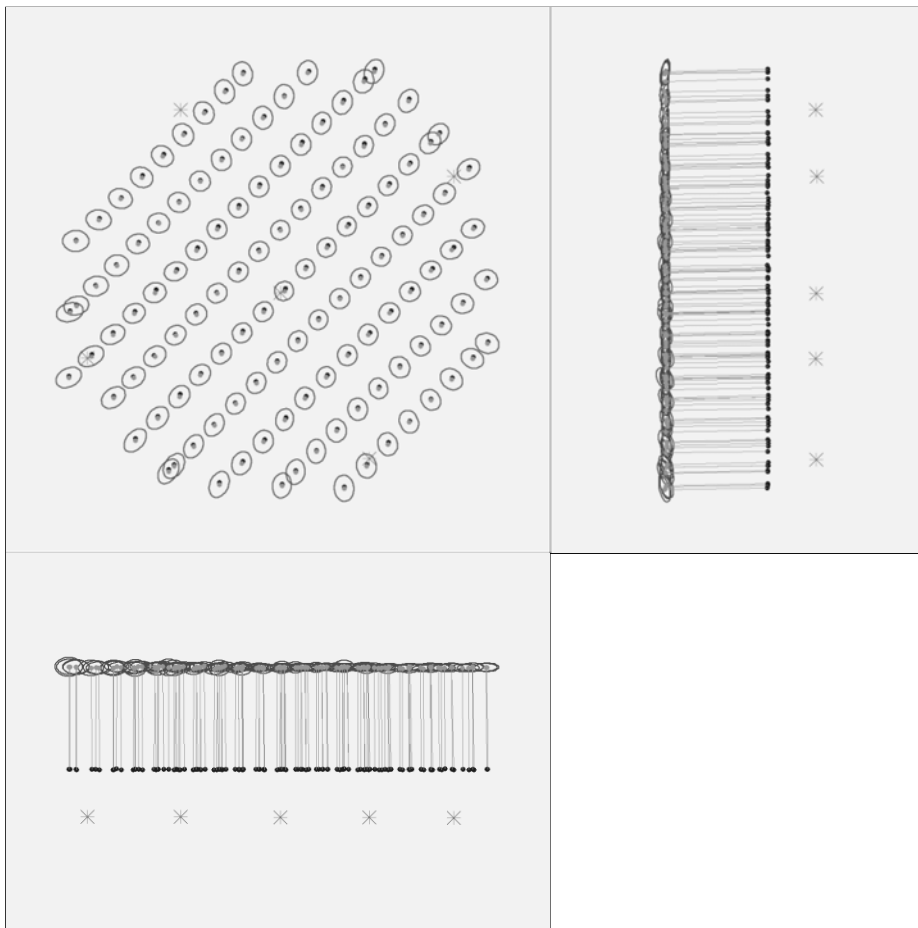


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

② Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

①



Uncertaintyellipses 50xmagnified

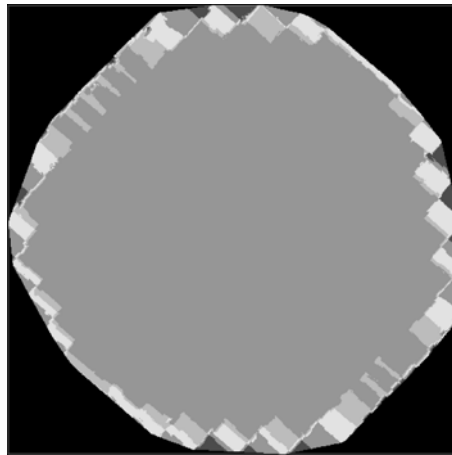
Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

② Absolute camera position and orientation uncertainties

①

	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.170	0.173	0.071	0.041	0.037	0.005
Sigma	0.014	0.013	0.021	0.013	0.012	0.001

? Overlap



Number of overlapping images: 1 2 3 4 5+

Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2768314
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	887382
Mean Reprojection Error [pixels]	0.192

? Internal Camera Parameters

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 12.833 [mm] x 8.556 [mm]



EXIF ID: FC6310S_8.8_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3668.759 [pixel] 8.604 [mm]	2736.001 [pixel] 6.417 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.003	-0.008	0.008	-0.000	0.000
Optimized Values	3672.733 [pixel] 8.614 [mm]	2752.763 [pixel] 6.456 [mm]	1856.018 [pixel] 4.353 [mm]	0.007	-0.015	0.013	0.002	0.002
Uncertainties (Sigma)	0.178 [pixel] 0.000 [mm]	4.466 [pixel] 0.010 [mm]	4.735 [pixel] 0.011 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000

The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	50241	24299
Min	45002	14732
Max	57221	28182
Mean	50184	23661

? 3D Points from 2D Keypoint Matches

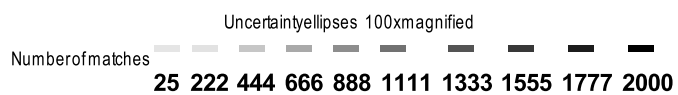
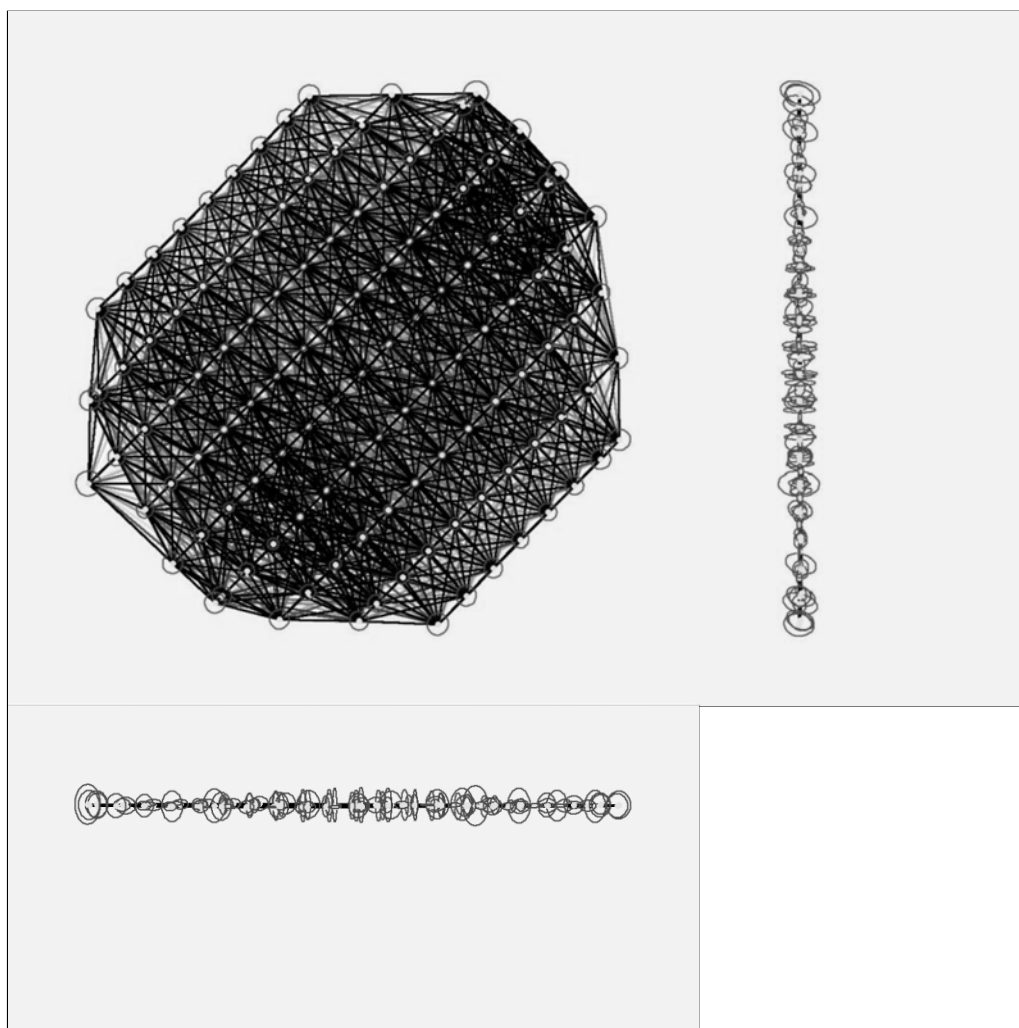


	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	567279
In 3 Images	143403
In 4 Images	61296
In 5 Images	32611
In 6 Images	19662
In 7 Images	13737

In 8 Images	10234
In 9 Images	8034
In 10 Images	6233
In 11 Images	4742
In 12 Images	3807
In 13 Images	3263
In 14 Images	2767
In 15 Images	2129
In 16 Images	1692
In 17 Images	1400
In 18 Images	1285
In 19 Images	1074
In 20 Images	790
In 21 Images	630
In 22 Images	481
In 23 Images	420
In 24 Images	293
In 25 Images	101
In 26 Images	19

? 2D Keypoint Matches

1



Geolocation Details

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
Paf01 (3D)	0.020/0.020	0.006	0.011	-0.042	0.186	3 / 3
Paf02 (3D)	0.020/0.020	-0.018	-0.004	0.037	0.416	3 / 3
Paf03 (3D)	0.020/0.020	-0.001	-0.012	-0.029	0.185	3 / 3
Paf04 (3D)	0.020/0.020	0.009	-0.011	0.057	0.300	3 / 3
Paf05 (3D)	0.020/0.020	0.004	0.007	-0.024	0.435	3 / 3
Mean [m]		0.000015	-0.001768	-0.000214		
Sigma [m]		0.009315	0.009304	0.039592		
RMS Error [m]		0.009315	0.009471	0.039592		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	MaxError [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	48.72	54.70	50.43
0.00	3.00	51.28	45.30	49.57
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.363359	1.462482	-81.663651
Sigma [m]		0.458875	0.395685	0.472309
RMS Error [m]		0.585317	1.515064	81.665017

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	0.363359	1.462482	-81.663651

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X[%]	Images Y[%]	Images Z[%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	0.753
Phi	0.509
Kappa	4.116

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4712HQCPU @2.30GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver:10.18.15.4248)
Operating System	Windows 10 Home,64-bit

Coordinate Systems i

Image Coordinate System	WGS84 (egm96)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	POSGAR 2007 / Argentina 5 (egm96)
Output Coordinate System	POSGAR 2007 / Argentina 5 (egm96)

Processing Options i

Detected Template	Mapas 3D
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes Bundle Adjustment: Classic

Point Cloud Densification details i

Processing Options i

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	no
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group 1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Time for Point Cloud Densification	32m:14s

Results i

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	14650541
Average Density (per m ³)	80.71

DSM, Orthomosaic and Index Details i

Processing Options i

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.22 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	18m:08s
Time for Orthomosaic Generation	27m:42s

8.3 Calculo de errores.

Medición Directa

Punto	Estación Total	
	X	Y
1	5472371.333	5916580.121
2	5472377.896	5916586.955
3	5472408.239	5916555.889
4	5472401.761	5916549.457
5	5472396.669	5916554.590
6	5472398.491	5916556.417
7	5472399.496	5916555.395
8	5472403.204	5916559.167
9	5472390.432	5916572.150
10	5472384.703	5916566.648

Medición Indirecta

Punto	Ortomosaico 1,3 cm/px									
	X	Y	Ort1x - X	Ort1y - Y	(Ort1X - X)^2	(Ort1Y - Y)^2	X - Ort1x	Y - Ort1y	(X - Ort1x)^2	(Y - Ort1Y)^2
1	5472371.341	5916580.119	0.008	-0.002	0.000	0.000	-0.008	0.002	0.000	0.000
2	5472378.018	5916586.916	0.122	-0.039	0.015	0.002	-0.122	0.039	0.015	0.002
3	5472408.110	5916555.748	-0.129	-0.141	0.017	0.020	0.129	0.141	0.017	0.020
4	5472401.692	5916549.429	-0.069	-0.028	0.005	0.001	0.069	0.028	0.005	0.001
5	5472396.657	5916554.520	-0.012	-0.070	0.000	0.005	0.012	0.070	0.000	0.005
6	5472398.384	5916556.245	-0.107	-0.172	0.011	0.030	0.107	0.172	0.011	0.030
7	5472399.362	5916555.265	-0.134	-0.130	0.018	0.017	0.134	0.130	0.018	0.017
8	5472403.298	5916559.127	0.094	-0.040	0.009	0.002	-0.094	0.040	0.009	0.002
9	5472390.478	5916572.193	0.046	0.043	0.002	0.002	-0.046	-0.043	0.002	0.002
10	5472384.744	5916566.567	0.041	-0.081	0.002	0.007	-0.041	0.081	0.002	0.007
			-0.140	-0.660	0.079	0.084	0.140	0.660	0.079	0.084

Desvío estándar	11.834	12.417
n	10	
MAE	-0.01	-0.07
RMSE	0.09	0.09

Ortomosaico 2,2 cm/px									
X	Y	Ort2x - X	Ort2y - Y	(Ort2X - X)^2	(Ort2Y - Y)^2	X - Ort2x	Y - Ort2y	(X - Ort2x)^2	(Y - Ort2Y)^2
5472371.267	5916580.111	-0.066	-0.010	0.004	0.000	0.066	0.010	0.004	0.000
5472377.839	5916586.776	-0.057	-0.179	0.003	0.032	0.057	0.179	0.003	0.032
5472408.107	5916555.745	-0.132	-0.144	0.017	0.021	0.132	0.144	0.017	0.021
5472401.741	5916549.498	-0.020	0.041	0.000	0.002	0.020	-0.041	0.000	0.002
5472396.558	5916554.656	-0.111	0.066	0.012	0.004	0.111	-0.066	0.012	0.004
5472398.357	5916556.404	-0.134	-0.013	0.018	0.000	0.134	0.013	0.018	0.000
5472399.397	5916555.373	-0.099	-0.022	0.010	0.000	0.099	0.022	0.010	0.000
5472403.224	5916559.233	0.020	0.066	0.000	0.004	-0.020	-0.066	0.000	0.004
5472390.474	5916572.235	0.042	0.085	0.002	0.007	-0.042	-0.085	0.002	0.007
5472384.689	5916566.593	-0.014	-0.055	0.000	0.003	0.014	0.055	0.000	0.003
		-0.571	-0.165	0.068	0.074	0.571	0.165	0.068	0.074

Desvío estándar	11.873	12.348
n	10	
MAE	-0.06	-0.02
RMSE	0.08	0.09

Ortomosaico 3,2 cm/px									
X	Y	Ort3x - X	Ort3y - Y	(Ort3X - X)^2	(Ort3Y - Y)^2	X- Ort3x	Y - Ort3y	(X- Ort3x)^2	(Y-Ort3y)^2
5472371.271	5916580.175	-0.062	0.054	0.004	0.003	0.062	-0.054	0.004	0.003
5472378.034	5916586.750	0.138	-0.205	0.019	0.042	-0.138	0.205	0.019	0.042
5472408.020	5916555.709	-0.219	-0.180	0.048	0.032	0.219	0.180	0.048	0.032
5472401.606	5916549.322	-0.155	-0.135	0.024	0.018	0.155	0.135	0.024	0.018
5472396.528	5916554.488	-0.141	-0.102	0.020	0.010	0.141	0.102	0.020	0.010
5472398.320	5916556.250	-0.171	-0.167	0.029	0.028	0.171	0.167	0.029	0.028
5472399.325	5916555.236	-0.171	-0.159	0.029	0.025	0.171	0.159	0.029	0.025
5472403.247	5916559.049	0.043	-0.118	0.002	0.014	-0.043	0.118	0.002	0.014
5472390.447	5916572.216	0.015	0.066	0.000	0.004	-0.015	-0.066	0.000	0.004
5472384.644	5916566.574	-0.059	-0.074	0.003	0.005	0.059	0.074	0.003	0.005
		-0.782	-1.020	0.179	0.183	0.782	1.020	0.179	0.183

Desvío estándar	11.821	12.417
n	10	
MAE	-0.08	-0.10
RMSE	0.13	0.14

8.4 Informe de Procesamiento

Informe de procesamiento de líneas base

Detalles de la sesión

AZUL - 1 (09:55:25 a. m.-11:51:25 a. m.) (S1)

Observación de líneas

base:	<u>AZUL --- 1 (B1)</u>
Procesada:	02/04/2021 11:30:07 a. m.
Tipo de solución:	Fijo
Frecuencia de uso:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.005 m
Precisión vertical:	0.023 m
RMS:	0.008 m
PDOP máximo:	2.374
Efeméride utilizada:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Relative
Procesando hora de inicio:	01/04/2021 09:55:25 a. m. (Desajuste con respecto a GPS: -3hr)
Procesando hora de término:	01/04/2021 11:51:25 a. m. (Desajuste con respecto a GPS: -3hr)
Procesando duración:	01:56:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes del vector (Marca a Marca)

De:	AZUL				
	Cuadrícula		Local		Global
Este	5510599.605 m	Latitud	S36°46'01.28003"	Latitud	S36°46'01.28003"
Valor norte	5931302.997 m	Longitud	W59°52'52.60867"	Longitud	W59°52'52.60867"
Elevación	141.045 m	Altura	158.313 m	Altura	158.313 m

A:	1				
	Cuadrícula		Local		Global
Este	5472385.385 m	Latitud	S36°53'57.77401"	Latitud	S36°53'57.77400"
Valor norte	5916576.216 m	Longitud	W60°18'35.37969"	Longitud	W60°18'35.37969"

Elevación	162.441 m	Altura	179.773 m	Altura	179.773 m
------------------	-----------	---------------	-----------	---------------	-----------

Vector:					
ΔEste	-38214.220 m	Acimut Adelante NS	248°51'13"	ΔX	-37521.391 m
ΔValor norte	-14726.781 m	Dist. elip	40953.592	ΔY	-11441.200 m
ΔElevación	21.396 m	ΔAltura	21.461	ΔZ	-11769.637 m

Errores estándar

Errores del vector:					
σ ΔEste	0.002 m	σ ΔAcimut Adelante NS	0°00'00"	σ ΔX	0.005 m
σ ΔValor norte	0.002 m	σ ΔDist. elip	0.002 m	σ ΔY	0.008 m
σ ΔElevación	0.012 m	σ ΔAltura	0.012 m	σ ΔZ	0.007 m

Informe de procesamiento de líneas base

Detalles de la sesión

AZUL - 1 (09:55:25 a. m.-10:53:25 a. m.) (S1)

Observación de líneas base:

AZUL --- 1 (B1)

Procesada:	02/04/2021 11:54:44 a. m.
Tipo de solución:	Fijo
Frecuencia de uso:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.008 m
Precisión vertical:	0.013 m
RMS:	0.008 m
PDOP máximo:	2.188
Efeméride utilizada:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Relative
Procesando hora de inicio:	01/04/2021 09:55:25 a. m. (Desajuste con respecto a GPS: -3hr)
Procesando hora de término:	01/04/2021 10:53:25 a. m. (Desajuste con respecto a GPS: -3hr)
Procesando duración:	00:58:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes del vector (Marca a Marca)

De:	AZUL				
Cuadrícula		Local		Global	
Este	5510599.605 m	Latitud	S36°46'01.28003"	Latitud	S36°46'01.28003"
Valor norte	5931302.997 m	Longitud	W59°52'52.60867"	Longitud	W59°52'52.60867"
Elevación	141.045 m	Altura	158.313 m	Altura	158.313 m

A:	1				
Cuadrícula		Local		Global	
Este	5472385.376 m	Latitud	S36°53'57.77362"	Latitud	S36°53'57.77362"
Valor norte	5916576.228 m	Longitud	W60°18'35.38005"	Longitud	W60°18'35.38005"
Elevación	162.370 m	Altura	179.702 m	Altura	179.702 m

Vector:					
ΔEste	-38214.229 m	Acimut Adelante NS	248°51'13"	ΔX	-37521.424 m
ΔValor norte	-14726.769 m	Dist. elip	40953.596	ΔY	-11441.161 m
ΔElevación	21.325 m	ΔAltura	21.390	ΔZ	-11769.585 m

Errores estándar

Errores del vector:					
σ ΔEste	0.003 m	σ ΔAcimut Adelante NS	0°00'00"	σ ΔX	0.003 m
σ ΔValor norte	0.003 m	σ ΔDist. elip	0.003 m	σ ΔY	0.005 m
σ ΔElevación	0.007 m	σ ΔAltura	0.007 m	σ ΔZ	0.005 m

Informe de procesamiento de líneas base

Detalles de la sesión

AZUL - 1 (10:53:25 a. m.-11:51:25 a. m.) (B1)

Observación de líneas base:

AZUL --- 1 (B1)

Procesada:	02/04/2021 11:57:53 a. m.
Tipo de solución:	Fijo
Frecuencia de uso:	Frecuencia doble (L1, L2)
Precisión horizontal:	0.005 m
Precisión vertical:	0.012 m
RMS:	0.008 m
PDOP máximo:	2.374
Efeméride utilizada:	Transmisión
Modelo de antena:	NGS Relative
Procesando hora de inicio:	01/04/2021 10:53:25 a. m. (Desajuste con respecto a GPS: -3hr)
Procesando hora de término:	01/04/2021 11:51:25 a. m. (Desajuste con respecto a GPS: -3hr)
Procesando duración:	00:58:00
Intervalo de procesamiento:	5 segundos

Componentes del vector (Marca a Marca)

De:	AZUL				
	Cuadrícula	Local		Global	
Este	5510599.605 m	Latitud	S36°46'01.28003"	Latitud	S36°46'01.28003"
Valor norte	5931302.997 m	Longitud	W59°52'52.60867"	Longitud	W59°52'52.60867"
Elevación	141.045 m	Altura	158.313 m	Altura	158.313 m

A:	1		
	Cuadrícula	Local	Global

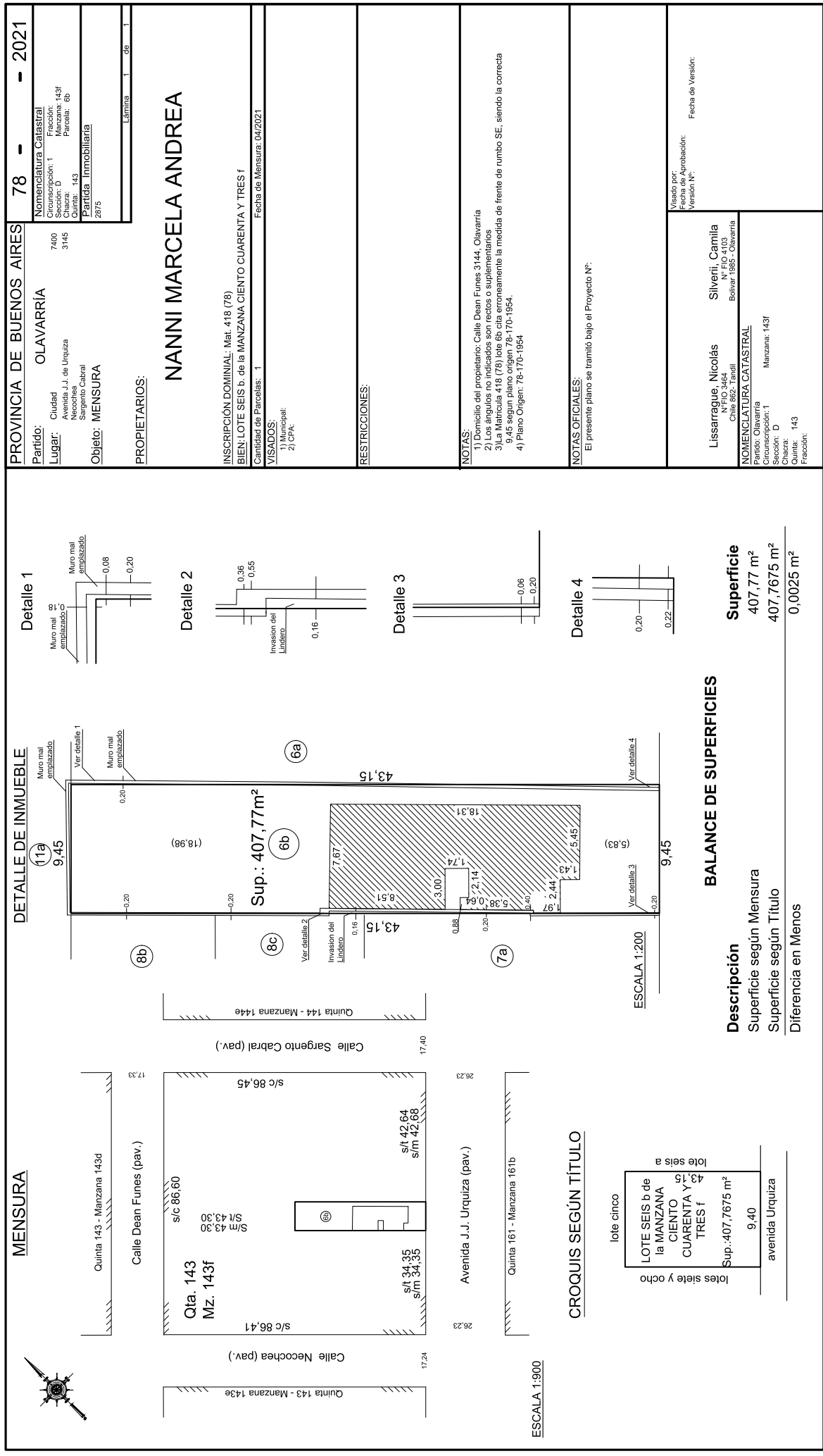
Este	5472385.390m	Latitud	S36°53'57.77410"	Latitud	S36°53'57.77410 "
Valor norte	5916576.213 m	Longitud	W60°18'35.37950"	Longitud	W60°18'35.37950 "
Elevación	162.3386 m	Altura	179.719 m	Altura	179.719 m

Vector:					
ΔEste	-38214.216 m	Acimut Adelante NS	248°51'13"	ΔX	-37521.410 m
ΔValor norte	-14726.783 m	Dist. elip	40953.588	ΔY	-11441.158 m
ΔElevación	21.341 m	ΔAltura	21.406	ΔZ	-11769.607 m

Errores estándar

Errores del vector:					
σ ΔEste	0.002 m	σ ΔAcimut Adelante NS	0°00'00"	σ ΔX	0.003 m
σ ΔValor norte	0.002 m	σ ΔDist. elip	0.002 m	σ ΔY	0.005 m
σ ΔElevación	0.006 m	σ ΔAltura	0.006 m	σ ΔZ	0.004 m

8.5 Plano de Mensura



PROVINCIA DE BUENOS AIRES 78 - - 2021

Partido: OLAVARRÍA
Lugar: Avenida J.J. de Urquiza
 Necochea Sargento Cabral
Objeto: MENSURA

Nomenclatura Catastral
 Circunscripción: 1
 Fracción: 7400
 Manzana: 143f
 Parcela: 3145
Partida Inmobiliaria
 Quinta: 143
 Fracción: 2875

PROPIETARIOS:
 Lamina 1 de 1

NANNI MARCELA ANDREA

INSCRIPCIÓN DOMINIAL: Mat. 418 (78)
BIEN: LOTE SEIS b de la MANZANA CIENTO CUARENTA Y TRES f
Fecha de Mensura: 04/2021

Cantidad de Parcelas: 1
VISADOS:
 1) Municipal
 2) CPA

RESTRICCIONES:

NOTAS:
 1) Domicilio del propietario: Calle Dean Funes 3144, Olavarría
 2) Los ángulos no indicados son rectos o suplementarios
 3) La Matricula 418 (78) lote 6b era erroneamente la medida de frente de rumbo SE, siendo la correcta 9,45 según plano origen 78-170-1954.
 4) Plano Origen: 78-170-1954

NOTAS OFICIALES:
 El presente plano se tramitó bajo el Proyecto N°:

Visado por:
 Autorización:
 Versión N°:

Fecha de Versión:

Lissarraque, Nicolás
 N° FIO 3464
 Chile 862- Tantiil

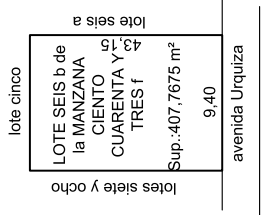
Silverii, Camila
 N° FIO 4103
 Belver 1985- Olavarría

NOMENCLATURA CATASTRAL
 Partido: Olavarría
 Circunscripción: 1
 Manzana: 143f
 Sección: D
 Quinta: 143
 Fracción: 2875

BALANCE DE SUPERFICIES

Descripción	Superficie según Mensura	Superficie según Título	Diferencia en Menos
Superficie según Mensura	407,77 m ²	407,7675 m ²	0,0025 m ²

CROQUIS SEGÚN TÍTULO



ESCALA 1:900