



Monitoreo de la línea de costa con el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT). Caso: Mazatlán, Sinaloa

Shoreline monitoring using unmanned aerial vehicles (UAV). Case: Mazatlán, Sinaloa

Pedro Alfonso Aguilar Calderón

Escuela de Ingeniería Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México
pedro_a4@uas.edu.mx
ORCID: 0000-0003-3881-909X

Luis Alfonso Colado Velázquez

Escuela de Ingeniería Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México
icolado@ms.uas.edu.mx
ORCID: 0000-0002-6999-5427

Pablo Alfonso Aguilar Calderón

Escuela de Derecho Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México
pablo_aguilar@uas.edu.mx
ORCID: 0000-0002-4939-0383

Edgar Omar Burgueño Sánchez

Escuela de Ingeniería Mazatlán, Universidad Autónoma de Sinaloa, México
ingburgueno@uas.edu.mx
ORCID: 0009-0002-3804-0836

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.12.25.006>

Recibido: Enero 18, 2024

Aceptado: Mayo 29, 2024

Resumen: El monitoreo de las zonas costeras es de vital importancia para su cuidado y una correcta gestión y planificación debido a que las actividades antropogénicas y naturales a línea de costa han provocado grandes pérdidas de territorio. Un indicador clave para su vigilancia es la evolución de la línea de costa. La escasez de información cartográfica hoy en día es todavía una limitante en países en vías de desarrollo. Actualmente gracias al avance de la tecnología los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) se pueden obtener imágenes aéreas georreferenciadas para posteriormente con softwares especializados procesarlas y obtener ortofotos para la realización de estudios de monitoreo de la zona costera con una alta precisión y de una manera económica en tiempo real. Se presenta en esta investigación una metodología práctica para la realización de un estudio de monitoreo de la evolución de la línea de costa utilizando un VANT de bajo costo en un tramo de playa en Mazatlán, Sinaloa, México.

Palabras clave: VANT, Costa, Evolución, Cartografía Costera, Gestión Costera.

Abstract: The monitoring of coastal zones is of vital importance for their care and proper management and planning because anthropogenic and natural activities along the coastline have caused large losses of territory. A key indicator for its monitoring is the evolution of the coastline. The scarcity of cartographic information is still a limitation in developing countries. Currently, thanks to the advance of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) technology, it is possible to obtain georeferenced aerial images to later process them with specialized software and obtain orthophotos to carry out monitoring studies of the coastal zone with high precision and in a cost-effective manner in real time. This research presents a practical methodology for the realization of a monitoring study of the evolution of the coastline using a low-cost UAV in a stretch of beach in Mazatlan, Sinaloa, Mexico.

Keywords: UAV, Coast, Evolution, Coastal Mapping, Coastal Management.

1. Introducción

Actualmente el monitoreo de las zonas costeras es de vital importancia para una correcta gestión de las zonas costeras. Las actividades antropogénicas, así como los eventos naturales, impactan directamente en la conservación de estas áreas, por lo que se requieren de herramientas que ayuden a la toma de decisiones, para la planeación y evaluación de los programas de manejo, por parte de las autoridades correspondientes.

El uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) ha demostrado ser de gran utilidad para el monitoreo de las zonas costeras. Su aparición como sistema de fotografías móviles y de alta resolución complementa los vacíos que pueden tener las imágenes satelitales debido a los factores meteorológicos [1]. El uso de VANT para la captura de imágenes, lo vuelven un instrumento de bajo costo de gran exactitud con mejores detalles en comparación con las fotografías aéreas anteriormente usadas [2].

De igual forma, las experiencias con VANT permiten disminuir los tiempos de análisis y mejoran la fiabilidad del trabajo, producto de la generación de imágenes con mejores resoluciones tanto espacial y temporal [3]. Además, la amplia oferta de software fotogramétricos, ofrecen la automatización y rapidez en el procesamiento de la información obtenida.

El uso de imágenes aéreas como herramienta de seguimiento espacio temporal de los procesos de crecimiento y explotación de las áreas costeras pueden proporcionar información base para los modelos de ordenamiento y manejo de las zonas costeras [4]. Se puede señalar en este sentido, que los VANT representan nuevas oportunidades para el seguimiento de los fenómenos naturales presentes en las áreas costeras; un ejemplo práctico, es su uso en el monitoreo de dunas mediante su cuantificación por fotogrametría RPAS [5].

En términos de la aplicabilidad se considera que las fotografías aéreas tomadas con VANT presentan un gran uso dentro de los estudios de gestión costera, como por ejemplo su utilización en la evaluación de los cambios morfodinámicos de la línea de costa, el transporte de sedimentos y el modelamiento hidrodinámico de los ecosistemas lagunares [6]. Casella [7] afirma que los RPAS se pueden utilizar para actividades de evaluación de playas aportando nuevos conocimientos sobre los cambios naturales que estas zonas puedan presentar. Otras investigaciones recientes en zonas costeras han obtenido y procesado información de alta resolución mediante VANT [8, 9, 10].

En esta investigación se considera que las fotografías aéreas tomadas de los VANT presentan un gran uso dentro de los estudios de gestión costera, como por ejemplo su utilización en la evaluación de los cambios morfodinámicos de la línea de costa.

2. Estado del arte

El uso de VANT controlado a distancia, en sus inicios eran utilizados con fines de reconocimiento y ataque militar. En 1989 con la caída del muro de Berlín a toda la tecnología de uso bélico se le empezó a dar empleo con fines de uso civil para uso y beneficio de la sociedad. Este es el caso de los VANT que hoy en día se utilizan para vigilancia, fotografía y ocio. La ciencia no ha desaprovechado la oportunidad y ha incursionado con bastante éxito en el uso de estas plataformas colocando diversos instrumentos de medición en los VANT lo que ha permitido reducir el costo de recolección de grandes cantidades de datos de alta calidad. Como resultado, más académicos/as en diversas disciplinas como lo son las Ciencias de la Tierra están recolectando información mediante sensores aéreos con mayor frecuencia en aras de generar mayores beneficios a la sociedad. Algunas de las aplicaciones del uso de VANT son: movilidad y tráfico, exploración de lugares de difícil acceso y zonas de desastre, control y análisis de

multitudes, investigación de una escena de crimen, agricultura, construcción e inspecciones de obra y estudios sobre medio ambiente entre otras [11].

En monitoreo y vigilancia de las zonas costeras no es la excepción ejemplo de ello está el trabajo de [1] en donde plasma su experiencia con los VANT para una correcta gestión de zonas costeras con la obtención y procesamiento de información rápida y de gran calidad.

En el trabajo titulado *Detección de Cambio en Superficie Costera Mediante la Segmentación de Imágenes Aéreas Utilizando Redes Neuronales Convolucionales*, implementaron un método para el monitoreo de la degradación en superficie de playa y vegetación litoral adyacente. Fueron recabadas capturas de imágenes aéreas de zonas costeras protegidas, obtenidas periódicamente mediante un VANT. Se integró un *dataset* que contempla todas las fases estacionales y distingue 5 clases para su monitoreo: mangle, vegetación rastrera, arena, mar y cerroplanicie [12].

Se han desarrollado investigaciones para crear un seguimiento costero y monitorear los impactos del cambio climático que afectan los sistemas biofísicos y ecológicos naturales y la salud humana con VANT [13] que permiten obtener datos y metodologías que integren algoritmos de visión por ordenador en 3D y técnicas de procesamiento de imágenes para su análisis, combinados con información marítima.

El monitoreo y la protección de las costas han impulsado a los científicos a desarrollar herramientas y métodos adecuados para monitorear espacialmente las áreas costeras morfosedimentarias. En el trabajo de Mury [14] se presenta las capacidades de un VANT, como tecnología "todo en uno", para impulsar investigaciones morfosedimentarias precisas en 1D, 2D y 2,5D a muy alta resolución. Los resultados muestran que la resolución fina, la alta precisión y la densidad de puntos relacionados con los VANT superan a los métodos activos y pasivos aerotransportados tripulados de última generación para el seguimiento de la posición de la costa, el modelo de elevación digital y la creación de nubes de puntos [15].

3. Materiales y métodos

La metodología propuesta en este proyecto de investigación para monitoreo de la línea de costa retoma la realizada por un proyecto previo [16, 17], con la diferencia de que se modificó con la utilización de imágenes obtenidas con un VANT y el procesamiento fotogramétrico utilizando un software especializado originando la reducción en tiempo y aumentando la calidad de los resultados.

3.1. Área de estudio

La ciudad y puerto de Mazatlán está situada en el estado de Sinaloa, cuenta con una población de 501 441 habitantes [18]. Geográficamente está ubicada en las coordenadas 23°11.9' latitud norte y 106°25.3' longitud oeste (ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de Mazatlán, Sinaloa, México.

Mazatlán tiene 80 kilómetros de costa y es de los más importantes actualmente puertos del pacífico de México por su alta demanda pesquera, transporte marítimo y su desarrollo turístico. En este contexto el turismo costero es uno de los segmentos más grandes de la industria del turismo y el de más rápido crecimiento en términos de

oportunidades laborales e importancia económica [19] Mazatlán, como destino turístico, ocupó el 6° lugar nacional como destino de sol y playa en 2014 [20] por lo que es de vital importancia el monitoreo de la zona costera.

Los segmentos de playas de Mazatlán de acuerdo con Vizcarra [21] los podemos clasificar de la siguiente manera: Isla de la Piedra; Faro del Crestón-Punta Tiburón; Punta Tiburón-Punta Camarón; Punta Camarón-Punta Sábalo; Marina Mazatlán-Cerritos; Cerritos-Punta Gruesa (Mármol).

El segmento de playa punta camarón-punta sábalo (ver Figura 2) es la zona de estudio de la presente investigación, y lleva por nombre de zona dorada. Históricamente estas playas durante mucho tiempo han sido consideradas como las mejores de Mazatlán, por la gran infraestructura hotelera, pero debido al acelerado desarrollo urbano-turístico mal planificado han sufrido una serie de cambios que han provocado su erosión.



Figura 2. Ubicación del tramo de playa Punta Camarón-Punta Sábalo en Mazatlán, Sinaloa.

3.2. Levantamiento y ubicación de Puntos de Control Terrestre

En la geo-corrección de las imágenes se situaron puntos de control terrestre. Los puntos se colocaron con el uso de un GNSS (*Global Navigation Satellite System*) GPS (*Global Positioning System*) en modo RTK (*Real Time Kinematic*) marca South modelo S86T con una precisión de 3 milímetros en el sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zona 13N.

3.3. Levantamiento fotogramétrico.

Las imágenes se obtuvieron mediante el uso de un VANT MAVIC AIR 2S de DJI (ver Figura 3) con cámara de sensor CMOS instalada, resolución de 20 megapíxeles de 2,4 micras, una lente angular de 22 milímetros, apertura f/2.8. La cámara graba en 5,4K a 30 FPS y en 4K a 60 FPS, incluye zoom digital y estabilizador mecánico de tres ejes. Las misiones de los vuelos del VANT se planearon y ejecutaron con la aplicación Dronelink (<https://www.dronelink.com/>) compatible para iOS y Android. Las imágenes obtenidas se capturaron a una altura de 100 metros a doble grilla, con una distancia de muestra del suelo de 2.84 cm/pixel, superposición frontal de 75% y lateral de 70%, velocidad máxima de 16 km/hr (ver Figura 4).



Figura 3. VANT MAVIC AIR 2S de DJI.

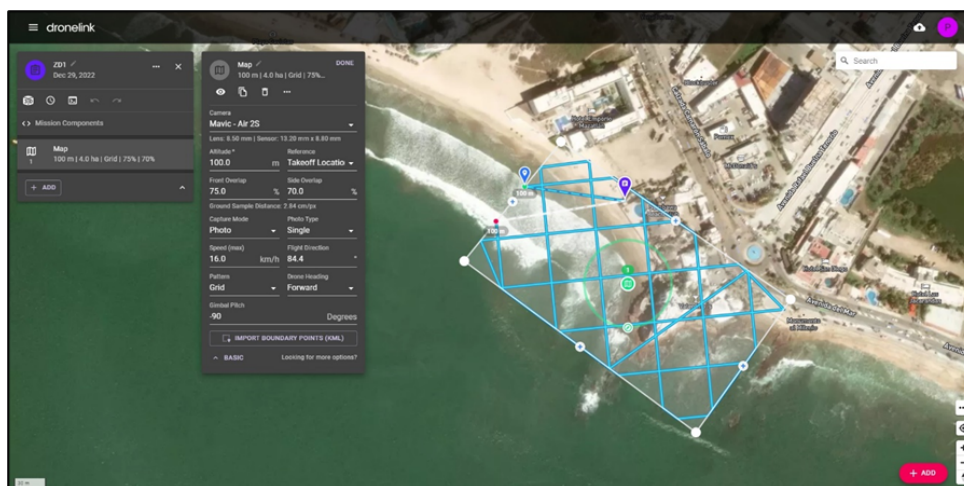


Figura 4. Interfaz de aplicación Dronelink. Malla a doble *grid* e *inputs* de un plan de vuelo de la zona de estudio.

3.4. Procesamiento fotogramétrico

Se realizó mediante el software Pix4D. La aplicación Pix4D es un software de procesamiento de imágenes que son obtenidas mediante el uso de VANT y dispositivos móviles. Utiliza algoritmos de última generación y sofisticadas técnicas de procesamiento fotogramétrico (ver Tabla 1), genera nubes de puntos, modelos digitales de superficie y ortomosaicos (ver Figura 5).

Tabla 1. Procesamiento fotogramétrico del software PIX4D.

Ingreso datos (<i>inputs</i>)	Incorporación de imágenes previamente seleccionadas producto del levantamiento y selección de opciones para resultado deseado (sistema de coordenadas, plantillas)
Procesamiento inicial	Los puntos clave se identifican y emparejan en imágenes vecinas y se utilizan para la reconstrucción del proyecto.
Nube de puntos y malla	La nube de puntos densa y la malla triangulada 3D se calculan a partir de los resultados de la etapa anterior.
DSM, ortomosaico e índice	El modelo digital de superficie (DS) y el ortomosaico se generan a partir de la nube de puntos densa.

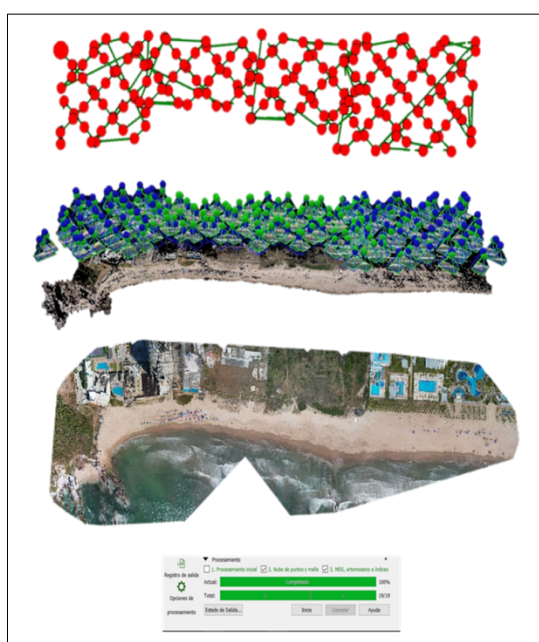


Figura 5. Productos obtenidos del software Pix4D. Debajo de la imagen se puede ver el flujo de trabajo del programa, en la parte de arriba las imágenes capturadas georreferenciadas (de color rojo los puntos), en el medio el resultado del proceso fotogramétrico y el ortomosaico de una parte del tramo de la zona de estudio.

3.5. Digitalización de la línea de costa

En el software ArcMap [22] se trazaron las líneas de costa correspondientes a la ortofoto procesada por Pix4D del año 2022 del levantamiento del VANT y la imagen satelital obtenida de *Google Earth* del año 2004 mediante el módulo *Timelapse* y se almacenó en un “*Feature Class*” contenido en un “*Personal Geodatabase*”. Las ubicaciones de las líneas de costa hacen referencia a varias características, como la vegetación, la línea de agua alta y baja y la línea de mojado/seco entre otras. La posición de la línea de costa en este proyecto se adquirió ubicando la línea que se forma en el límite entre tierra y mar basándonos en la particularidad del límite entre mojado / seco, ya que marca el límite superior del *foreshore* y determina el comienzo de la playa alta o playa seca [16].

3.6. Análisis de la evolución de la línea de costa mediante DSAS

El análisis se realizó para calcular su evolución para un periodo de 18 años del 2004 al 2022. Se utilizó el programa de cómputo ARCGIS 10.5, y su herramienta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) versión 4.3 desarrollado por el *United States Geological Survey* (USGS) [23]. Con las líneas de costa digitalizadas, se analizó con la ayuda del DSAS. Se estableció una línea de base a partir de la cual se generaron 278 transectos con una separación de 25 m. Una vez establecidos estos inputs contiguos a la incerteza, el programa arrojó una serie de cálculos a partir de los cuales se obtienen parámetros estadísticos para el análisis de la zona de estudio [17] y se consideraron como relevantes para este trabajo *Net Shoreline Movement* (NSM) y *End Point Rate* (EPR). NSM muestra la distancia entre las líneas de costa más antigua y reciente. EPR, por su parte, muestra el valor del NSM, dividido por el número de años transcurridos en cada periodo. Es una tasa anual de movimiento en metros/año.

4. Resultados

Para monitorear la línea de costa se realizaron en total de 10 vuelos en el mes de noviembre de 2022. La Figura 6 muestra resultado de un vuelo de imágenes de VANT del total del tramo de costa monitorizado. El promedio de fotografías por misión fue de 120, con un área promedio por vuelo de 4.2 hectáreas. El 95.3% del total de imágenes logró ser calibrada por el software Pix4D, esto se debe a que el software no encuentra puntos de unión confiable en las imágenes sobre el mar.

Se logró obtener un GSD (distancia de muestra de suelo) promedio de 2,84 centímetros. Este varió principalmente en dependencia de la altura de vuelo y la calidad de las imágenes.

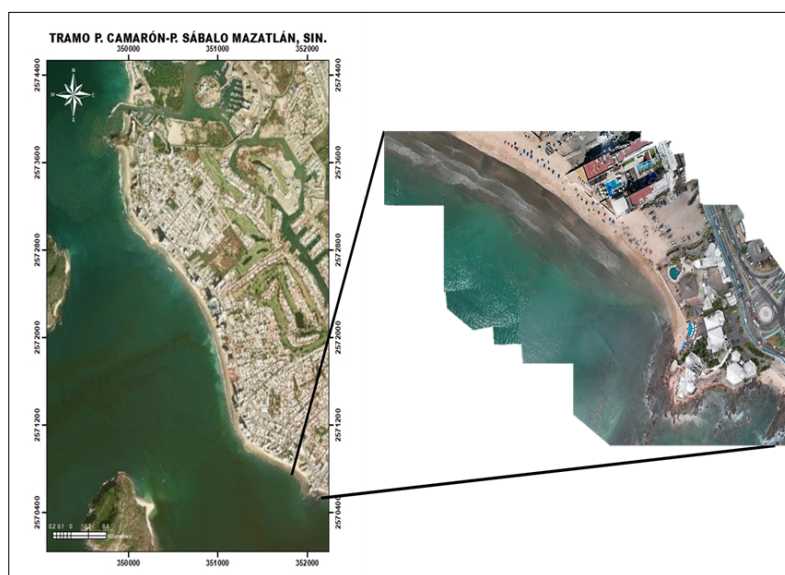


Figura 6. Muestra de un mosaico formado por ortofotos con el software Pix4D de una misión completada por el VANT planificado previamente con el software Dronelink.

En la Figura 7 se aprecia la imagen generada para tramo de playa Punta Camarón-Punta Sábalo, en color verde la línea de costa del año 2004 obtenida de imagen satelital de *Google Earth* y de color rojo la línea de costa obtenida de levantamiento fotogramétrico con el VANT.

Se demostró que tuvo un retroceso (erosión) en promedio de 23.52 m y en algunas partes como en los transectos (líneas perpendiculares a lo largo de la línea base de costa de igual separación que nos permiten medir las diferencias de distancia registradas en las intersecciones con las diferentes líneas de costa) 177 y 179 ubicados en la playa de zona dorada hasta de 40 m de pérdida a una velocidad en estos transectos de 2.5 m por año (Figuras 8 y 9).



Figura 7. Vista en planta de trazo de líneas de costa 2004 y 2022.



Figura 8. Ubicación de transectos con mayor erosión en playa de área de estudio.



Figura 9. Ubicación de transectos con mayor acreción en playa de área de estudio.

Las Figuras 10 y 11 muestran los resultados del NSM y el EPR, respectivamente. Los valores positivos representan el desplazamiento de la costa hacia el mar y los valores negativos representan el desplazamiento hacia la tierra. Se puede observar que, aunque la tendencia general es de erosión, una pequeña área, cerca de la parte central de la playa, se encontró que es acumulativa. El análisis de su evolución de 2004 a 2022 arrojó un retroceso (erosión) promedio de 23.5 m, siendo la mayor pérdida de 2.5 m por año.

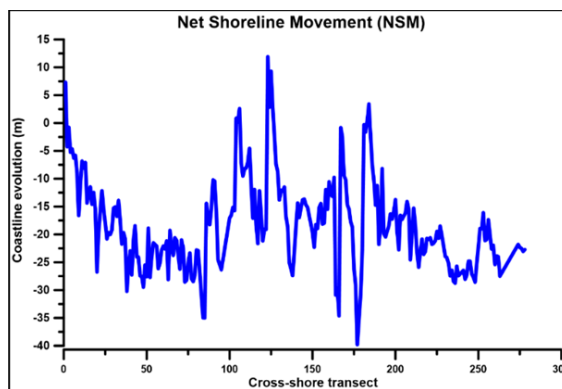


Figura 10. Evolución de la costa entre 2004 y 2022. NSM es el movimiento neto de la costa.

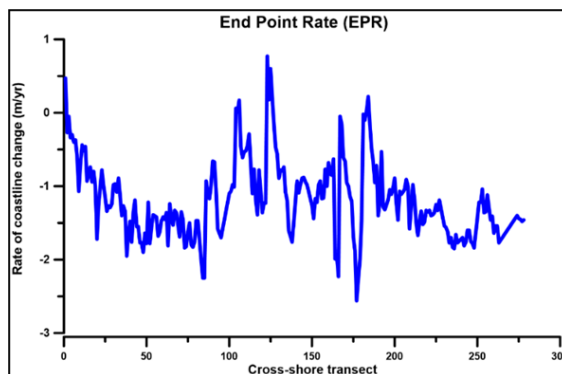


Figura 11. Evolución de la costa entre 2004 y 2022. EPR es la tasa anual de desplazamiento de la costa.

5. Conclusiones

Con el desarrollo del estudio, se pudo determinar que el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) son una herramienta adecuada y útil en los procesos de gestión costera, que en tiempo real nos pueden dar a conocer el estado actual de un área costera en un lapso mínimo de tiempo y de esta manera desarrollar acciones de manejo a corto, mediano y largo plazo. El uso de VANT en zonas costeras facilita la toma de decisiones, mejorando la sostenibilidad de los ecosistemas marinos y costeros, mediante la generación de información actualizada de los fenómenos naturales y antrópicos. Así ofrecer nuevas estrategias para el seguimiento de las áreas costeras, por ser eficientes, y demandan una experiencia mínima. La gestión sostenible en los ambientes marinos y costeros debe buscar el empleo de metodologías y sistemas de evaluación rápidos y seguros que proporcionen medidas acertadas de gestión y planificación de los recursos naturales y esta metodología empleada para el monitoreo de la línea de costa lo demuestra.

El uso VANT ofrece la oportunidad de desarrollar trabajos de caracterización en las áreas costeras a un bajo costo y con un alto nivel de rigurosidad técnica equiparables a tecnologías avanzadas (LiDAR), producto de la precisión y la alta resolución de productos cartográficos que se generan por los softwares utilizados tanto para los vuelos del VANT y el procesamiento de las imágenes.

Por otra parte, desde el ámbito de la gestión costera, la ortofoto generada permite identificar de manera exacta cuales son los usos presentes en el tramo de playa Punta Camarón-Punta Cerritos, lo anterior es producto, de la alta resolución de la ortofotografía obtenida después del levantamiento efectuado por el VANT y su posterior procesamiento. La única limitante que existe para llevar a cabo con rapidez y eficiencia esta metodología son las condiciones meteorológicas (lluvia, días nublados y viento) para el levantamiento fotogramétrico con el VANT, pero con una correcta planificación en condiciones óptimas se supera esta limitante.

Se puede concluir bajo la experiencia, que el flujo de trabajo es confiable y valido como una metodología que permite obtener imágenes de forma asequible para áreas pequeñas y análisis local de zonas costeras. Esta metodología de monitoreo es una buena herramienta para la toma de decisiones que deben estar basadas en información científica y aprovecha el desarrollo tecnológico con costos económicos muy bajos.

6. Agradecimientos

Al Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI PRO_A8_046) de la Universidad Autónoma de Sinaloa por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación.

7. Referencias

- [1] Escobar Villanueva, J., Daza Daza, A. R. (2018). Nuevas tecnologías geomáticas de apoyo cartográfico a la gestión de zonas costeras: experiencias con aeronaves remotamente pilotadas RPAS en la península de La Guajira. En Grupo de investigación Territorios Semiáridos del Caribe (Ed.), *Aproximaciones diversas hacia el ordenamiento del territorio costero y marino en el departamento de La Guajira* (pp. 23-43). Universidad de la Guajira.
- [2] Ventura, D., Bruno, M., Jona Lasinio, G., Belluscio, A., Ardizzone, G. (2016). A Low Cost Drone Based Application for Identifying And Mapping Of Coastal Fish Nursery Grounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 171, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.030>
- [3] Samiappan, S., Turnage, G., Hathcock, L., Casagrande, L., Stinson, P., Moorhead, R. (2016). Using Unmanned Aerial Vehicles for High- Resolution Remote Sensing To Map Invasive Phragmites Australis In Coastal Wetlands. *International Journal of Remote Sensing*, 38 (8-10), 2199–2217. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1239288>
- [4] Koeva, M., Muneza, M., Gevaert, C., Gerke, M., Nex, F. (2016). Using UAVs for Map Creation and Updating. A Case Study in Rwanda. *Survey Review*, 50 (361), 312–325. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1268756>
- [5] Gonçalves, J. A., Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009>

- [6] Delacourt, C., Allemand, P., Jaud, M., Grandjean, P., Deschamps, A., Ammann, J., Cuq, V., Suanez, S. (2014). DRELIO: An Unmanned Helicopter for Imaging Coastal Areas. *Journal of Coastal Research*, 2 (56), 1489–1493. <https://www.jstor.org/stable/25738037>
- [7] Casella, E., Rovere, A., Pedroncini, A., Stark, C. P., Casella, M., Ferrari, M., Firpo, M. (2016). Drones as Tools for Monitoring Beach Topography Changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 36, 151-163. <https://doi.org/10.1007/s00367-016-0435-9>
- [8] Papakonstantinou, A., Topouzelis, K., Pavlogeorgatos, G. (2016). Coastline zones identification and 3D coastal mapping using UAV spatial data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5 (6), 1-14. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060075>
- [9] Topouzelis, K., Papakonstantinou, A., Doukari, M. (2017). Coastline change detection using Unmanned Aerial Vehicles and image processing technique. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (9), 5564-5571.
- [10] Nikolakopoulos, K. G., Sardelianos, D., Fakiris, E., Papatheodorou, G. (2019). *New perspectives in coastal monitoring*. Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications X. Strasbourg, France. <https://doi.org/10.1117/12.2533163>
- [11] Guardado France, R., Téllez Duarte, M. A., Herrera Gutiérrez, A. R. (2017). El uso de drones en ciencias de la tierra. *Reaxion Ciencia y tecnología universitaria*, 4 (2). http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_El_uso_de_drones_en_ciencias_de_la_tierra.html
- [12] Padilla-Arballo, J. J., Martínez-Díaz, S., Castro-Liera, M. A., Luna-Taylor, J. E. (2022). Detección de cambio en superficie costera mediante la segmentación de imágenes aéreas utilizando redes neuronales convolucionales. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10 (Especial 4), 136-144. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial4.9290>
- [13] Chapapría, V. E., Serra Peris, J., González-Escrivá, J. A. (2022). Coastal monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the management of the Spanish Mediterranean coast: the case of almenara-Sagunto. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (9), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095457>
- [14] Mury, A., Collin, A., James, D. (2019). Morpho-sedimentary monitoring in a coastal area, from 1D to 2.5 D, using airborne drone imagery. *Drones*, 3 (3), 1-15. <https://doi.org/10.3390/drones3030062>
- [15] Taddia, Y., Stecchi, F., Pellegrinelli, A. (2020). Coastal mapping using DJI Phantom 4 RTK in post-processing kinematic mode. *Drones*, 4 (2), 1-19. <https://doi.org/10.3390/drones4020009>
- [16] Zambrano Medina, Y. G. (2020). *Análisis de la línea de costa y evaluación de riesgos costeros en zona sujeta a alta presión antropogénica en el interior del Golfo de California mediante Sistemas de Información Geográfica: DSAS Y CERA* [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.
- [17] Rojas Vargas, J. A. (2021). *Monitoreo de Línea de Costa Mediante el Empleo de UAVs en el Sector Punta Rojas - Turbo Durante el Segundo Semestre del Año 2019* [Tesis de Grado]. Universidad de Antioquia, Colombia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/23821>
- [18] INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- [19] Papageorgiou, M. (2016). Coastal and marine tourism: A challenging factor in Marine Spatial Planning. *Ocean & coastal management*, 129, 44-48. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.05.006>
- [20] DATATUR. (2024). *Análisis Integral del Turismo, Secretaría de Turismo 2015-2016*. <http://www.datatur.sectur.gob.mx>
- [21] Peraza Vizcarra, R. (2013). *Problemas de conservación y manejo de playas arenosas en costas tropicales: playas de Mazatlán y costa sur de Sinaloa*. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- [22] ArcGIS Resource Center. (2024). *Introducción a SIG*. <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000t000000.htm>
- [23] Isha, I. B., Adib, M. R. M. (2020). *Application of geospatial information system (GIS) using digital shoreline analysis system (DSAS) in determining shoreline changes*. 2nd International Conference on Green Environmental Engineering and Technology. Seoul, South Korea. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/616/1/012029>