

---

## **PLANTILLA DE TEXTO PARA EL ENVÍO DE ARTÍCULOS**

COMPARACIÓN DE DOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN GENERADOS A PARTIR DE UN  
SISTEMAS UAV E INSTRUMENTAL GNSS

COMPARISON OF TWO DIGITAL ELEVATION MODELS GENERATED FROM UAV SYSTEMS AND  
GNSS INSTRUMENTS

Guillermina S. Santecchia

Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y de computadoras, Universidad Nacional del Sur (UNS),  
CONICET, Bahía Blanca, Argentina.

Email: guillermina.santecchia@uns.edu.ar

Juan Manuel Span

Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.  
E-mail: jmspan@hotmail.com

### **RESUMEN:**

El avance informático y tecnológico, y la aparición de los UAV (*unmanned aerial vehicle*) en las últimas décadas, marcaron un nuevo camino en los relevamientos topográficos y en las mediciones de coordenadas tridimensionales de puntos. La generación de modelos digitales de elevación (DEM), ortomosaicos y productos cartográficos generados a través de sistemas UAV es una herramienta alternativa en el ordenamiento del suelo o el estudio de una determinada zona. En este trabajo se generaron dos DEM, uno a través de datos obtenidos con un UAV. Para ello se realizó un vuelo autónomo, a una altura de vuelo de 60 metros, velocidad crucero de 8 m/s, traslape longitudinal del 80 % y lateral del 70 %. Con esto se obtuvieron imágenes con 2,6 cm/pix de resolución espacial. El otro modelo se confeccionó a través de datos tomados con un receptor GPS/GNSS (*Global Position System - Global Navigation Satellite System*) South Galaxy G1 Plus de 220 canales que permite obtener mejor precisión en las coordenadas planialtimétricas. Es un equipo de doble frecuencia (L1/L2) y recibe información de las constelaciones GPS, GLONASS, BEIDOU y GALILEO. Luego, se compararon los resultados para evaluar la precisión en los productos generados. Los resultados obtenidos en el presente trabajo detectan diferencias significativas en cuanto a la densidad de puntos que pueden obtenerse para confeccionar el DEM. Ambas tecnologías pueden ser eficientes dependiendo del objetivo del trabajo. Cuando la superficie a relevar presenta una pendiente uniforme, con ambos instrumentos se puede alcanzar similares resultados, pero cuando la superficie a relevar presenta depresiones o zonas elevadas, se alcanzan resultados distintos. El DEM que se obtiene con el UAV se adapta mejor a la topografía del terreno.

**PALABRAS CLAVE:** UAV, GPS, GNSS, DEM, Modelo digital de elevaciones.

### **ABSTRACT:**

The technological advance and the appearance of UAVs (*unmanned aerial vehicle*) in the last decades marked a new path in topographic surveys and measurements of three-dimensional coordinates of points. The generation of Digital Elevation Models (DEM), orthomosaics and

---

cartographic products generated through UAV systems is an alternative tool in the urban planning or the study of a certain area. In this work, two DEMs were generated, one through data obtained with a UAV. For this, an autonomous flight was made, at a flight height of 60 meters, with a cruising speed of 8 m / s, longitudinal overlap of 80 % and lateral overlap of 70 %. With this, images with 2.6 cm / pix of spatial resolution were obtained. The other model was made using data taken with a South Galaxy G1 Plus 220-channel GPS / GNSS (Global Position System - Global Navigation Satellite System) receiver that allows better precision in planialtimetric coordinates. It is a dual frequency equipment (L1 / L2) and receives information from the GPS, GLONASS, BEIDOU and GALILEO constellations. The results were compared to assess the precision of the products generated. The results obtained in this work detect significant differences in terms of the density of points that can be obtained to make the DEM. Both technologies can be efficient depending on the objective of the work. When the surface to be surveyed presents a uniform slope, both instruments can achieve similar results, but when the surface to be surveyed has depressions or high areas, different results are achieved. The DEM obtained with the UAV is better adapted to the topography of the land.

**KEYWORDS:** UAV, GPS, GNSS, DEM, Digital elevation model.

---

## TEXTO DEL ARTÍCULO

### 1. INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología satelital junto al desarrollo informático y tecnológico, y la aparición de los UAV (*unmanned aerial vehicle*) en las últimas décadas, marcaron un nuevo camino en los relevamientos topográficos y en las mediciones de coordenadas tridimensionales de puntos. En la actualidad se utiliza el instrumento topográfico GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para realizar estudios del terreno y posicionamientos precisos, y se complementa con relevamientos obtenidos con UAV. Sin embargo, los relevamientos de pequeñas o grandes superficies pueden ser llevados a cabo utilizando diferentes instrumentos topográficos.

La generación de modelos digitales de elevación, ortomosaicos y productos cartográficos generados a través de sistemas UAV es actualmente una herramienta alternativa en el ordenamiento del suelo o el estudio de una determinada zona. En países avanzados ya se están realizando diferentes estudios utilizando este tipo de instrumento (Jimeno, 2015). Con el paso de los años también han evolucionado las técnicas fotogramétricas y los diferentes softwares para procesamiento de imágenes modificando las técnicas topográficas de medición. Esto permitió mejorar la precisión en los datos obtenidos, el tratamiento digital de los resultados, su integración a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y una reducción en los tiempos de trabajo, tanto de campo como de gabinete (Ruiz Sabina et al., 2015).

En la actualidad, existen distintos tipos de UAV y sensores; también llamados VANT (vehículo aéreo no tripulado), RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*), UAS (*Unmanned Autonomous Systems*) y popularmente conocidos como DRONES, término militar (Arriola Valdeverde, et al., 2018). En el mercado podemos encontrar diferentes UAV: de ala fija, híbridos y multirrotor. Debido a sus características, cada modelo puede ser específico para un determinado trabajo. La principal diferencia entre ellos es la autonomía de vuelo.

---

Las aeronaves de ala fija funcionan bajo el principio de sustentación de un avión. Presentan mayor tiempo de vuelo, pueden recorrer grandes distancias y cubrir superficies extensas. La disposición de las alas del instrumento no permite que pueda ser maniobrado en espacios reducidos. Para determinados trabajos, la ubicación de la cámara en el fuselaje impide realizar tomas verticales. Generalmente usan uno o dos motores, pueden volar a mayor velocidad lo que les permite cubrir extensiones amplias. Sin embargo, esto hace que tengan que volar a mayor altura limitando la resolución espacial. Son ideales para vuelos lineales y de grandes distancias. Una desventaja es el despegue y aterrizaje de la aeronave, ya que necesitan un espacio amplio para ello (Arriola Valdeverde, et al., 2018; Fernández-Lozano, et al., 2016).

Las aeronaves multirrotor asemejan su funcionamiento a un helicóptero con múltiples rotores. La velocidad máxima que pueden alcanzar es inferior a los de ala fija. Además, poseen menor autonomía de vuelo, con un promedio de 30 minutos. Estos UAV tienen la característica de que pueden ser maniobrados en espacios reducidos y en lugares confinados. Pueden volar a baja altura, eludir obstáculos y obtener mejor resolución espacial. La cámara se monta sobre un gimbal, lo que permite que se encuentre estable en el momento de la toma y que pueda rotar en sentido vertical, en algunos equipos, hasta 180°. Los más conocidos están provistos de entre cuatro y ocho rotores. Tienen la ventaja de poderse mantener en una posición fija en pleno vuelo (Arriola Valdeverde, et al., 2018; Fernández-Lozano, et al., 2016). Las aeronaves híbridas presentan las ventajas de un sistema que combina ala fija y rotores. Los más modernos pueden realizar el despegue y el aterrizaje de forma vertical.

El sistema GPS de origen militar es el más conocido de los sistemas GNSS. Es el primer sistema operativo y es gestionado por el ejército de los Estados Unidos. En la actualidad existen otros sistemas de navegación por satélite como lo son GLONASS, GALILEO y BEIDOU (Garrido-Villén, 2020). La utilización de instrumental topográfico GNSS proporciona distintas ventajas en los relevamientos topográficos. Entre ellas podemos citar que no requiere una visual entre los puntos a medir y la distancia entre ellos puede ser mayor, optimizando así la tarea y aumentando significativamente la productividad de trabajo.

El avance tecnológico de los UAV, como la mejora en las cámaras que traen incorporadas, el aumento del tiempo de vuelo y los avances en el procesamiento de datos, impulsan la investigación y su utilización en la generación de diferentes productos topográficos y cartográficos (Valverde et al., 2018). La precisión alcanzada dependerá del método de relevamiento seguido, y por ello es necesario realizar una evaluación para cada caso en particular dependiendo del propósito del trabajo.

Ramírez Chávez E.J. *et al.* (2013) realizaron la identificación y caracterización del paisaje sumergido de una Bahía mediante el uso de un UAV para la cartografía de paisajes sumergidos en zonas tropicales como forma de realizar monitoreo de cobertura, alcanzando buenos resultados. En la actualidad se promueve la automatización, si bien es necesaria y factible en ciertas etapas, como en la generación de DEM, la extracción precisa de características sigue siendo un procedimiento interactivo (Remondino et al., 2011).

Turner *et al.* (2012) proponen una técnica para la corrección geométrica y la creación de mosaicos utilizando técnicas fotogramétricas de Estructura desde Movimiento (SfM). Con la nube de puntos crean un MDE y logran armar un mosaico de alta precisión. Fernández-Lozano *et al.* (2016) presentan algunas de las aplicaciones de los

---

drones para la toma de información geológica de alta resolución y su uso como herramienta educativa para la diseminación de contenido científico. Además, mencionan que la combinación de información científica y educativa mediante la generación de modelos 3D proporciona una gran oportunidad para divulgar el patrimonio geológico y ayudar a su preservación.

Es importante resaltar las ventajas y desventajas de cada método de medición para la generación de distintos productos, las precisiones que pueden alcanzarse, los tiempos de trabajo de campo, el tiempo de trabajo en gabinete y el costo total de la tarea. El objetivo de este trabajo es evaluar las etapas llevadas a cabo en la generación de un modelo digital de elevaciones (DEM) utilizando dos instrumentos de medición y analizar la precisión alcanzada en cada caso. Primero, se considerará el levantamiento de fotogrametría aérea con sistemas UAV, la captura de los datos del terreno y la planificación de la misma. En una segunda etapa se analizarán los pasos y la toma de datos del levantamiento utilizando un instrumental GNSS. Luego se hará una revisión de las distintas técnicas que están siendo utilizadas y un análisis de las etapas de procesamiento para la generación de modelos digitales de elevación.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

El UAV utilizado para obtener las imágenes, con el objetivo de generar un DEM a través de técnicas fotogramétricas, es un DJI marca Phantom 4 Pro V2, multirroto. La aeronave posee una cámara de 20 megapíxel con un FOV (field of view – campo de visión) de 84°, un sensor CMOS y un sistema de posicionamiento satelital que capta las constelaciones GPS y GLONASS.

Se realizó un vuelo autónomo, el cual fue planificado mediante la aplicación *Precision Flight*. Se establecieron los siguientes parámetros: altura de vuelo de 60 metros, velocidad crucero de 8 m/s, traslape longitudinal del 80% y lateral del 70%. Con esto se obtuvieron imágenes con 2,6 cm/pix de resolución espacial.

Las imágenes obtenidas con el UAV fueron descargadas en formato JPG. Para realizar el procesamiento se utilizó el software Agisoft PhotoScan, comenzando con la orientación de las fotografías. Para ello se eligió una precisión alta. Luego se generó la nube de puntos densa de calidad alta y filtrado de profundidad agresivo. Finalmente se confeccionó el MDE.

Para este trabajo se empleó un receptor GPS/GNSS South Galaxy G1 Plus de 220 canales que permite obtener mejor precisión en las coordenadas planialtimétricas. Es un equipo de doble frecuencia (L1/L2) y recibe información de las constelaciones GPS, GLONASS, BEIDOU y GALILEO. Sus baterías proporcionan un tiempo de trabajo de aproximadamente 8 horas por receptor. Puede operarse con distintos métodos de medición. Uno es el pos-proceso, que obtiene las coordenadas corregidas mediante el procesamiento de los datos obtenidos en campo, a través de un software específico en gabinete. El otro es RTK (*Real Time Kinematic*), que obtiene las coordenadas corregidas en el momento de la observación.

Para este trabajo se utilizó el método RTK en su variante NTRIP. Las correcciones se realizan a través de Internet y redes IP móviles. El equipo de medición está compuesto por la antena móvil con radio interna G1 plus, una controladora South X11 provista del programa *fieldgenius*, un bastón y un chip de telefonía celular. La toma de datos se realizó punto a punto, configurando el receptor para relevar con un error máximo de 30 milímetros. La recolección se realizó teniendo en cuenta los cambios de pendientes

y la topografía del terreno. En las zonas con pendientes más abruptas se relevó una mayor cantidad de puntos, mientras que en las zonas planas se relevó menor cantidad. La lista de puntos relevados con el receptor GPS/GNSS fue descargada en formato csv. Utilizando QGIS, un sistema de información geográfica de software libre, se convirtieron los datos en formato *shape*. Finalmente se confeccionó el DEM a través de un interpolado.

### 3. RESULTADOS

En la figura 1 podemos observar ambos DEM y en la figura 2 la ortoimagen de la zona de estudio. A simple vista se puede observar que el producto obtenido con UAV es más uniforme y se asemeja a la realidad. En el producto obtenido con GPS/GNSS se pueden observar zonas con interpolación deficiente provocando errores en el DEM. En la tabla 1 pueden observarse un resumen de los valores obtenidos en cada DEM. Del análisis de los resultados se determina que en las zonas llanas existe una discrepancia entre 5 cm y 10 cm, entre las altitudes obtenidas con ambos métodos. En los sectores donde la topografía del terreno presenta depresiones, la diferencia entre las altitudes obtenidas es mayor y alcanza valores superiores a 50 cm.

**Tabla N° 1: resumen de valores obtenidos.**

Estadísticas	DEM UAV	DEM GNSS
Valor mínimo	20,02	19,90
Valor máximo	23,10	22,59
Promedio	21,71	21,64

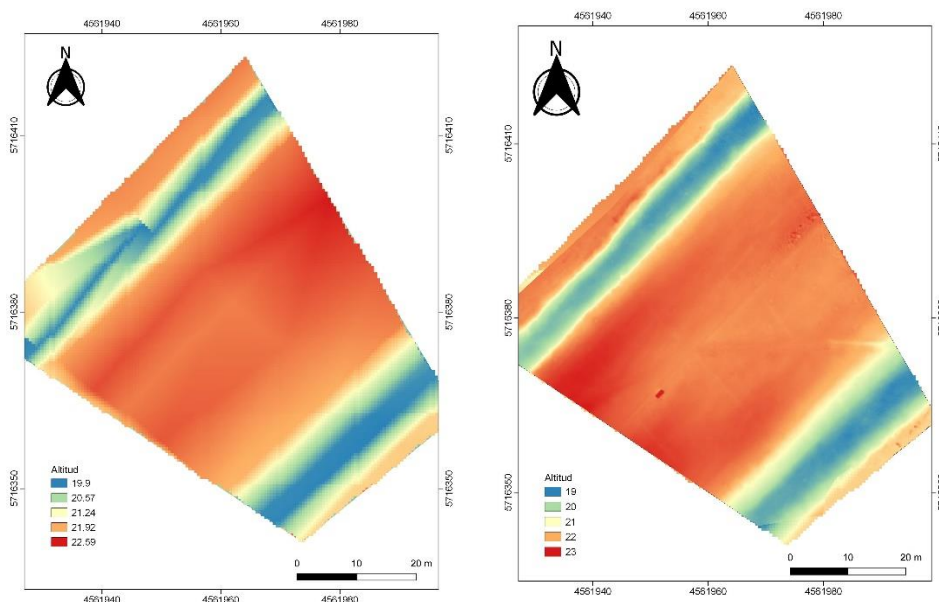


Figura 1. a la izquierda DEM generado con puntos tomados con instrumental GPS/GNSS, a la derecha DEM generado a través de imágenes de UAV.

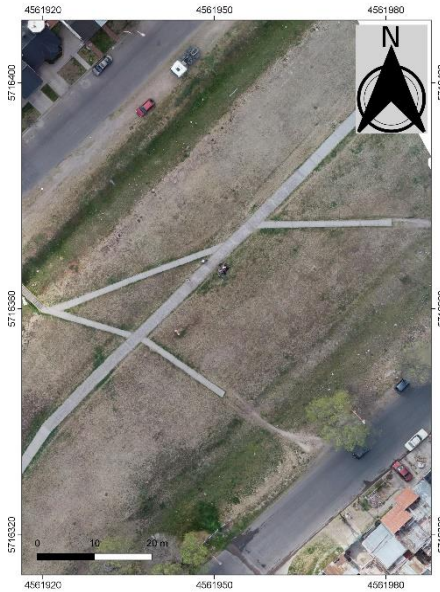
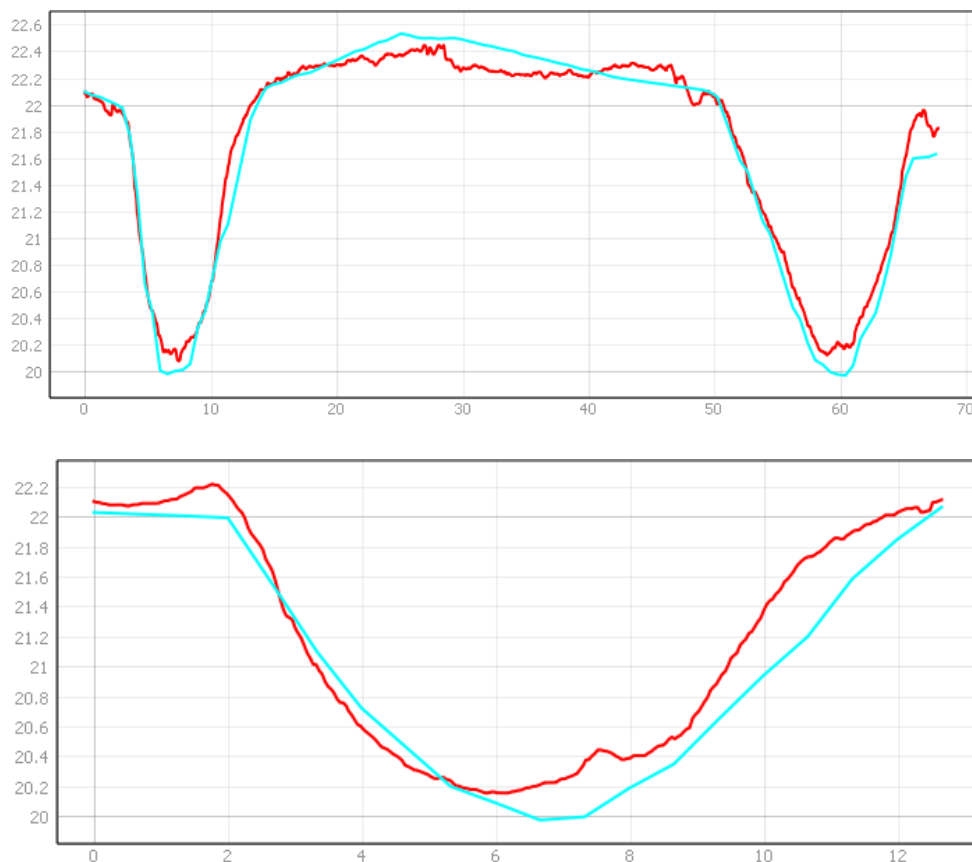


Figura 2. ortoimagen de la zona de estudio.

Para realizar un análisis más exhaustivo se confeccionaron perfiles longitudinales y transversales en diferentes zonas con pendientes llanas y más abruptas. Se superpusieron los perfiles tomados con ambos instrumentos para evaluar la diferencia entre ellos.



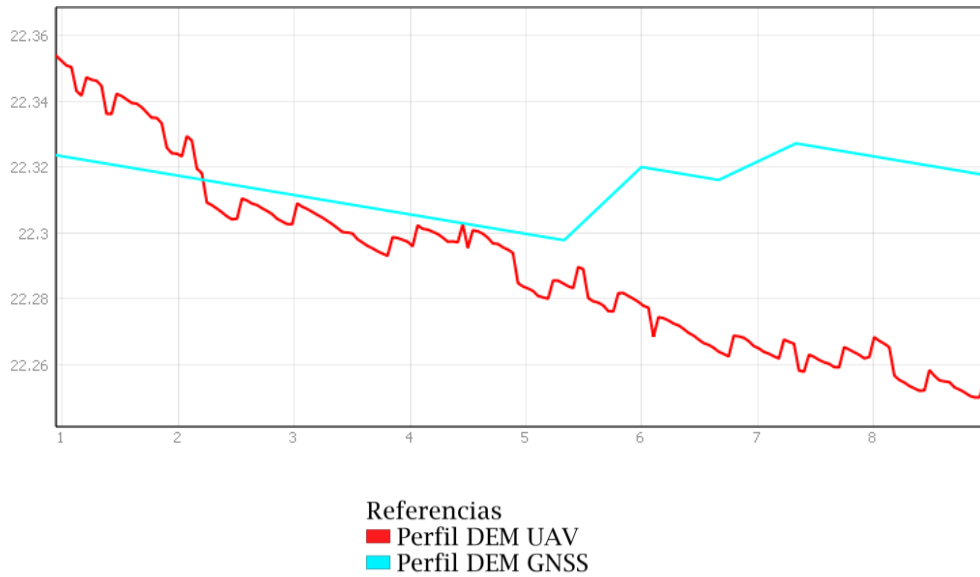


Figura 3: perfiles.

Se realizó una resta entre los DEM generados y se reclasificó la imagen para una mejor visualización de los resultados. Como puede observarse en la figura 4, los valores menores a cero representan las zonas en las que el DEM originado con el GPS/GNSS quedó por encima del generado con el UAV. Por el contrario, los valores mayores a cero representan las zonas en las que el DEM originado con el UAV quedó por encima del generado con el GPS/GNSS. Los valores en gris presentan cambios inferiores a 2 centímetros.

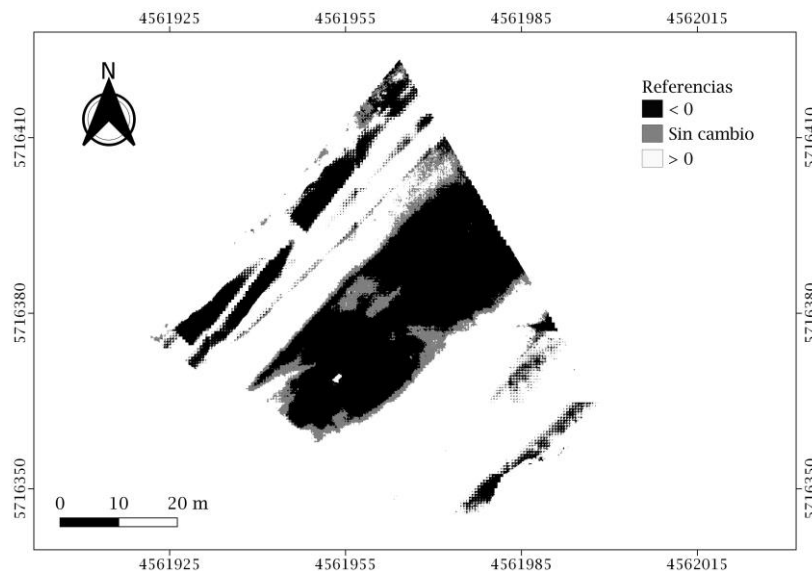


Figura 4: restas entre los DEM generados.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran diferencias significativas en cuanto a la densidad de puntos que pueden obtenerse para confeccionar el DEM.

---

Cuando se realiza un relevamiento con GPS/GNSS se toman puntos característicos del terreno. No se realiza una nube densa de valores porque demandaría mucho tiempo de trabajo, haciendo ineficiente la labor. Esto provoca una deficiente interpolación de los datos de altitud, obteniendo un resultado no uniforme.

Cuando se toman imágenes a través de un UAV, se puede elegir el traslape de las mismas para garantizar un resultado óptimo en la confección del DEM. De esta manera, se podrá obtener una nube densa de puntos logrando un resultado homogéneo y continuo de datos.

Luego de analizar distintos perfiles, longitudinales y transversales, de zonas llanas y de áreas con pendientes más significativas, se puede observar que con la tecnología del UAV se obtienen líneas curvas que se ajustan a la topografía del terreno. Es por ello que en estos lugares el DEM originado con el GPS/GNSS quedó por encima del generado con el UAV. En cambio, con la metodología GPS/GNSS se obtienen líneas rectas que indican pendientes abruptas y no se ajustan al relieve existente. En este caso el DEM originado con el UAV quedó por encima del generado con el GPS/GNSS.

Cuando el desnivel entre los puntos no es significativo, es decir en zonas llanas, ambos DEM se asemejan. Cuando existe una diferencia de altitud considerable, como en el caso de depresiones o pendientes abruptas, se observa una discrepancia entre ambos DEM. Con el resultado obtenido con el GPS/GNSS en estas áreas no se puede obtener un alto nivel de detalle del terreno.

Los sistemas UAV actualmente desempeñan un papel importante en los relevamientos topográficos. Permiten adquirir imágenes de alta resolución espacial y temporal, y tienen un gran potencial para el estudio de zonas inaccesibles. Las ventajas que ofrecen provienen de los adelantos tecnológicos en sistemas de sensores de captura, de navegación y de posicionamiento. Las mejoras en los softwares de procesamiento de imágenes y la integración con los conocimientos de fotogrametría, permitieron que puedan procesarse una gran cantidad de imágenes y que, también, puedan automatizarse las etapas.

El análisis del DEM generado a partir del UAV nos permite definir con mayor exactitud las zonas de investigación. De esta forma se pueden planificar con precisión futuros trabajos, como una excavación. Además, se pueden generar imágenes del lugar con mapas de alturas e integrarlos con las curvas de nivel.

## REFERENCIAS

Arriola Valverde, S., Ferencz Appel, Amit y Rimolo-Donadio, Renaro. 2018. Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados. Investiga TEC, 9-12.

Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso, G., Calabrés-Tomé, S., & García-Talegón, J. (2016). Drones: Nuevas aplicaciones geomáticas en el campo de las Ciencias de la Tierra. Geo-Temas. IX Congreso Geológico de España, 16(1), 725-728.

Garrido-Villén, N. (18 de mayo de 2020). Obtenido de <https://nagarvil.webs.upv.es/>: <https://nagarvil.webs.upv.es/sistemas-gnss-introduccion/>

López Jimeno, C. (2015). Los drones y sus aplicaciones en la ingeniería civil. Comunidad de Madrid. Consejería de Economía y Hacienda., 13-14.



- 
- Ramírez Chávez, E. J., Cruz García, A., Lagunas Pérez, A. G., & Reyes Carreño, O. E. (2013). Uso de vehículos aéreos no tripulados para la caracterización del paisaje sumergido; Bahía Estacahuite. *Ciencia y mar*, 17(51), 35-40.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV PHOTOGRAMMETRY FOR MAPPING AND 3D MODELING – CURRENT STATUS AND FUTURE PERSPECTIVES –. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 25-31.
- Ruiz Sabina, J. Á., Gallego Valle, D., Peña Ruiz, C., Molero García, J. M., & Gómez Laguna, A. (2015). Fotogrametría aérea por dron en yacimientos con grandes estructuras. Propuesta metodológica y aplicación práctica en los castillos medievales del campo de Montiel. *Virtual Archaeology Review*, 6(13), 5-19.
- Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2012). An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Remote Sensing*, 1392-1410. doi:10.3390/rs4051392
- Valverde, S. A., Appel, A. F., & Rimolo-Donadio., R. (enero de 2018). Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados. *Investiga TEC*, 9-12.

#### **SOBRE LOS AUTORES**

Guillermina S. Santecchia. Ingeniera Agrimensora. Graduada de la Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Desde 2018 es alumna del doctorado en Ingeniería del departamento de Ingeniería de la UNS, en el cual trabaja con técnicas fotogramétricas y de teledetección. Profesora interina en las cátedras de 'Fotogrametría' y 'Fotointerpretación y Teledetección' de la UNS desde 2019. Ayudante de la cátedra de 'Topografía y Geodesia' desde 2014 y Asistente de trabajos prácticos de la cátedra 'Cálculo de Compensación' desde 2018.

Juan Manuel Span. Agrimensor. Graduado de la Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Desde 2017 es ayudante de la cátedra de 'Topografía y Geodesia' de la UNS. Realiza trabajos de topografía desde 2009 utilizando variado instrumental topográfico y realiza trabajo profesional independiente.