

Fotogrametría de Bajo Vuelo por medio de Sistemas Aéreo no Tripulado para Modelación 3D en Área de Riesgo Geológico, Urb. Villa España, Bayamón, PR

Álvaro Morales Vargas
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial
Prof. Víctor Romero
Departamento de Agrimensura y Ciencia Geoespacial
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — *La importancia de la tecnología de los Sistemas Aéreos no Tripulados (UAV en inglés) no únicamente es en el campo de la fotogrametría sino en muchos otros usos. La aplicación de este sistema de vuelo para la generación de mapas y visualización 3D está siendo usada cada día en muchos otros países con resultados impresionantes. A parte de ser una solución costo efectiva, contribuye brindando resultados que pudieran ser comparados con tecnología de punta de avanzada, dependiendo del equipo y sistemas informáticos utilizados para el procesamiento de datos. El uso de la tecnología UAV, aparte de ser económicamente ventajosa cuando se compara con otros métodos aéreos tradicionales, puede proveer información valiosa en un corto periodo de tiempo en lugares de difícil acceso y que puedan presentar algún riesgo. En el área de estudio sería la primera vez que se utilizaría esta tecnología para determinar información de riesgo geológico del mogote afectado.*

Términos claves - *Fotogrametría, Modelación 3D, SIG, Sistema Aéreo no Tripulado (UAV).*

INTRODUCCIÓN

En muchos lugares de Puerto Rico se ha pasado por la experiencia o consecuencias de deslizamientos de terreno que por lo general produce grandes pérdidas materiales y ponen en riesgo la vida humana. En Puerto Rico se ha estimado un promedio de entre 40 y 100 deslizamiento de terreno en las últimos 40 años, alrededor de 1 a 2 anualmente [1]. Uno de estos casos fue el evento de derrumbe de terreno en el Barrio Mameyes de Ponce para el año 1985, en donde más de 100 personas perdieron la vida. Uno de los eventos más recientes fue el caso de la

Urbanización Villa España en Bayamón. El 20 de agosto de 2013, un desprendimiento de parte del mogote ubicado al norte de la Calle Zaragoza (Ver Figura 1), ocasionó el desalojo de unas 23 familias de sus residencias [2]. En esta ocasión no hubo pérdida de vidas, pero si cuantiosas pérdidas materiales.



Figura 1

Foto Aérea del Área de Deslizamiento de Terreno, Bayamón, PR. (Fuente: A. Morales, 2015)

Varias de las causas principales del suceso pudieran atribuirse a la mala planificación y un desarrollo desmedido de proyectos de viviendas. En donde se hacen cortes profundos a las laderas de los mogotes, debilitando los soportes laterales, esto unido a las fuertes lluvias provoca que se reduzca la resistencia de la formación geológica y ocurra el deslizamiento de terreno [2].

Al presente, el deslizamiento de terreno en el lugar de estudio podría continuar siendo un riesgo a los vecinos cercanos al área del incidente. Esto debido a lo escarpado del lugar y difícil acceso al mismo, lo que imposibilita realizar labores de mitigación. Poco después del evento, geólogos del Departamento de Recursos Naturales y Ambiente y del Recinto Universitario de Mayagüez, recorrieron las inmediaciones del mogote para obtener más

información de la estabilidad del mogote. Esta fue una tarea ardua que no cubrió toda el área de interés por lo peligroso y lo inestable del lugar. ¿Como se puede monitorear una zona como esta de una manera segura y obtener una visualización confiable de la zona afectada?

Con el surgimiento de nueva tecnología de vuelo por control remoto llamada en inglés Unmanned Aerial Vehicles (UAV) o Sistemas Aéreos No-tripulados se han abierto las puertas a un sin número de beneficios para la fotografía aérea y al campo de la fotogrametría tradicional. Los vehículos aéreos no tripulados surgieron poco después de los aeroplanos, alrededor de la Primera Guerra Mundial (1916). Aunque la idea de "máquinas voladoras" fue concebida cerca de 2,500 años en la antigua Grecia y China [3].

Uno de los beneficios de los UAV es su variedad de aplicaciones como: áreas de cultivos extensos, inundaciones, accidentes con químicos tóxicos, incendios, terrenos propensos a deslizamientos, etc. Utilizando sensores especializados pueden proveer información (videos, imágenes digitales, hiper-espectrales, etc.) de importancia y de rápido acceso.

Mediante la utilización de un UAV (equipo de vuelo DJI 900 con seis rotores y una cámara GoPro Hero 3+ integrada), manejado por control remoto, se obtuvo una serie de imágenes del área de interés. Que posteriormente, mediante el procesamiento en programas informáticos, se generó un modelo digital de superficie (MDS) tridimensional (3D) el cual se podrá utilizar para evaluar, estimar y calcular el riesgo geológico del mogote en el área de estudio.

OBJETIVO

- El objetivo principal de este trabajo es lograr:
- La elaboración de un Orto-mosaico del área de interés.
 - La creación de un modelo tridimensional o modelo digital de superficie (MDS) derivado de una nube de puntos por medio de la tecnología de "Structure from Motion" (SfM).

SfM consiste en el procesamiento y reconstrucción de las imágenes por medio de un programa informático.

- El modelo 3D con capacidad de ser visualizado desde diferentes puntos de vista, pudiendo hacer acercamientos de zonas poco accesibles.
- Los aspectos de escala también serán incluidos en el modelo, para permitir tomar medidas en lugares de difícil acceso en el área del deslizamiento. De esta forma se intentará definir y visualizar riesgos geológicos del área que no puedan ser identificados o visibles desde las zonas bajas del lugar.

REVISIÓN LITERARIA

Los primeros experimentos con UAV en el campo de la fotogrametría se realizaron para el año 1979 por Przybilla y Wester-Ebbinghaus. Se utilizó un modelo por control remoto con alas de 3 metros de largo, equipado con una cámara óptica [4]. En ese momento los resultados no fueron satisfactorios a causa de las vibraciones en el rotor, lo cual resultó en imágenes movidas. En subsiguientes intentos Wester-Ebbinghaus (1980) utilizó modelos de helicópteros con cámaras integradas teniendo mejores resultados [5]. Inicialmente el utilizar un vehículo aéreo no tripulado no causo mucho entusiasmo en el sector académico, notándose muy pocas publicaciones y conferencias. Sin embargo otros sectores comerciales fueron visionarios en sacar ventaja a la nueva tecnología surgente.

Para el 2005 [6] se generó el primer modelo de elevación digital (DEM) utilizando un UAV por control remoto. Luego de esto las tendencias hacia el uso y aplicaciones en la fotogrametría se han incrementado. El auge ha sido evidente, entre el 2005 al 2013 cuando el desarrollo en términos comerciales de los UAV se ha incrementado en diez veces. Esto se refleja en las conferencias internacionales y presentaciones. Varios autores (Everaerts, y Eisenbeis) han contribuido con la categorización de los UAV en términos de su variabilidad, dependencia y maniobrabilidad [6] [7]. Así como Van Blyenburgh en 2013, el cual

realizó un inventario basado en categorías de tamaño, peso y rangos de operación.

Los aspectos de la fotogrametría se empiezan a enfatizar en las aplicaciones y requerimientos formulados con el uso de los UAV por Remondino y Fraser en el 2006 [8]. Así como los requisitos de calibración de la cámara por Colomina en 2007 [9]. Más recientemente, se han desarrollado aplicaciones comerciales fotogramétricas que automatizan la extracción de puntos (PhotoModeler, Agisoft PhotoScan, Pix4D, etc.), pero aun así se utilizan orientaciones exteriores de parámetros o puntos de controles para un mayor refinamiento de la precisión de la cámara [6].

Un trabajo en percepción remota por Niethammer en el 2010, utilizó un sistema de UAV para la aplicación de concepto de fotogrametría en el estudio de deslizamientos en un área de los Alpes Franceses [10]. En este caso la generación del modelo digital de elevación no requirió puntos de control basado en un nuevo método de rectificación utilizado para este trabajo.

En términos fotogramétricos, Remondino en el 2011, analizó en las aplicaciones de los UAV en la arqueología de determinados lugares, al igual que las aplicaciones en la agricultura [8]. De esto se generaron modelos de superficie digitales, así como orto-fotos y modelos en 3D. En este trabajo se mencionan los bajos costos operacionales, así como la reducción de riesgos durante la realización del trabajo en el lugar y el potencial de una alta precisión en el empleo de estas técnicas. También se destaca que la tarea de captar las imágenes se convierte en una más compleja cuando el objeto o estructura se desea en 3D. Dado el caso que las imágenes en una estructura vertical requieren un plan de vuelo más complejo.

METODOLOGÍA O PROCEDIMIENTO

Con la utilización del UAV y cámara integrada, se obtendrá imágenes del área del deslizamiento y mogote. Luego de la obtención de las imágenes, se trabajará con varios sistemas informáticos a través del uso de procesamiento de

imágenes por ajuste, conocido en inglés por "Structure from Motion" (SfM). Este procedimiento está basado en la información extraída automáticamente del conjunto de imágenes superpuestas. Consistiendo en la extracción de puntos en común de todas las fotografías tomadas mediante un algoritmo. Lo que permite poder hacer una reconstrucción de la imagen desde los diferentes puntos de vista. Luego, el sistema informático especializado, podrá hacer la modelación 3D, añadiendo la textura y el color.

Los métodos o procedimientos a seguir en la creación de un modelo 3D se describen a continuación:

- Se comenzó con la localización y Marcado de Puntos de Control (MPC) en el área de estudio. Estos puntos de control deben estar bien distribuidos, aproximadamente en una proporción de diez puntos en el área a cubrirse. Cada MPC debe tener un tamaño adecuado el cual pueda ser captado por la cámara abordo del UAV. Para la localización de los MPC se utilizó una instrumentación GPS (CHC X90-OPUS Static Receiver) y una Estación Total (Gowin TKS-202), ver Figura 2.
- La toma de fotos en el área se realizó utilizando un UAV modelo DJI 900, con una cámara integrada modelo GoPro Hero 3+. Con la creación de un plan de control de vuelo, las fotos fueron tomadas a una altura constante en donde se pudo observar el MPC y en donde se mantuvo una resolución adecuada de las imágenes. La Figura 3 muestra este equipo.
- Se seleccionaron las imágenes que mejor cubrieron el área de estudio, para ser procesadas con los programas informáticos: Photoscan y Pix4D. Este proceso también envuelve la creación y revisión de la nube de puntos generada, con el propósito de eliminar datos no aceptables.

Luego de este proceso se puede extraer la nube de puntos (densificada) para ser trabajado añadiendo la textura y el color. También, se puede editar o remover cualquier anomalía o ruido.

Dependiendo de la cantidad de puntos generados y con el establecimiento de los Puntos de Control, se puede establecer una escala del proyecto, además de poder proyectar y poder visualizar el área en un modelo 3D. Para establecer una escala es necesario obtener una distancia de referencia obtenida en el campo. Luego se puede crear un orto-mosaico con las imágenes georeferenciadas, también es posible exportar la orto-foto a sistemas de mapas como Google Earth en formato KMZ o KML (Keyhole Markup Language).



Figura 2

Marcado de Puntos de Control y Uso de GPS en el Área de Estudio. (Fuente: A. Morales, 2015)



Figura 3

Equipo UAV en Preparativo de Vuelo en el Área de Estudio. (Fuente: UAV - Microcopter Pro, Foto - A. Morales, 2015)

- Una vez creado el modelo 3D, se exportará en ArcGIS o en Qgis para trabajar con el Modelo Digital de Superficie (MDS). Esto crea la conveniencia de poder realizar análisis del área con las diferentes herramientas que proveen estos programas.

RESULTADOS

A continuación se discuten los resultados obtenidos durante las labores de campo y el procesamiento de imágenes.

Marcado de Puntos de Control

La labor de Marcado de Puntos de Control (MPC) es una necesaria para los ajustes del proceso, pues añade precisión y escala a las imágenes a ser generadas. Durante esta labor de campo se obtuvo un total de 34 puntos distribuidos mayormente en el área de la Calle Zaragoza y la hilera de casas localizadas al sur del área de deslizamiento del mogote.

Se localizaron los puntos de la línea base, identificados como Sta-1 y Sta-2, para los cuales se utilizó una antena estática GPS (CHC X90-OPUS). La solución del procesamiento de los datos fue obtenida con el sistema OPUS (Online Positioning User Service) de la National Geodetic Survey (NGS). Con las coordenadas en el sistema Plano Estatal NAD 83 se procedió a la transformación de los puntos de control a ser utilizados en el área. Luego de examinada la información provista por el sistema OPUS, se pudo observar que la precisión estimada de la solución para los puntos Sta-1 y Sta-2 indicada en el plano horizontal fue de 0.5 cm y en el plano vertical de 2.3 cm.

Adquisición de Imágenes Aéreas

Del total de 34 puntos de control, se seleccionaron 9 marcas con mejor localización visual. Estas marcas fueron preparadas para ser visibles a la altura de vuelo. Las mismas fueron colocadas a lo largo de la calle y en algunas de las estructuras. La Figura 4 muestra el UAV sobre volando el área y una de las marcas o puntos de control (punto Sta-1).



Figura 4
UAV Sobrevolando el Área y Marca de los
Puntos de Control. (Fuente: A. Morales, 2015)

La distribución y/o localización de los puntos de control seleccionados se puede observar en la Figura 5. Las marcas de los puntos de control permiten que el programa informático de reconocimiento extraiga la información automáticamente del conjunto de imágenes superpuestas, las cuales consistían de un total de 323 imágenes.

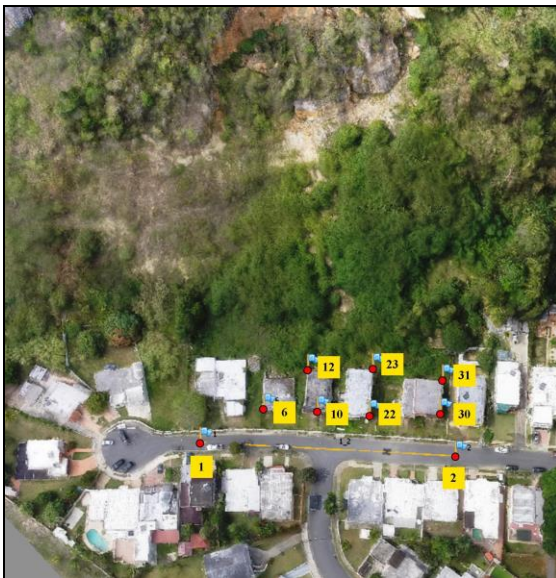


Figura 5
Identificación de los Puntos de Control en el
Área de Estudio. (Fuente: A. Morales, 2015)

El programa informático con procedimientos de reconocimiento de imagen permite poder hacer una reconstrucción de cada imagen desde diferentes perspectivas o puntos visuales.

El sistema de cámara se configuró automáticamente (enfoque, balance y apertura) para la captura de las imágenes. La resolución obtenida por la cámara fue de 3,400 x 2,400 píxeles, con un largo focal de 2.77 mm y un tamaño de pixel de 1.91985 x 1.91985 μm . La resolución en la imagen del terreno fue de 0.06 m/píxel. Esto según el cálculo del programa informático Agisoft Photoscan después de generado el informe del computo.

Debido a la altura del mogote (102 m, USGS), se planificó el sobrevolar el área de interés a una altitud de 130 metros. Este parámetro fue integrado en el plan de vuelo automatizado del cual es capaz el sistema de UAV. Otros parámetros incluyeron la toma de imágenes a intervalos de una foto por segundo, lo que generó un solape de aproximadamente de entre un 80 a 90 por ciento entre imagen. Creando un total de puntos de amarre (Tie-points) de 23,510 entre las imágenes, lo cual se conoce como la nube de puntos esparcida.

El área de cobertura del área de interés fue calculado en 0.174 km^2 . En la Figura 6 se muestra el área de cobertura y localización de las fotos identificadas, así como el nombre de una imagen determinada en el programa informático.

Reconstrucción de las Imágenes

El procedimiento de reconstrucción de imágenes fue mediante la creación de la nube de puntos densificada. El proceso envuelve la creación de un modelo en 3D el cual puede constar de millones de puntos. En el caso de la nube de puntos del área de estudio fue de 19,381,658 puntos. El programa emplea algoritmos que identifican los puntos de amarre y asignan las coordenadas, las cuales orientan las fotos. En la Figura 7 se puede visualizar al área de la nube de puntos densificada en el programa Pix4D. El procesamiento en Agisoft Photoscan tomó aproximadamente 23 horas.

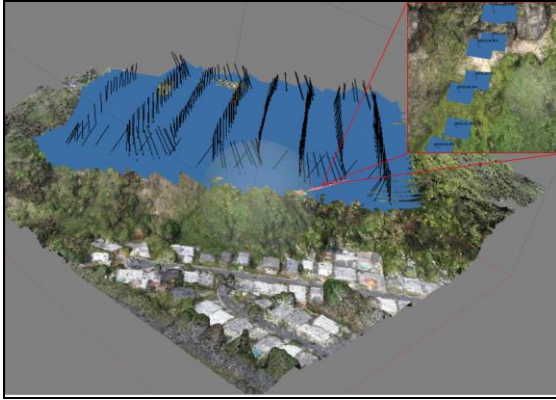


Figura 6
Área de Cobertura de las Imágenes en la Nube de Puntos
utilizando Agisoft Photoscan.
(Fuente: A. Morales, 2015)



Figura 7
Creación de Nube de Puntos Densificada, utilizando
Procesado de Pix4D. (Fuente: Microcopter Pro, 2015)

Orto-Mosaico y Modelo de Elevación Digital

Al igual que la creación de la nube de puntos, el proceso para la creación de la modelación en 3D en base a la textura y colores de las fotos, fue un de larga duración. Aproximadamente unas 13 horas tomó el proceso para completar la elaboración de la modelación. El producto final fue representado en un orto-mosaico con una resolución de la imagen del terreno de 0.06 m/pixel. La Figura 8 ilustra el orto-mosaico generado.

De igual forma se creó el Modelo Digital de Superficie (MDS) de la zona del deslizamiento, en el cual se puede distinguir la elevación del área del mogote alcanzando los 102.139 metros. En la Figura 9 se puede observar el MDS preparado. La resolución del MDS fue de 0.12 m/pixel.



Figura 8
Orto-Mosaico, utilizando Agisoft Photoscan.
(Fuente: A. Morales, 2015)

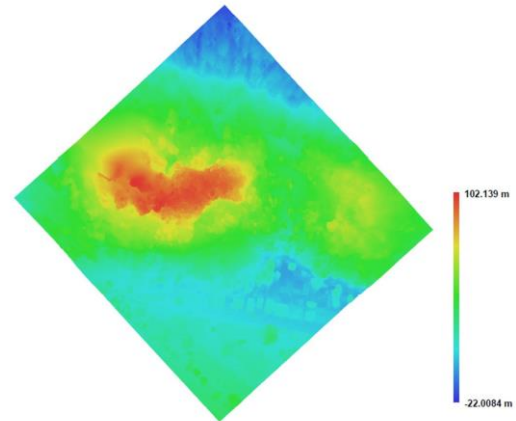


Figura 9
Modelo Digital de Superficie (MDS), utilizando Agisoft
Photoscan. (Fuente: A. Morales, 2015)

Otros Formatos de Mapas

En base a esta información es posible exportar el orto-mosaico a otros formatos de mapas como por ejemplo a Google Maps o Google Earth. Para esto se crea el orto-mosaico en formato KML. El cual fácilmente se puede integrar en Google Earth. Esto se puede apreciar en la Figura 10, donde el área de interés cubre perfectamente la zona, con un área de mejor resolución espacial.

Posteriores Análisis

Los datos, así como el orto-mosaico y el MDS, pueden ser exportados a ArcGIS o Qgis. En este caso se utilizó ArcGIS para realizar los posteriores

análisis, como: medidas del área de deslizamiento, volúmenes, y la confección de mapas.

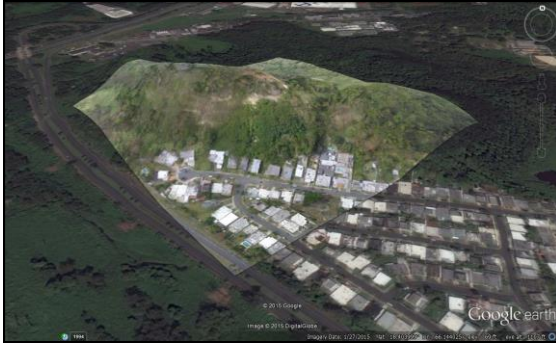


Figura 10
Integración del Orto-Mosaico en Google Earth.
(Fuente: A. Morales, 2015)

Los resultados de las mediciones y cálculos de los análisis se presentan a continuación:

- **Medidas generales:** Con las herramientas de cálculo de medidas se computo el tamaño del deslizamiento. Para esto se utilizó la orto-foto generada en Photoscan. En el tope del deslizamiento se observó un desplazamiento vertical de 20 m, creando una figura de cono invertido lo cual es una característica geomorfológica de este tipo de deslizamiento. Teniendo un ancho de 90.297 m en la parte superior y extendiéndose a unos 125.094 m en la parte inferior. En la Figura 11 se puede apreciar la medida del desplazamiento en el tope del mogote.



Figura 11
Medición del Desplazamiento Vertical, utilizando Agisoft Photoscan. (Fuente: A. Morales, 2015)

- **Volúmenes:** Otro cálculo de importancia son los volúmenes desplazados durante el evento y área que puedan representar riesgo por su inestabilidad a consecuencia del desprendimiento del material. Como ejemplo

se seleccionó un bloque de roca caliza en la parte superior del mogote. Según la representación de las medidas obtenidas se calculó un volumen de 508.646 m³ con un peso aproximadamente de unas 1,349.295 toneladas (ver Figura 12).



Figura 12
Medidas Específicas del Bloque en el Áreas de Riesgo.
(Fuente: A. Morales, 2015)

En el caso del volumen total de la zona del desprendimiento se calculó utilizando la herramienta de volumen del polígono en ArcGIS. Este cómputo se hizo en base a una elevación base al nivel de la calle Zaragoza (10 m). El resultado indicado fue de 247,417.681 m³ cubriendo una superficie de área de 13,577.146 m². Ver Modelo 3D, Figura 13.



Figura 13
Modelo 3D y Representación de Área de Volumen Calculado, Agisoft Photoscan. (Fuente: A. Morales, 2015)

El cómputo del volumen del terreno deslizado fue desarrollado creando un mapa TIN (Triangular

Irregular Network) en ArcGIS, el cual fue delimitado por un polígono correspondiendo a el área del deslizamiento (ver Figura 14). De esta forma se puede apreciar la relación de elevación y al área ocupada por el deslizamiento.

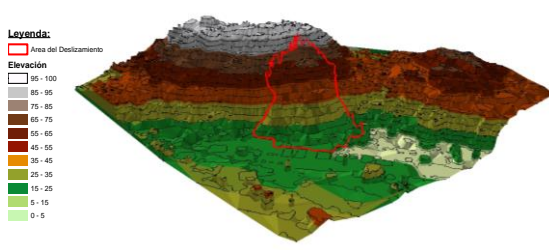


Figura 14
Mapa 3D de Elevación con Polígono del Área de Deslizamiento. (Fuente: A. Morales, 2015)

Errores de Puntos de Control

Como se había mencionado anteriormente, un total de 9 marcas o puntos de control distribuidos uniformemente en el área fueron ubicados en el área de interés. Los puntos de control pudieron ser captadas por la cámara de entre 157 a 179 proyecciones en común. Esto produce un mejor amarre entre las imágenes y que mejora la calidad y precisión al generar el orto-mosaico y el DSM. En la Tabla 1 se resume los resultados de los errores en metros de X, Y, y Z de los puntos de control. También se denota el error en los pixeles de cada punto.

Tabla 1
Errores en los Puntos de Control
(Agisoft Photoscan)

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
1	-0.140684	-0.359143	-1.175974	1.237615	157	1.388130
2	-0.132237	-0.864914	-2.724735	2.861773	180	0.994781
6	0.000993	0.067092	-0.197744	0.208818	164	5.051929
10	-0.073974	0.283449	1.882543	1.905199	173	4.306653
12	0.163687	0.042764	-0.739034	0.758152	173	7.023099
22	0.152623	0.163585	2.402220	2.412616	176	4.639688
23	-0.027308	0.050492	-0.642532	0.645091	179	2.859929
30	0.118307	0.321489	1.484915	1.523917	176	2.087725
31	0.014696	0.232416	-0.434865	0.493296	175	3.237312
Total	0.109442	0.357525	1.546104	1.590672	1553	3.952543

En la Tabla 1 los valores de error de los Puntos de Control están expresados en metros y representan la diferencia entre el valor de origen (datos de entrada) y el valor estimado que calcula el programa Photoscan. El error de pixel está

representado por el error de re-proyección (o re-muestreo), lo cual es necesario para igualar el tamaño del pixel a través de las imágenes y asignar valores de la imagen original a la imagen transformada. Del error en metros total (en los puntos de control) se calculó el Error Medio (Mean Error) el cual fue de 1.3385 m, y el Error Standard con 0.3039 m.

Tabla 2
Comparación de las Distancias Obtenidas

Puntos	Medio Utilizado	Distancia	Diferencia
1-2	Total Station	92.150 m	Medida
1-2	Photoscan	92.246 m	-0.096 m
1-2	Pix4D	92.660 m	-0.510 m
1-2	ArcGIS	92.262 m	-0.112 m

También se procedió a realizar una comparación de las diferencias en distancia. Para esto se utilizó las medidas obtenidas en el campo al utilizar un equipo Estación Total (Gowin TKS-202) durante el marcado de los Puntos de Control. Esto se comparó con la distancia calculada por el programa de Photoscan, Pix4D, al igual que utilizando ArcGIS. En la Tabla 2 se puede ver la comparación y las medidas.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos del área de estudio muestran la gran utilidad y conveniencia de uso de sistemas de vuelo no tripulado (UAV) especialmente en áreas que envuelven algún riesgo. Los aspectos significativos de proyecto que más se resaltan como ventajas son:

- **Bajos costos:** La inversión del equipo es un bajo cuando se compara con los medios típicos utilizado para adquirir este tipo de datos.
- **Fácil manejo:** El plan de vuelo (sistema de vuelo automatizado), así como el sistema de guía por GPS, hacen que la operación del equipo sea una autónoma y por ende una de fácil manejo.
- **Alta resolución:** Provee información de alta resolución espacial para una rápida respuesta a situaciones de emergencia, en donde la visualización en 3D pudiera ser crucial.

- **Orto-mosaico y MDS:** Algoritmos (SfM) especializados permiten la creación de mapas o modelos geométricos y de textura en 3D.
- **Adquisición de Datos:** Permite adquirir información de lugares de riesgo o peligrosos (deslizamientos) en los cuales muchas veces es imposible el acceso.

Algunas de las desventajas del sistema se resaltan a continuación:

- **Tiempo de procesamiento:** Si se generan grandes cantidades de fotos el tiempo de procesamiento pudiera ser uno muy extenso. Para reducir el tiempo haría falta equipo computarizado más potente lo cual incrementa los costos.
- **Complejidad en áreas extensas:** Los modelos 3D requiere imágenes que converjan lo cual aumenta la complejidad cuando las áreas son de gran extensión de terreno. Se necesitan mayor cantidad de imágenes, y otras en posición vertical para captar vistas desde otras perspectivas.
- **MDS:** Al presente (Photoscan) solo genera el Modelo Digital de Superficie (MDS), pues refleja la vegetación (árboles) y estructuras (edificios y casas). Esto en diferencia de lo que sería un Modelo Digital de Terreno (MDT).
- **Reglamentación:** La agencia de Administración Federal de Aviación Federal (FAA), al momento no ha concluido el proceso de reglamentación para los sistemas UAV. Solo existen guías de uso y los Certificados de Excepción otorgados por la FAA luego de un largo proceso de evaluación. El uso para propósitos comerciales está prohibido sin la debida autorización.

Los resultados del estudio muestran una tendencia de error en los puntos de control los cuales se pueden atribuir a factores de equipo y discrepancia en ajustes. La cámara es uno de estos, al utilizar un modelo como la GoPro Hero 3+ hay que considerar que aunque esta cámara es de alta definición también posee un lente gran angular. Este lente de no ser ajustado a una visión normal,

crea distorsión marcada en la foto. El algoritmo puede realizar el amarre de los puntos en este caso, pero esto podrá ocasionar un aumento en el error (metros).

Otro factor que aumenta la probabilidad de errores son las discrepancias en los ajustes. Esto ocurre durante los ajustes manuales en las marcas de los puntos de control en las imágenes (cuando el centro de la marca del punto no es claramente visible). Un ejemplo son los casos de mucha vegetación en el área.

El desarrollo de aplicaciones y programas informáticos en el uso de los UAV han brindado la oportunidad de que personas en el campo de la fotogrametría y percepción remota, además de las ciencias terrestres, puedan tener acceso a datos de una manera costo eficiente. En este proyecto se ha podido demostrar la gran cantidad de información que se puede extraer de las imágenes. La facilidad de exportar estos a un sistema de información geográfico (SIG) aumenta la habilidad de realizar análisis y mapas (ver Figura 15) señalando las áreas de peligrosidad, que de otra forma serían imposible su visualización y la obtención de los datos, sin incurrir en altos costos.

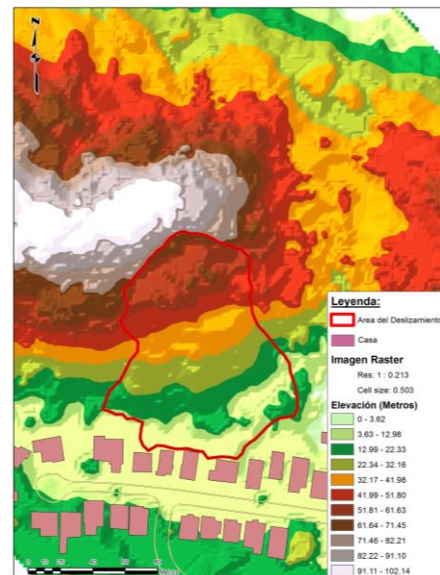


Figura 15

Mapa de Elevación de Área Afectada por el Deslizamiento
(Fuente: A. Morales, 2015)

REFERENCIAS

- [1] CIAPR, AEMED, FEMA. *Inundaciones y Derrumbes en Puerto Rico, Guía de Mitigación de Daños*, 2002, pp. 1-30.
- [2] P. Bosques. (2013). *Derrumbe de mogote en Bayamón fue provocado por el ser humano* [Online]. Disponible: El Nuevo Día, Calidad de Vida, www.elnuevodia.com, Noticias.
- [3] J. F. Keane & S. S. Carr, *A Brief History of Early Unmanned Aircraft*, Vol. No. 32 #3, 2013, pp. 558–571.
- [4] H. Przybilla & W. Wester-Ebbinghaus, *Bildflug mit ferngelenktem, Kleinflugzeug*. *Bildmessung und Luftbildwesen*, No. 47, 1979, pp. 137–142.
- [5] Przybilla, H., *Das UAV-Projekt MikroKopter – System und erste Erfahrungen im Einsatz*, 1980, pp. 1–8.
- [6] H. Eisenbeis, *UAV Photogrammetry*, ETH Zurich, Switzerland, No. 18515, 2009.
- [7] J. Everaerts, *NEWPLATFORMS – Unconventional Platforms (Unmanned Aircraft Systems) for Remote Sensing*. Technical Report 56. European Spatial Data Research (EuroSDR), 2009.
- [8] F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex, M. Scaioni & D. Sarazzi, “UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling—current status and future perspectives,” *ISPRS – Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, 2011, pp. 25–31.
- [9] I. Colomina, M. Blázquez, P. Molina, M. Parés & M. Wis, “Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing,” *ISPRS – Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. XXXVII-B1*, 2008, pp. 1201–1206.
- [10] U. Niethammer, S. Rothmund, U. Schwaderer, J. Zeman & M. Joswig, “Open source image-processing tools for low-cost UAV-based landslide investigations,” *ISPRS – Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spatial Inform. Sci. XXXVIII-1/C22*, 2011, pp. 57–62.