

EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN DE FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE CON CÁMARA SUPER-GRAN ANGULAR

José Spinelli Tomasello¹, Juan Manuel Macias¹ y Francisco Azpilicueta²

¹ Geodron Argentina, La Plata – www.geodronargentina.com.ar

² Facultad de Cs. Astron. y Geof., UNLP – CONICET, Paseo del bosque s/n, La Plata.

RESUMEN

El objetivo de este artículo es documentar un estudio que permitió evaluar una técnica de fotogrametría terrestre, basada en el uso de una cámara con objetivo super-gran angular. Un acopio fue fotografiado con la cámara transportada de forma manual, obteniendo fotografías digitales que posteriormente fueron procesadas. El procesamiento permitió construir un modelo espacial del acopio en base al cual, se pudieron realizar estimaciones del volumen. A fin de contrastar los resultados, el acopio fue medido con una Estación Total utilizando una malla de alta densidad de puntos. La diferencia entre los volúmenes obtenidos con ambas técnicas se acerca al 1%.

ABSTRACT

The objective of this article is to document a study that allowed us to evaluate a terrestrial photogrammetry technique, based on the use of a camera with a super-wide-angle lens. A collection was photographed with the manually transported camera, obtaining digital photographs that were subsequently processed. The processing enabled the construction of a spatial model of the collection based on which, volume estimates could be made. In order to contrast the results, the collection was measured with a Total Station using a mesh of high density points. The difference between the volumes obtained with both techniques is close to 1%.

1. INTRODUCCIÓN

Los relevamientos con dron a cielo abierto para calcular volúmenes son actividades relativamente frecuentes en el equipo de trabajo de Geodron Argentina. En una oportunidad, surgió la necesidad de calcular el volumen de material acopiado dentro de un galpón con escaso espacio de operación. Dadas las características del lugar de trabajo, se hacía dificultoso tomar las fotografías con un dron, debido a que había poco espacio para el desplazamiento de este, el techo impedía la recepción de señal GPS y la estructura metálica descalibraba los sensores (brújula e IMU) que utiliza el dron para realizar un vuelo seguro.

La solución al problema consistió en adaptar las técnicas fotogramétricas utilizadas usualmente con dron, a las condiciones y limitaciones impuestas por el lugar de trabajo:

- La cámara debería ser transportada de forma manual
- El trayecto a recorrer debía definirse de manera que cumpliera con las superposiciones necesarias para poder reconstruir el modelo 3D

Este artículo documenta los resultados obtenidos al aplicar la técnica desarrollada para estimar el volumen del acopio en condiciones de ambiente cerrado. Para contrastar, validar los resultados y cuantificar la precisión alcanzable con la técnica fotogramétrica, el mismo acopio fue medido con Estación Total sobre una malla de alta densidad de puntos. La técnica fotogramétrica aplicada en este tipo de trabajo tiene marcadas ventajas respecto al método topográfico tradicional, las más importantes de las cuales son:

- Elevado nivel de detalle para calcular el volumen, con una densidad que ronda los 3000 puntos/m²
- Reducción de los tiempos de trabajo en campo
- Reducción de fatiga que conlleva a errores durante el relevamiento.

2. METODOLOGÍA

2.1 RELEVAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE

El primer punto a tratar fue la elección de la cámara, la cual debía poseer un sistema de lentes con elevado ángulo de visión, ser liviana, poder operarse a distancia o que tuviera un modo de captura programado para tomar fotos cada cierto tiempo y que pudiera transportarse con algún tipo de soporte. Paralelamente surgió la necesidad de encontrar un soporte adecuado, capaz de llevar la cámara elegida, que fuera rígido para mantener estable la cámara, que tuviera una longitud adecuada para que las capturas fueran tomadas a una cierta distancia del piso, pero que a su vez fuera desarmable o plegable para poder transportarlo al lugar de trabajo.

Entre todas las opciones analizadas se concluyó que una cámara GoPro era la indicada, por su peso y tamaño, su adaptabilidad para ser transportada y la posibilidad de manejarse por intermedio de un smartphone vía wifi. La cámara fue montada en un soporte telescópico de 5,00 m de longitud, por intermedio de un encastre especial y fue operada a través la aplicación de GoPro.

El sitio elegido para realizar la experiencia fue un lugar a cielo abierto donde se encontraba un acopio de briquetas a granel. La disposición era en forma cónica con unos 10,00 m de diámetro en su base y una altura de 2,60 m aproximadamente. Para realizar el ajuste y control del modelo se distribuyeron 9 placas de puntería previo a la captura de fotos. La distribución de estas se hizo de forma tal que todo el acopio quedara cubierto de la manera más homogénea posible. La medición de las mismas insumió un lapso de diez minutos. La Fig.1 muestra el acopio de briquetas con las placas de puntería distribuidas.



Figura 1: acopio de briquetas con placas de puntería distribuidas.

Previo a sacar las fotografías, se analizó y calculó la trayectoria a seguir. Dadas las características internas de la cámara y despegue del suelo, se calculó el valor de GSD (distancia de muestreo del terreno), a partir de la cual se estimó los valores de precisión planimétrica 0,007m y altimétrica 0,010m. Dado que las necesidades de precisión del trabajo estaban cubiertas, se continuó con los cálculos de huella de la imagen en el terreno, a partir de la cual se definió la distancia entre centros de toma para una superposición del 85%. La Tabla 1 muestra los datos del cálculo de trayectoria.

Tabla 1: Cálculo de parámetros de la trayectoria

DATOS GOPRO HERO+	
ancho del sensor (mm)	6,17
largo del sensor (mm)	4,55
distancia focal (mm)	2,77
resolución horizontal	3264
resolución vertical	2448
PARÁMETROS DE TOMA	
superposición lateral (%)	0,85
superposición frontal (%)	0,85
altura de toma (m)	5
CÁLCULOS	
GSD	0,003
huella de la imagen horizontal (m)	11,14
huella de la imagen vertical (m)	8,21
distancia de captura	1,67
precisión planimétrica (m)	0,007
precisión altimétrica (m)	0,010

Dada la disposición cónica del acopio, se definió que la trayectoria de captura fuera en forma circular y se tomaron todas las fotografías de frente al acopio, respetando los valores de la trayectoria calculada. El relevamiento se completó con la toma de 56 fotografías en un tiempo de nueve minutos. La Fig.2 muestra la trayectoria de captura realizada.

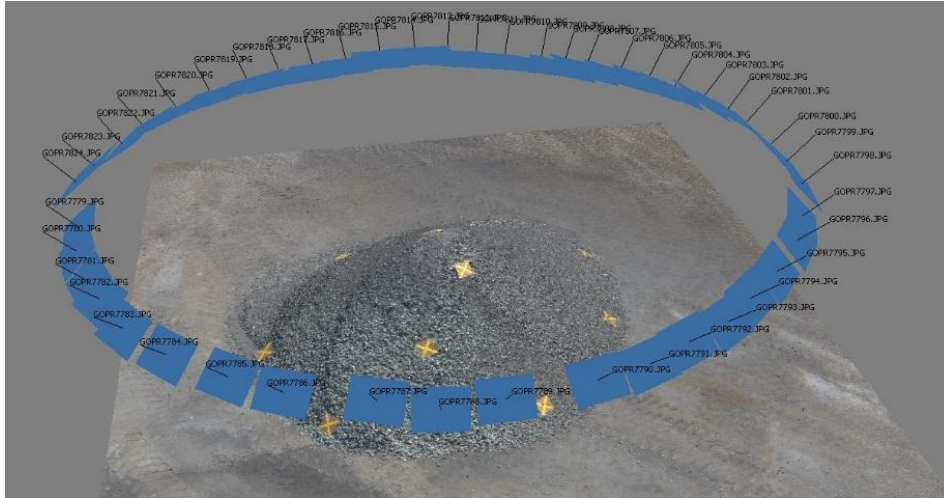


Figura 2: trayectoria de captura. Se observan los rectángulos azules que representan cada una de las fotos con su orientación resuelta.

2.2 PROCESAMIENTO DE FOTOGRAFÍAS

Las fotografías se procesaron con un software fotogramétrico en una computadora de escritorio de gama media-alta.

Se orientaron las fotos, esto es, se resolvieron la ubicación de cada captura y su dirección de disparo, y en base a ellas se reconstruyó el modelo 3D. Finalmente se lo ajustó al sistema de coordenadas locales definido en la medición con Estación Total (ver siguiente sección). Dicho proceso llevó una hora. La Fig.3 muestra un ejemplo del Modelo 3D reconstruido.

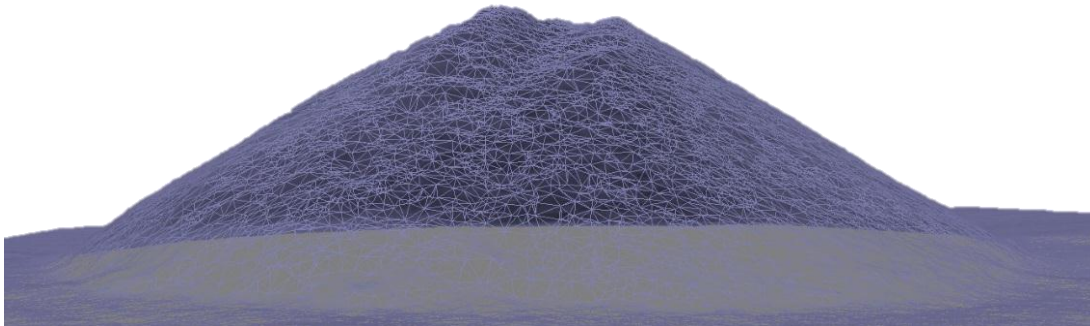


Figura 3: Modelo 3D, se pueden apreciar los triángulos que definen la superficie envolvente

Al momento de definir el ajuste se analizó diferentes posibilidades, desde la utilización de 3 puntos, hasta el uso de los 9 puntos disponibles. En cada caso fue analizado el error del modelo por medio de los puntos de control. En la Tabla 2 se muestra el análisis de los diversos ajustes del modelo.

Tabla 2: Análisis de ajuste del modelo. Cada fila muestra la cantidad de puntos utilizados para realizar el ajuste del modelo y la cantidad de puntos con los que se realizó el control y los errores obtenidos. En la última columna se volcó el cálculo de volumen realizado en cada caso.

Cantidad de puntos de apoyo	Cantidad de puntos de control	RMS puntos de control (m)			Volumen del acopio (m ³)
		XY	Z	TOTAL	
3	6	0.021	0.015	0.026	71.04
4	5	0.023	0.012	0.026	71.17
5	4	0.021	0.010	0.023	71.32
6	3	0.023	0.011	0.025	71.51
7	2	0.023	0.014	0.027	71.45
8	1	0.027	0.016	0.031	71.36
9	0				71.35

Luego de analizar las distintas posibilidades se optó por utilizar la solución con 7 puntos, de esta forma se abarco toda la zona de trabajo y contamos con 2 puntos para controlar el modelo, de los cuales uno de ellos se encontraba en la base del acopio y el otro próximo a la cresta, teniendo el máximo espaciamiento entre ambos. En la Fig.4 se observa la distribución de los puntos de ajuste.

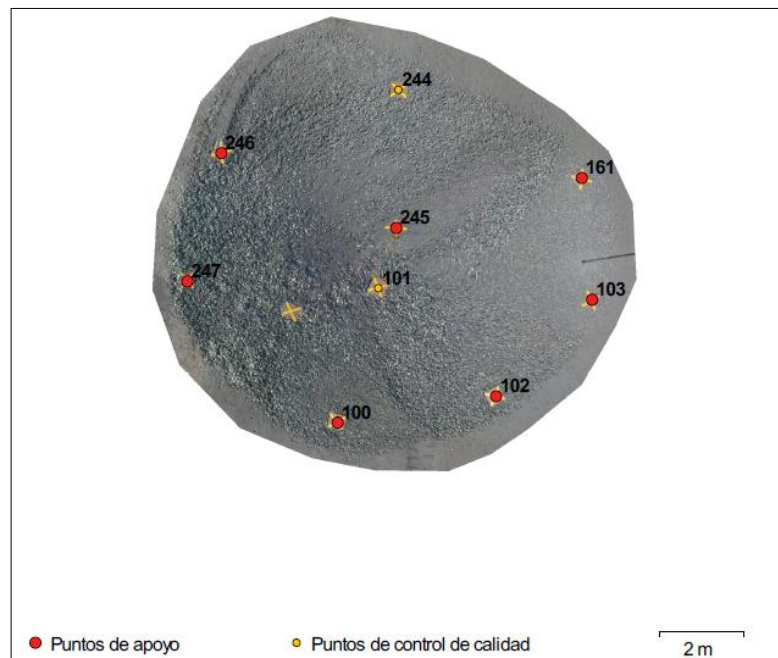


Figura 4: posición de los puntos de apoyo (puntos rojos), puntos de control (puntos amarillos) y la distribución de las placas de puntería (cruces amarillas)

En este mismo programa se calculó el volumen del acopio, para ello fue necesario trazar un perímetro envolvente y se lo definió como plano de mejor ajuste para realizar el

cálculo. A partir de todos los puntos 3D que definen el perímetro envolvente el software calculó el plano inclinado que tiene menor diferencia con todos ellos.

Este cálculo fue realizado para las distintas formas de ajustar el modelo, donde se observó que el valor del volumen obtuvo convergencia a partir de tomar seis puntos de apoyo. Como valor final del cálculo de volumen se adoptó $71,45 \text{ m}^3$ que corresponde al ajuste con siete puntos. Ver tabla 2.

2.3 VOLUMEN DE CONTROL - RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO TERRESTRE

Posteriormente a la captura de fotos se hizo un relevamiento con Estación Total Trimble M3 5". Desde dos puntos de estación, se midieron todas las placas de puntería y paralelamente se relevó el acopio, midiendo con el láser en forma directa a las briquetas. El cambio de estación realizado durante la medición dio un $\Delta_{\text{horizontal}} = -0,008 \text{ m}$ y un $\Delta_{\text{vertical}} = -0,016 \text{ m}$.

El acopio quedó definido con 232 puntos distribuidos de forma aleatoria, lo que representa $3,3 \text{ puntos/m}^2$. El suelo donde se apoyaba el acopio se definió con 15 puntos alrededor. Todo el relevamiento fue llevado a cabo en cuarenta y cinco minutos. La Fig.5 muestra el relevamiento con Estación Total.

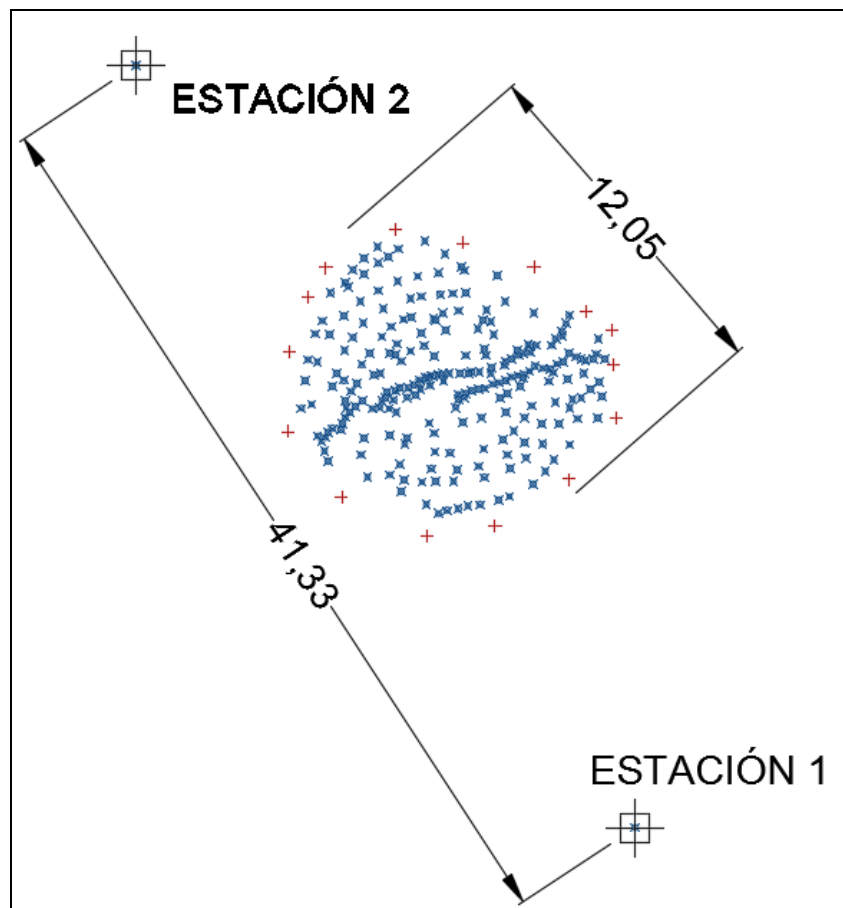


Figura 5: relevamiento con Estación Total - Acopio (azul), piso (rojo) y las dos estaciones de medición.

Los puntos medidos con Estación Total fueron procesados con software CAD para topografía. Se generaron dos superficies: la superficie SUELO, a partir de los puntos que definían el piso, y la superficie ACOPIO a partir de los puntos medidos sobre el acopio. En base a estas dos superficies se calculó el volumen encerrado entre ambas, obteniendo como resultado un volumen de control de 70,53m³. Para realizar todo este proceso fue necesario un período de treinta minutos. La Fig. 6 muestra la reconstrucción 3D del volumen.

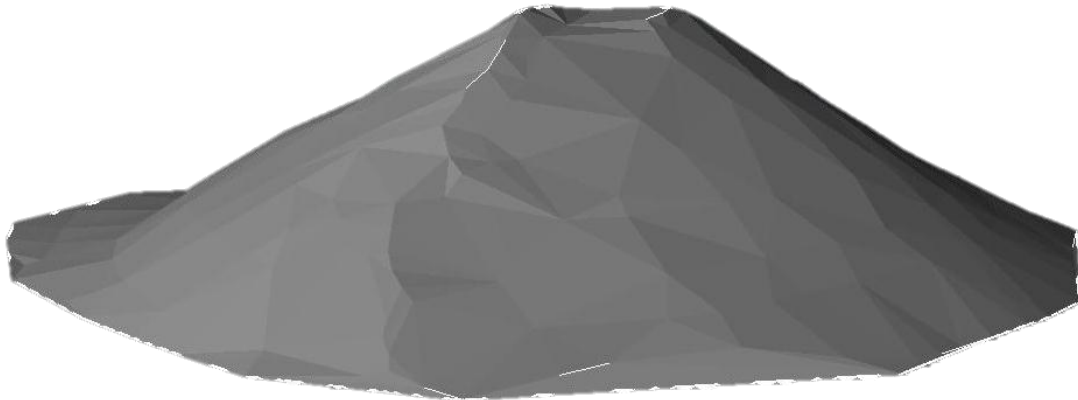


Figura 6: reconstrucción 3D del volumen obtenido mediante topografía terrestre, se pueden apreciar los triángulos que definen la superficie envolvente

3. RESULTADOS

Una vez realizados los procesamientos obtuvimos estimaciones del volumen acopiado por tres caminos diferentes: el primero a partir de una aproximación geométrica asociando el acopio a un cono, el segundo por mediciones fotogramétricas y el tercero utilizando la medición con una Estación Total. El cálculo del volumen geométrico del cono dio una idea rápida del valor en torno al que se deberían encontrar los otros dos resultados. El cálculo de volumen por fotogrametría se realizó en base a una nube de puntos con una densidad de 3030 puntos/m². El cálculo de volumen de control basado en la medición con una Estación Total, se realizó a partir de una nube de puntos cuya densidad fue de 3,3 puntos/m².

La comparación del volumen obtenido por el método fotogramétrico con el obtenido por Estación Total nos da una diferencia de unos 0,89 m³, que representa un 1,3%. La Tabla 3 es un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 3: muestra tres resultados del cálculo de volumen por métodos distintos.

	Cono	Fotogrametría	Estación Total
	radio= 5,00m altura= 2,60m	201426 puntos	232 puntos
		3030 puntos/m ²	3,3 puntos/m ²
Volumen	68,06 m ³	71,42m ³	70,53 m ³
Diferencia con Estación Total	3.5%	1.3%	---

En cuanto a tiempo requerido por cada técnica, vemos que para el relevamiento fotogramétrico las tareas de campo se resolvieron en un total de veinte minutos y el procesamiento de datos requirió una hora de trabajo. Para el relevamiento con estación total se necesitó cuarenta y cinco minutos en campo y treinta minutos de procesamiento.

4. EXPERIENCIA EN GALPONES

Producto del resultado satisfactorio que se obtuvo en el cálculo de volumen del acopio a cielo abierto, se utilizó la misma técnica de trabajo para relevar establecimientos indoor, para lo cual hubo que hacerle ajustes que permitieran llevarla a cabo en dichas condiciones.



Figura 7: izquierda, fotografía durante el relevamiento; derecha, modelo tridimensional del acopio.

Una cuestión significativa, fue que no se contó con espacio físico para rodear cada acopio. Por lo que se tuvo que modificar la ruta de toma de imágenes, teniendo que realizar pasadas caminando por encima del material para alcanzar el solape necesario. En las paredes y columnas de los galpones se materializaron puntos de apoyo, sumados a las placas que se distribuyeron sobre el acopio. Todos estos puntos de referencia fueron medidos con una estación total, y paralelamente se tomaron datos del nivel del piso donde se apoyaba el acopio.

Los tiempos requeridos varían según las dimensiones del galpón, en particular uno de 40m de ancho por 100m de largo, requiere en promedio cincuenta minutos para medir los puntos de referencia y cuarenta minutos para tomar las fotografías.

En la siguiente tabla se observa una serie de mediciones que se realizaron en estas condiciones. Se puede apreciar la cantidad de puntos usados como apoyo para ajustar el modelo y la cantidad de puntos de control de calidad en cada relevamiento. A su vez, en la última columna el RMS en los tres ejes de los puntos de control que calculó el software.

Tabla 4: serie de mediciones indoor con los errores medios cuadráticos de sus puntos de control.

	Puntos de apoyo	Puntos de control	RMS puntos de control (m)
Medición 1	9	9	0,032
Medición 2	10	9	0,021
Medición 3	12	7	0,025
Medición 4	10	8	0,013
Medición 5	7	4	0,013
Medición 6	8	3	0,014
Medición 7	6	3	0,024
Medición 8	8	3	0,033
Medición 9	15	8	0,037
Medición 10	7	3	0,035

En esta experiencia de trabajo real no se contó con mediciones de contraste con otra técnica. La única información de verificación externa fueron los RMS de los puntos de control. Comparando los RMS obtenidos en esta experiencia con los obtenidos en el experimento de validación (Tabla 2) se puede observar que ambos son comparables (mismo orden de magnitud) lo que indica que la precisión de la estimación final del volumen sea comparable a la obtenida en el experimento de validación.

5. CONCLUSIONES

Los resultados permiten concluir que la técnica de relevamiento fotogramétrico en combinación con un cuidadoso procesamiento en gabinete cumple con la precisión esperada en relación con el volumen que se adoptó como valor referencial.

A su vez, debido a la cantidad y calidad de datos resultantes de la técnica fotogramétrica, es de esperar que los modelos obtenidos sean una representación más próxima a la realidad. Cuanto más irregular y amorfo sea el volumen a determinar, esta técnica prevalecerá por sobre la convencional (Estación Total).

Las premisas que debía satisfacer la técnica fueron cumplidas y las ventajas con respecto a la topografía tradicional corroboradas. No solamente en cuanto al nivel de detalles alcanzados, sino también en el tiempo requerido para los trabajos de campo que resultaron ser sustancialmente inferiores.

A la ventaja del reducido tiempo dispuesto en relevar y procesar la información, y al elevado nivel de detalle conseguido, podemos sumar que la técnica permite disponer de un archivo fotográfico destinado a documentar las condiciones presentes de la zona de trabajo con el fin de evacuar dudas al respecto.

Como punto a tener en cuenta para llevar adelante esta técnica, se debe considerar de vital importancia respetar la ruta de toma de fotografías a modo de cumplir con el solape deseado, o hasta incluso superarlo, de manera tal que quede asegurado el correcto cubrimiento del área en cuestión. Una mala distribución de captura de imágenes ocasiona

ausencia de datos al momento de realizar mediciones, e incluso puede llevar a la imposibilidad de procesar las fotos y reconstruir el modelo 3D.

En el caso de los relevamientos indoor, sin haber realizado un control midiendo con algún equipo y metodología probada se puede aceptar que los resultados obtenidos con la técnica fotogramétrica son confiables, ya que los RMS en los puntos de control utilizados en dichas mediciones son del mismo orden de magnitud que los alcanzados en el trabajo de validación, por lo que la precisión debería ser similar. De todas maneras, este punto necesita ser analizado con más experimentos que realizaremos en el futuro, buscando validar la técnica fotogramétrica con métodos probados.