

EXPERIMENTO PRÁCTICO PARA EVALUAR LA EFICIECIA EN LA PRODUCCIÓN DE NUBES DE PUNTOS DE TRES PROGRAMAS FOTOGRAMÉTRICOS

Nelly Lucero RAMIREZ SERRATO^a, Roberto HUERTA GARCIA ^a, Fabiola Doracely YÉPEZ RINCÓN ^b, Diego Fabián LOZANO GARCÍA ^a

^a Centro de Calidad Ambiental del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, C.P. 64849, Col. Tecnológico, Monterrey N.L. E-mail: nellyss_21@hotmail.com

^b Facultad de Ingeniería Civil-Instituto de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Calle Pedro de Alba s/n, Centro, 64000 San Nicolás de los Garza, N.L., México.

RESUMEN

Los altos costos de la tecnología LIDAR (*Light Detection and Ranging*) son una limitante frecuente para distintas áreas de investigación a pesar de que durante los últimos años la apertura de nuevas marcas y productos la han hecho más accesible. Una de las principales aplicaciones de la tecnología LIDAR es el levantamiento de nubes de puntos en tres dimensiones (3D) para generar modelos digitales de superficies (MDS), los cuales son insumos para las modelaciones hidrológicas, cálculos volumétricos, entre otros. Por otro lado, recientemente la fotogrametría ha innovado en técnicas de reconstrucción de los objetos 3D en base a imágenes 2D. Las reconstrucciones fotográficas o fotoreconstrucciones son la producción de nubes de puntos a partir de píxeles. Actualmente algunos de estos programas fotogramétricos para la fotoreconstrucción se encuentran en línea con opciones tanto comerciales como de acceso libre, haciendo asequibles las investigaciones que tienen como insumo principal a los MDS. La presente investigación experimenta con un espacio de 1m² insitu con el objetivo principal de evaluar la eficiencia de tres de éstos programas en términos de: (1) Cantidad de puntos generados, (2) Precisión métrica (PSP y VSFM) y (3) Tiempos de procesamiento. Se utilizaron dos series fotográficas tomadas sobre el eje experimental 0 a una distancia de 1m en los 360° vista interna (sensor-objeto), las fotografías fueron tomadas con una cámara regular de 12 megapixels y representaron dos posiciones distintas (i) vista aérea y (ii) vista terrestre. Los programas utilizados para la evaluación fueron: Agisoft PhotoScan Professional Edition V.1.0.0 (en su versión demostrativa), Visual SFM (de acceso libre) y Photosynth (de acceso libre, en línea, complementado con el programa gratuito SynthExport de Christopher Hausner). El proceso fue corrido en dos estaciones de trabajo con las mismas características y capacidades de cómputo y memoria para evitar sesgos en cuanto a los tiempos de procesamiento. Los resultados indicaron a PhotoScan como el programa más eficiente para la producción de puntos debido a que resultó con las nubes de puntos más densas, lo cual además facilitó la referenciación espacial de los objetos en un sistema coordenado rectangular métrico, PhotoScan por su alta calidad de detalle sería el programa ideal para mediciones específicas de objetos como cálculos de volumen; Por otro lado, el programa Visual SFM tiene la capacidad de reconocer mejor los cambios de color (valores RGB) y proyecta los puntos a mayor profundidad, lo cual les proporciona una perspectiva más real y la nube de puntos producida es más nítida. Visual SFM sin embargo, al no encontrar cambios de color genera huecos en las superficies lisas, por lo tanto éste programa es recomendable para reconstrucción de objetos detallados (i.e. pinturas rupestres). Finalmente, PhotoSynth es el programa que tiene el tiempo de procesado más corto, genera una panorámica 3D del objeto con las fotografías pero la nube de puntos resultante es poco densa, por lo tanto limita la posibilidad de realizar mediciones exactas, pero es recomendable para trabajos donde se requiere rapidez más que precisión métrica.

Palabras clave: Reconstrucción, Modelación 3D, Fotogrametría, Experimento práctico.

ABSTRACT

LIDAR technology (*Light Detection and Ranging*) is common used to create 3D reconstruction, based in point clouds, this reconstructions can be used to generate digital surface models (DSM) and this can be used as an input to hydrologic modelling, volumetric and distance measurement from trees and buildings, for example, but the high costs of LIDAR technology are a frequent limiting, to different research areas despite of the development of new brands and products. On the other hand, Photogrammetry has been develop techniques of 3D reconstruction, 3D point clouds production based on pixels from common images. Actually there are a lot of photogrammetric products of this kind, commercial

and open source, stand alone or online programs, that makes more accessible for researchers to get the DSM. This paper is a practical experiment, developed in 1 m², with the principal objective of evaluate the efficiency of three of this programs, judging: (1) quantity of generated points, (2) measuring accuracy and (3) processing times. For this experiment, two photographic series were taken, at 1 m from a main axis at 360° around it. The photographs were taken with a regular camera (12 Megapixels) from two different positions: (i) aerial, (ii) terrestrial. The software that we use in this project are Agisoft PhotoScan Professional Edition V.1.0.0 (PSP, demo version), Visual SFM (VSFM, open source), and Photosynth (PSy, free, online, and complemented with SynthExport from Christopher Hausner). Results show that PSP is the most efficient in the productions of point clouds, it has the highest density of points, covering more areas, and it helped to georeference this point cloud based in a rectangular metric system with coordinates. PSP is the ideal program to make specific measurements for example volume calculations, On the other hand VSFM has a better result if there are more color changes in the photographed surface, it assign more sharpness but this program generate holes in smooth surfaces, this program can be useful if its required to have more detailed in the color of the cloud point, for example in labels, or in the area of cultural heritage with paintings. Finally PSy, is the program with the shortest processing time, it generates a 3D panoramic photography of the object but the point cloud is less dense than the others, it cannot be used to do specific measurement but it is highly recommended to do fastest jobs, and to elaborate 3D worlds or just visual jobs, it has less number of points the mesh are not to good but it can be textured later.

Keywords: reconstruction, 3D, Structure from Motion, modelling, photogrammetry,

1 INTRODUCCIÓN

Para algunos grupos de investigación es sumamente útil el conseguir digitalizar los objetos para su estudio. La digitalización 3D permite generar planos, calcular volúmenes y distancias, y reconocer cambios en las superficies. La digitalización 3D de los objetos se logra a través de nubes de puntos registradas por un sensor. La tecnología LIDAR (*Light Detection and Ranging*) es la herramienta con mayor precisión en la generación de estas nubes, sin embargo, sus altos costos limitan la posibilidad de trabajarla.

La fotogrametría durante los últimos cinco años desarrolló métodos más económicos para conseguir información 3D a precios realmente accesibles. La técnica Structure From Motion (SFM) fue diseñada para atribuir características 3D a los objetos a partir del traslape imágenes bidimensionales (2D) en serie tomadas con cámaras comunes (Huang and Netravali, 1994)

Las investigaciones relacionadas con éste tipo de técnicas fotogramétricas tienen muchos usos, actualmente tiene su auge en campos como la arqueología, arte rupestre, conservación de bienes culturales y otras disciplinas relacionadas con la documentación, digitalización o protección del patrimonio cultural (Kersten, 2012, Verhoeven, G., 2011), también han encontrado aplicabilidad en la arquitectura, y reconstrucciones geológicas (James

and Robson, 2012), manejo del suelo (Scaioni, M., et al., 2014) y en la topografía al generar modelos de elevación digital del terreno (DTMs) con tomas aéreas utilizando Vehículos Aéreos No Tripulados, VANT, (i.e. Rosnell, T and E. Rosnell, 2012; M.R.; Fonstand, et al., 2013; Stumpf, et. al., 2013; Clapuyt, et. al., 2015). Siendo ésta última tecnología, ampliamente usada actualmente y que tuvo sus orígenes en inteligencia militar para realizar mapeos a finales de los 70's, y que hoy en día es tan accesible de implementar que ya es regulado gubernamentalmente (Colomina and Molina, 2014).

El objetivo de esta investigación fue comparar las nubes de puntos generadas desde plataformas distintas en un medio controlado utilizando vistas aéreas y terrestres, evaluando: 1) Cantidad de puntos generados, 2) Precisión métrica (PSP y VSFM) y 3) Tiempos de procesamiento, para lograr esto se utilizó un software comercial, PhotoScan (PSP), y dos de gratuitos: Uno de código abierto, Visual SFM (VSFM) y otro manejándose sobre un servidor en línea PhotoSynth (PSy). Trabajos previos consideran la nube proveniente de PhotoScan como la de mayor resolución y precisión espacial comparándola con otros programas comerciales como Pix4D (UAV o Mapper Pro, Pix4D, Turner et al., 2014) o PhotoModeler Scanner (Sona et al. 2014) y con programas de código abierto como Microsoft Image Compositor (ICE)

(Gross, J. W.). En las siguientes secciones se describen de manera breve los detalles técnicos de los paquetes utilizados para este experimento.

1.1 VISUAL SFM

Es un software de código abierto e interfaz gráfica de usuario (GUI application) desarrollado por Changchang Wu, el cual es complementado con otras herramientas, también de código abierto, que se descargan adicionalmente como PMVS/CMVS de Yasutaka Furukawa y CMP-MVS de Michal Jancosek las cuales fueron utilizadas para la reconstrucción densa generada en este proyecto (<http://ccwu.me/vsfm/>).

1.2 PHOTOSCAN

PhotoScan es un programa comercial Ruso desarrollado por la compañía Agisoft LLC, la cual fue fundada en 2006. Este programa actúa de manera automatizada, no necesita herramientas u otros programas adicionales para operar, ni tampoco se requiere conexión a internet. El acceso en línea se encuentra en (<http://www.agisoft.com/>).

La versión Agisoft PhotoScan Professional Edition tiene un costo aproximado de 3,499 USD (549 USD solicitando una licencia Educativa) mientras que la versión Estándar Edition se valúa en 179 USD (59 USD, licencia Educativa). En cuanto a requerimientos técnicos, se calculó que para realizar un proyecto de aproximadamente 100 imágenes, se requiere mínimo de un sistema operativo de 64 bits con 6 GB de RAM (Kersten, T. P., & Lindstaedt, M., 2012a)

1.3 PHOTOSYNTH

PhotoSynth es una herramienta de Microsoft en conjunto con Bing, la cual trabaja a través de un servidor web. Este programa está ideado principalmente para poder compartir las creaciones en diferentes plataformas como Facebook, Bing, blogs u otros sitios en la web. PhotoSynth fue lanzado por primera vez en 2008 y tiene sus bases en el trabajo previo realizado en la línea de investigación de Photo Tourism de la Universidad de Washington así como en la investigación privada de la compañía Microsoft (University of Washington and Microsoft Research) (<https://photosynth.net/>). Photosynth actúa como un visualizador de datos, para poder exportar

la nube de puntos es necesario migrar a otros programas, en éste caso se utilizó SynthExport de Chirstoph Hausner (<http://synthexport.codeplex.com/>) pero existen otras opciones para ejercerlo, como la desarrollada por Kean Walmsley para cargar la nube de puntos directamente desde la plataforma de AutoDesk en AutoCAD (<http://bit.ly/browsephotosynth>), o la desarrollada por el programa de código abierto Meshlab (<http://meshlab.sourceforge.net/>), el cual permite la importación directa de los datos.

2 METODOLOGÍA

2.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

La investigación se realizó dentro del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Tecnológico de Monterrey en un área de aproximadamente 70 x 80 cm, utilizando un sistema métrico rectangular coordinado con marcas cada 5 cm sobre los ejes X y Y, partiendo de cero. Sobre éste plano, en una mesa iluminada se colocaron seis composiciones (9 objetos en total) con distintas formas y materiales (**Figura 1**), los cuales fueron colocados estratégicamente para que la cámara pudiese captar la mayor cantidad de ángulos de cada uno. L.



Figura 1. Vista frontal del plano de referencia y los objetos utilizados durante este experimento.

2.1.1. Descripción de los objetos

Los objetos utilizados consisten en: (1) una caja de cartón de 20 x 20 cm de base y 30 cm de altura (simulando una estructura simple o edificio común), (2) un bote en aerosol sobre dos cajas de cartón apiladas (Simulando estructuras de edificios más complejas), (3) un muñeco de peluche en forma de

chango (comprobando el comportamiento del software ante figuras suaves y complejas, como lo sería una figura humana), (4) un escalímetro de 30 cm con protector (probando la reacción a la transparencia), (5) una planta de interiores sobre su maceta (simulando la vegetación) y (6) una figura LEGO.

2.2 SENSOR Y EQUIPO DE CÓMPUTO

Se utilizó una cámara semiautomática de la marca Nikon (CoolPix P520, 18.1MPx y un lente de cristal NIKKOR 42x).

La información fue procesada en una estación de trabajo OS Windows 7 Professional de 64-bit (Intel (R) Core (TM) i7-3960X CPU @ 3.30GHz (12 CPU), ~3.3GHz, 4 GB RAM, NVidia Ge Force GTX 770).

2.3 LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO

El primer paso para generar la reconstrucción 3D fue la adquisición de las imágenes, en éste caso se tomaron dos series fotográficas, una a nivel del plano de referencia (PR) que consta de 45 fotografías y que es comparable a una toma de datos terrestre; y otra de 37 fotografías que fueron tomadas a una altura de 0.75 m sobre el PR simulando una toma de datos aérea.

Las fotografías fueron tomadas con un porcentaje de traslape del 60% con respecto a la fotografía tomada inmediatamente después, las dos series fotográficas fueron tomadas rodeando por completo el plano de referencia, con esto se cubren puntos en común sobre los objetos desde todas sus vistas.

Para obtener estas nubes de puntos el primer paso realizado fue añadir las imágenes en cada uno de los softwares utilizados en este experimento, a partir de aquí, el software (PSP, PSy y VSFM) realiza de manera automática un alineo de las imágenes así como una calibración de la cámara, basándose en los puntos en común que se encuentren entre las fotografías, y la perspectiva de los objetos fotografiados. Una vez que las fotografías están alineadas se realiza la reconstrucción escasa de puntos y a partir de esto se obtiene la reconstrucción de una nube de puntos densa.

Las nubes de puntos resultantes no están escaladas y se manejan en unidades arbitrarias, VSFM y PSP contienen módulos que permiten geo-referenciar las nubes a partir de puntos de control y en el caso de PSP también se utilizó la referencia de escalas directas, es decir, la asignación de un valor real a la distancia medida entre un punto de control y otro. PSy es un caso diferente puesto que es solo un visualizador de la nube de puntos, no permite hacer ningún tipo de edición o geo-referenciación. Para poder exportar la nube de PSy se utilizó un programa externo llamado SynthExport desarrollado por Christoph Hausner, el cual también exporta las imágenes y los parámetros que utilizó PSy para realizar la nube.

Tabla 1. Diagrama de flujo seguido por los tres métodos PhotoScan (PSP), Visual SFM (VSFM) y PhotoSynth (PSy)

Flujo de trabajo	Software		
	PSP	VSFM	PSy
Añadir fotografías	✓	✓	✓
Alinear y emparejar fotografías	✓	✓	✓
Reconstrucción media	✓	✓	✗
Reconstrucción densa	✓	✓	✓
Escalar y georeferenciar	✓	✓	✗
Exportar nube*	✓	✓	✗

* Synthexport sirvió exportar los datos de PhotoSynth.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Photosynth de Microsoft (PSy) es el software que menos tiempo toma para completar el proceso (Tabla 2) tarda aproximadamente el 7 % del tiempo que le toma a Visual SFM realizar la reconstrucción de la nube de puntos densa, sin embargo el número de puntos obtenidos por PSy corresponde apenas al 2% de los puntos obtenidos por Visual SFM sobre el área de interés. PSy genera los puntos necesarios para realizar una construcción aproximada del objeto, dando como resultado una nube demasiado escasa y que por sí sola no puede ser usada para análisis de elementos complejos, como figuras humanas o árboles (**Figura 2**), pero puede ser corregida visualmente dándole la textura apropiada después de crear la superficie (utilizando software abiertos como Meshlab o Blender, www.blender.org; Pomaska, 2009) es un método

rápido, con los mínimos requerimientos técnicos (Windows 64 bits).

Por otro lado, Aunque puede tardar más que PSy, **Visual SFM** (VSFM) es más preciso y genera nubes de puntos más densas, estos puntos se concentran en zonas donde existen cambios de profundidad o color lo que provoca que no se pierdan los detalles a pesar de que existan huecos dentro de la nube, esto mismo hace que el programa sea especialmente bueno en zonas donde existen muchos cambios, por ejemplo la etiqueta de la caja tiende a ser más nítida y legible en VSFM (**Figura 2f**) a pesar de que es mayor la cobertura de puntos en PSP. En el caso de las transparencias, utilizando como referencia el protector transparente de la regla (**Figura 4e**) VSFM tiene una mejor respuesta, generando menos error y menos puntos duplicados que PSP.

En este experimento la nube con mayor cantidad de puntos fue obtenida a partir de PhotoScan-Professional (PSP), la cual incluso a un nivel de calidad Media es 3 veces más densa que la obtenida

por Visual SFM, y 10 veces más densa si se realiza el proceso en calidad alta (tabla 3) aunque cabe recalcar que PSP tardó casi el doble del tiempo en procesar esta última nube y que la computadora utilizada durante este proyecto queda fuera de los requerimientos necesarios para realizar la nube de puntos en PSP a un nivel de calidad Ultra-High, el cual aparentemente debe dar como resultado una nube de puntos aún más densa. PhotoScan es uno de los softwares comerciales más barato, tiene más requerimientos técnicos que PSy y VSFM pero es eficiente, genera nubes de puntos más densas y detalladas, siendo muy útil cuando se requiere de mayor precisión para reconstrucciones complejas, mediciones y cálculos de volumen, puesto que la nube cubre en su totalidad al objeto escaneado. En la **Figura 4a**, se puede observar como PSP genera una nube de puntos en cubre en su totalidad el objeto escaneado, incluso en superficies de color liso.

Tabla 2. Tiempo de procesado para 82 imágenes por cada método.

Process	Tiempo (hr)			
	PhotoScan		Visual SFM	Photosynth
	Medium	High		
Alinear y relacionar fotografías	0.48	0.40	0.44	0.03
Hacer reconstrucción media y densa	2.52	5	2.87	0.20
Exportar nube de puntos (Synthexport)	-	-	-	0.0033*



Figura 2. Se muestran las diferencias visuales entre las nubes de puntos resultantes por programa y por objeto.

Tabla 3. Cantidad de puntos obtenidos utilizando 82 fotografías.

software	PhotoScan		Visual SFM	Photosynth
	(Medium)	(High)		
Total	4,475,644	14,405,707	1,409,244	22,367
Area of interest	682,830	2,881,983	369,136	8,104

Tabla 4. Rango de error mostrado por el programa PhotoScan de Agisoft LLC al hacer la geo referenciación de la nube de puntos.

Ground Points	Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
Punto 1	-0.000035	0.000134	0.000493	0.000512	24	1.619995
Punto 2	0.000214	-0.000039	-0.000493	0.000539	37	1.778429
Punto 3	-0.000321	0.000244	0.000493	0.000637	37	4.342729
Punto 4	0.000142	-0.000338	-0.000493	0.000615	41	4.743402
Error Total	0.000206	0.000220	0.000493	0.000578	139	3.598858

4 CONCLUSIONES

Este documento demuestra lo sencillo y barato que puede llegar a ser la generación de una nube de puntos a partir de imágenes comunes.

La información contenida en estas nubes contienen datos XYZ y RGB y pueden ser complementadas con información espacial para su georeferenciación, lo que permite que sean ampliamente utilizadas para generar modelos digitales del terreno, reconstrucciones de patrimonio cultural, arqueología o arquitectura (Kersten, 2012).

Existen varios tipos de plataformas que pueden ser utilizadas ya sea independientes (descargadas en la computadora) o a través de un servidor Web, en este proyecto se comparan tres métodos: PhotoScan-Professional de Agisoft LLC (PSP) que es un software comercial de bajo costo, y dos softwares gratuitos: Visual SFM (VSFM) y PhotoSynth (PSy) de Microsoft el cual trabaja a través de un servidor Web.

Los resultados indican que PhotoScan produce una mayor cantidad de puntos, con mejor cobertura y detalle, 10 veces más puntos que VSFM cuando se hace la reconstrucción en calidad alta;

Visual SFM tiene menos cobertura que PSP pero en zonas con muchos cambios de color y profundidad puede llegar a ser más nítido; por otro lado PSy es mucho más rápido y sencillo de utilizar pero la nube de puntos resultante no es densa, la cantidad de puntos es apenas el 2% de la cantidad registrada para VSFM, y tiene poca resolución lo que lo hace inútil para reconstruir figuras en las que se requiere más precisión y detalle como un modelo de elevación digital.

Por lo cual se puede concluir que PSP y VSFM son buenas opciones en la generación de Modelos de Elevación Digital y de Superficie, mientras que PSy es mejor para trabajos visuales, ya que depende del texturizado que posteriormente se le pueda dar a la reconstrucción de la superficie, la nube de puntos es menos densa y por lo tanto es más fácil de manejar y con un mínimo requerimiento técnico.

REFERENCES

- Clapuyt, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2015). Reproducibility of uav-based earth topography reconstructions based on structure-from-motion algorithms. *Geomorphology*.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A

- review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.
- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- Gross, J. W. A Comparison of Orthomosaic Software for Use with Ultra High Resolution Imagery of a Wetland Environment.
- Huang, T. S., & Netravali, A. N. (1994). Motion and structure from feature correspondences: A review. *Proceedings of the IEEE*, 82(2), 252-268.
- James, M. R., & Robson, S. (2012). Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: accuracy and geoscience application. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* (2003–2012), 117(F3).
- Kersten, T. P., & Lindstaedt, M. (2012a). Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. *InProgress in cultural heritage preservation* (pp. 1-10). Springer Berlin Heidelberg
- Kersten, T. P., & Lindstaedt, M. (2012b). Potential of automatic 3D object reconstruction from multiple images for applications in architecture, cultural heritage and archaeology. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(3), 399-420.
- Pomaska, G. (2009, October). Utilization of photosynth point clouds for 3D object reconstruction. In *Proceedings of the 22nd CIPA symposium*, Kyoto, Japan.
- Rosnell, T., and E. Honkavaara (2012), Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera, *Sensors*, 12, 453–480, doi:10.3390/s120100453.
- Scaioni, M., Perko, R., & Veronez, M. R. (2014). Applications of surveying in land management. *Earth Science Informatics*, 7(2), 69-70.
- Sona, G., Pinto, L., Pagliari, D., Passoni, D., & Gini, R. (2014). Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images. *Earth Science Informatics*, 7(2), 97-107.
- Stumpf, A., Malet, J. P., Kerle, N., Niethammer, U., & Rothmund, S. (2013). Image-based mapping of surface fissures for the investigation of landslide dynamics. *Geomorphology*, 186, 12-27.
- Turner, D., Lucieer, A., & Wallace, L. (2014). Direct georeferencing of ultrahigh-resolution UAV imagery. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 52(5), 2738-2745.
- Verhoeven, G. (2011). Taking computer vision aloft—archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan. *Archaeological Prospection*, 18(1), 67-73.