

Integración de tecnologías geospaciales para el análisis del terreno: caso parque ecológico de Tepic Tachi´í

Integration of Geospatial Technologies for terrain analysis: case of Tepic Tachi´í ecological park

Autores

Edgar Antonio Arcadia Peralta,
Universidad Autónoma de Nayarit, México
edgar.arcadia@uan.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0006-2103-0948>

Alicia Delgado López
Universidad Autónoma de Nayarit, México
alicia@uan.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5592-8568>

Oyolsi Najera González
Universidad Autónoma de Nayarit, México
oyolsi@uan.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8637-9482>

Fernando Flores Vilchez
Universidad Autónoma de Nayarit, México
vilchez@uan.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-5472-255X>

Susana Marceleno Flores.
Universidad Autónoma de Nayarit, México
susana.marceleno@uan.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0430-8128>

Integración de tecnologías geoespaciales para el análisis del terreno: caso parque ecológico de Tepic Tachi´í

Integration of Geospatial Technologies for terrain analysis: case of Tepic Tachi´í ecological park

Resumen

Actualmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Fotogrametría se presentan como herramientas importantes para la generación y representación de información geoespacial. Este reporte técnico aborda el levantamiento fotogramétrico del Parque Ecológico de Tepic, por medio del cual se obtuvo una representación tridimensional detallada del terreno, se realizaron dos vuelos autónomos, capturando 425 imágenes. El procesamiento de datos se realizó con el software Pix4D Mapper y QGIS 3.26, lo que permitió la generación de nube de puntos densa, modelos digitales de elevación, ortofoto y mapas temáticos. Este enfoque metodológico busca resaltar las ventajas de la fotogrametría y los sistemas de información con respecto a las imágenes satelitales y otra información geoespacial generada por otros métodos y sensores, proporcionando resultados como Ortofotografías y Modelos Digitales de Elevación, los cuales son valiosos para el análisis espacial del área estudiada.

Palabras clave: Fotogrametría, ortofoto, sistemas de información geográfica, VANT.

Abstract

Currently, Geographic Information Systems (GIS) and Photogrammetry are presented as important tools for the generation and representation of geospatial information. This technical report addresses the photogrammetric survey of Tepic Ecological Park, through which a detailed three-dimensional representation of the terrain was obtained, two autonomous flights were conducted, capturing 425 images. Data processing was carried out with Pix4D Mapper and QGIS 3.26 software, allowing the generation of dense point clouds, digital elevation models, orthophotos, and thematic maps. This methodological

approach seeks to highlight the advantages of photogrammetry and information systems over satellite images and other geospatial information generated by other methods and sensors, providing results such as orthophotos and digital elevation models, which are valuable for spatial analysis of the studied area.

Keywords: Photogrammetry, orthophotography, geographic information systems, RPAS.

Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la fotogrametría han emergido como herramientas esenciales en la gestión, conservación y planificación de áreas verdes, parques ecológicos y espacios públicos (Villar, Candelario, & Díaz, 2023). La capacidad de capturar, analizar y visualizar datos geoespaciales ha transformado la manera en que entendemos y abordamos los desafíos asociados con la preservación de la biodiversidad y la planificación del uso del suelo en estos entornos cruciales para la salud de nuestros ecosistemas y el bienestar de las comunidades (Orquera, 2020).

Las ortofotos y las imágenes satelitales son herramientas fundamentales en la gestión de áreas protegidas, brindando información crucial para la conservación y el manejo ambiental. En este contexto, las ortofotos, generadas a partir de fotografías aéreas rectificadas para adaptarse al relieve del terreno, ofrecen una perspectiva detallada y precisa del entorno. Su alta resolución y precisión las convierten en una opción invaluable para monitorear cambios en la vegetación, la topografía y los ecosistemas dentro de áreas protegidas (Zhang, 2023).

Objetivo

Desarrollar información geoespacial (ortofotografía y modelo digital de elevación), y destacar cómo las ortofotos de drones pueden proporcionar una visión más detallada y útil del entorno natural, permitiendo una mejor toma de decisiones en la conservación y administración de áreas protegidas en comparación con las imágenes satelitales.

Objetivo del informe técnico

Construir mediante tecnologías geoespaciales avanzadas, ortofotografías, curvas de nivel, Modelos Digitales del Terreno (MDT), modelo 3D y nubes de puntos.

Área de estudio

El Parque Ecológico Tachi'í, situado en la ciudad de Tepic, está estratégicamente zonificado para un manejo sustentable y recreativo, este territorio ofrece 5 hectáreas de humedal para actividades acuáticas y observación de fauna, junto con 17 hectáreas de zonas arboladas que albergan hasta 50 especies arbóreas. La Unidad de Manejo de Vida Silvestre (UMA) en el parque resguarda y educa sobre especies locales, mientras que un Vivero de Planta Nativa contribuye a la conservación genética del municipio (ANPR, 2022).

Recientemente incorporado a la Red Nacional de Jardines Etnobiológicos en colaboración con el CONAHCYT, el Parque Ecológico Tachi'í busca no solo preservar la biodiversidad, sino también fortalecer la conexión entre saberes locales y tradicionales mediante la educación ambiental. Actividades de cultura ambiental, como cine al aire libre, senderos interpretativos y campamentos de verano, complementan esta propuesta única, consolidando al Parque Ecológico Tachi'i como un referente nacional en la intersección entre conservación, cultura y turismo sostenible en la ciudad de Tepic.

Métodos utilizados

Equipo Utilizado

Para este trabajo se utilizó un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) o dron, modelo Maciv 2 de la marca DJI, ya que la capacidad de este para realizar vuelos autónomos optimiza la eficiencia del levantamiento fotogramétrico al permitir la planificación y ejecución de misiones de vuelo autónomas. Cuenta con una cámara de alta resolución y estabilización gimbal avanzada, lo que nos asegura la captura de imágenes nítidas y de calidad esencial para la precisión fotogramétrica.

Software utilizado

Se utilizó la aplicación Pix4D Capture para configurar de manera precisa el vuelo del dron DJI Mavic Air 2 sobre el Parque Ecológico de Tepic. Inicialmente, se descargó e instaló la aplicación en un dispositivo móvil, seguido por la creación de un nuevo vuelo con una altitud de 410 pies. Esto de acuerdo con las recomendaciones establecidas en los recursos del desarrollador PIX4D.

Para la planificación del vuelo en el parque ecológico, se implementó un diseño de doble grilla con un traslape de imágenes del 80%, siguiendo las recomendaciones proporcionadas en el manual de documentación de la aplicación (Pix4D, 2021). Una vez completada la captura de datos mediante el dron, las imágenes resultantes del proyecto fueron procesadas en el software Pix4D Mapper. Este proceso genera múltiples modelos digitales tridimensionales, basados en las imágenes 2D obtenidas con el VANT. Posteriormente, se creó una nube de puntos para obtener un modelo fotorrealista que permite la visualización y referencia de posibles daños en la superficie del parque. Para garantizar una georreferenciación precisa, se tomaron puntos GPS reales del terreno, recolectados durante las pruebas de campo, escalando la nube de puntos 3D a coordenadas mundiales mediante el software Pix4D mencionado anteriormente.

Precisión de Pixel (GSD) y adquisición de datos

La Resolución Espacial del Terreno (GSD, por sus siglas en inglés) es la distancia entre el centro de dos píxeles consecutivos medidos en el suelo (Pix4d, 2019). Se calcula dividiendo la altura de vuelo sobre el terreno (H) entre la longitud focal de la cámara (f), y multiplicando el resultado por el tamaño del píxel en la imagen (s), como se muestra en la fórmula propuesta por Zhang (2023):

$$GSD = \frac{H * s}{f}$$

En este trabajo, con una altitud de vuelo (H) de 410 pies y un tamaño de píxel (s) asociado con la cámara del dron DJI Mavic Air 2, se calculó un GSD de 3.99 centímetros. Este valor indica que cada píxel en la imagen representa una superficie de 3.99 centímetros en el

terreno. Un GSD más bajo implica una mayor resolución espacial, lo que significa una capacidad más detallada para capturar características en el terreno.

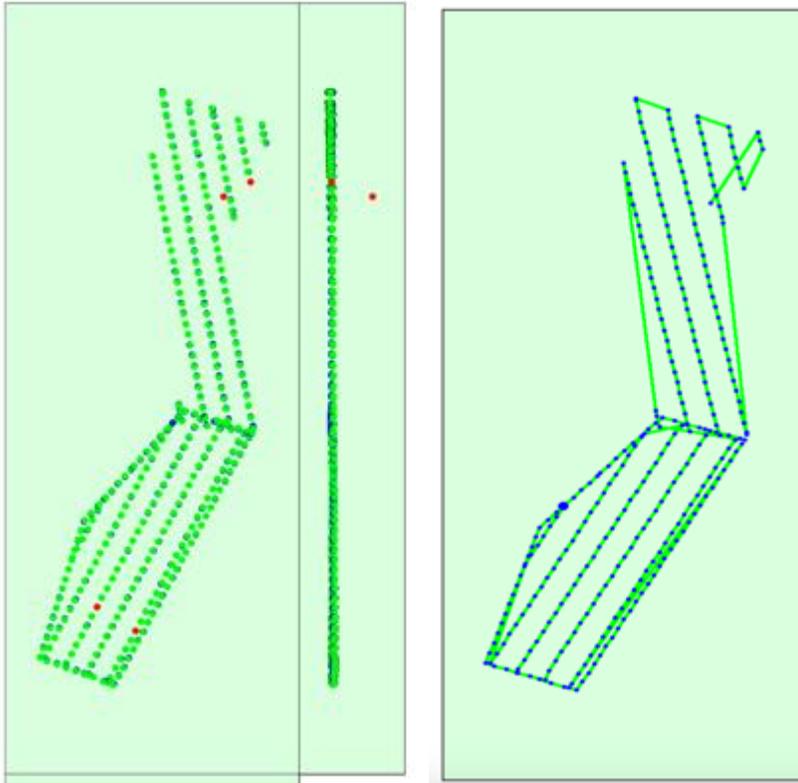
Se obtuvieron 425 imágenes cubriendo una extensión de 26 hectáreas, se aseguró una cobertura completa y una alta resolución para el procesamiento posterior de datos en Pix4D Mapper. Este GSD optimizado facilitó la generación de productos cartográficos detallados y la obtención de información geoespacial precisa.

Posición de las imágenes en los vuelos autónomos del VANT

En la representación gráfica generada por Pix4D, la trayectoria del vuelo se visualiza como una línea verde que sigue la ruta planificada para la captura de imágenes en el parque ecológico. Esta línea verde representa la secuencia y dirección del vuelo realizado por el VANT durante la adquisición de datos. Por otro lado, los puntos individuales de cada imagen capturada se representan en color azul, destacando la ubicación específica de cada toma a lo largo de la trayectoria. Los puntos rojos indican imágenes que no fueron calibradas por alguna razón, ya sea porque no encuentran coincidencia con las demás, están tomadas a una altura diferente o simplemente salieron borrosas. La disposición de los puntos azules ofrece una representación espacial detallada de las imágenes recopiladas, permitiendo una visualización clara de la cobertura y la densidad de datos obtenidos durante el vuelo (figura 1).

Figura 1.

Vista superior de la posición inicial de la imagen



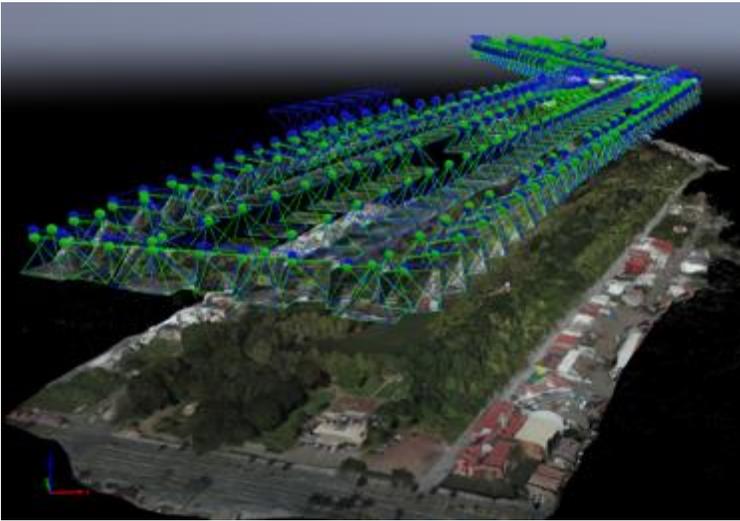
Fuente: Elaboración propia

Procesamiento de Datos

Una vez que las imágenes se integran en el software de fotogrametría, se inicia un proceso integral para extraer información tridimensional del entorno capturado. Primero, el software realiza la alineación de las imágenes, calculando la posición relativa de cada toma y generando una nube de puntos tridimensional. Esta nube de puntos sirve como base para la construcción de modelos 3D detallados que capturan la topografía y geometría del objeto o área en cuestión (figura 2).

Figura 2.

Nube de puntos densa y malla 3D del parque ecológico de Tepic Tachi´i



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se aplica la información de color de las imágenes originales a estos modelos, logrando una texturización realista. La ortofoto, una representación bidimensional corregida de la superficie, se genera a partir de las imágenes, eliminando distorsiones introducidas por la perspectiva y la topografía.

Resultados y Discusiones

Ortofoto

Esta ortofotografía resalta las características topográficas y elementos del entorno con gran claridad, proporcionando información importante para la gestión y planificación del parque. La corrección de distorsiones geométricas y la aplicación de ajustes de elevación garantizan la exactitud cartográfica de la ortofoto, misma que tiene una resolución de 3.99 centímetros por pixel. Al exhibir la distribución espacial de la vegetación, cuerpos de agua y otros elementos presentes en el Parque Ecológico Tachi´i, la ortofoto se convierte en una

herramienta crucial para futuras investigaciones, monitoreo ambiental y toma de decisiones que promueven la conservación y el cuidado del entorno ecológico (figura 3).

Figura 3.

Ortofoto del parque ecológico de Tepic Tachi´í. Elaboración propia con vuelo realizado en octubre del 2023.



Fuente: elaboración propia

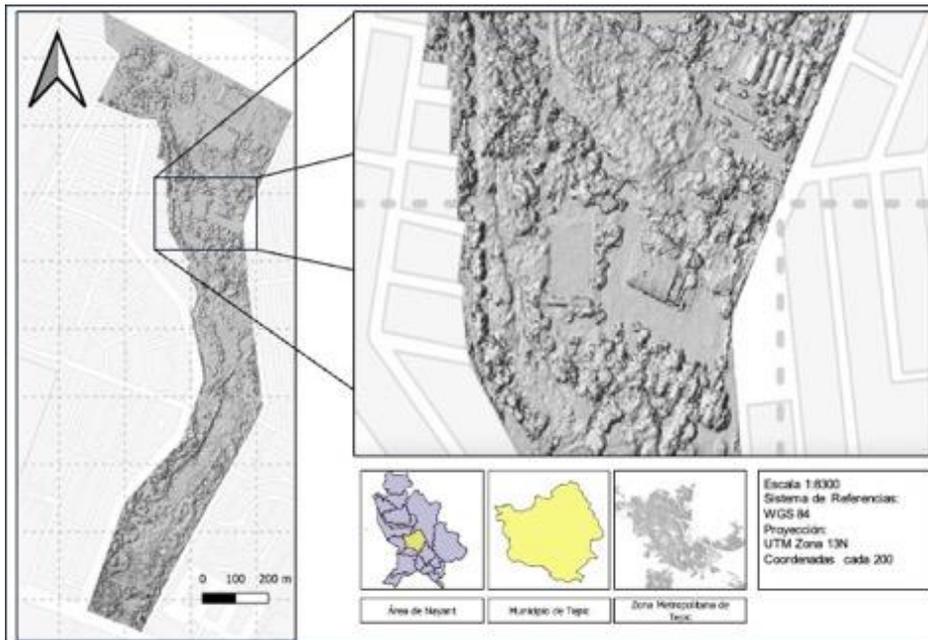
Modelo Digital de Elevación (MDE)

Este modelo ha logrado exhibir con precisión las variaciones altimétricas y las características morfológicas del terreno. La información recopilada incluye elevaciones, pendientes y detalles topográficos esenciales para comprender la configuración geográfica del parque. Este MDE se ha convertido en una herramienta valiosa para la planificación y gestión del

espacio (Henry Pacheco, 2023), permitiendo una visualización detallada y una base sólida para la toma de decisiones relacionadas con el diseño y la conservación del entorno natural del Parque Ecológico. El modelo obtenido tiene como resultado un tamaño de pixel de 3.99 cm, las curvas de nivel una equidistancia entre líneas de un metro (figura 4).

Figura 4.

Nivel de detalle de Mapa del Modelo Digital de Elevaciones



Fuente: elaboración propia

Discusiones.

La aplicación de esta herramienta presenta la ventaja de proporcionar imágenes de alta resolución en pocas horas de procesamiento y a bajo costo, en contraste con las imágenes de satélite de diversas plataformas (LANDSAT, METEOSAT, NOAA, SPOT), que poseen resoluciones altas o medianas y conllevan mayores costos. Además, el tiempo de respuesta del proveedor dependerá siempre de la calidad de la imagen, especialmente en trabajos que requieran un mayor nivel de detalle. En este sentido, los drones ofrecen la flexibilidad de ser desplegados según sea necesario, lo que permite la captura de datos con mayor

frecuencia en comparación con las imágenes satelitales, que están sujetas a horarios de programación y condiciones climáticas.

Las imágenes capturadas por un dron suelen tener una resolución espacial mucho mayor que las imágenes satelitales. Según estudios como el realizado por Green et al. (2017) en el *Journal of Applied Remote Sensing*, las ortofotos de drones pueden proporcionar una resolución espacial significativamente mayor que las imágenes satelitales, lo que permite una mayor precisión en la identificación de características terrestres. Esto significa que los detalles más pequeños en el terreno pueden ser capturados con mayor claridad y precisión mediante el uso de drones. Si bien las imágenes satelitales pueden ser ideales para el monitoreo a gran escala y la observación de cambios globales, el uso de drones ofrece una capacidad única para la captura detallada y precisa de datos en áreas específicas de interés, lo que resulta en una mayor resolución espacial y una calidad de datos mejorada para aplicaciones locales y de precisión.

Por otro lado, herramientas gratuitas como Google Earth proporcionan información espacial desactualizada (meses o años atrás) con restricciones para su obtención y manejo, además de presentar bajas resoluciones. Por lo tanto, las imágenes obtenidas mediante VANT resultan ser más eficientes en términos espaciales, temporales y económicos.

Conclusiones

La herramienta SIG y fotogrametría son de gran utilidad para generar información geográfica que puede extenderse al análisis de vegetación (ENVI, cobertura vegetal, cambios de cobertura, impactos ambientales) a partir de imágenes de alta resolución y un costo considerablemente bajo respecto a una imagen satelital.

Una vez que se domina los procesos para el desarrollo de este tipo de información geoespacial, se convierte en una herramienta que permite contar con datos geoespaciales actualizados y de calidad que favorecen la gestión y la toma de decisiones sobre una zona determinada.

Bibliografía

- Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2018). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, *98*, 221–227.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.002>
- Bertacchi, A., Giannini, V., di Franco, C., & Silvestri, N. (2019). Using unmanned aerial vehicles for vegetation mapping and identification of botanical species in wetlands. *Landscape and Ecological Engineering*, *15*. <https://doi.org/10.1007/s11355-018-00368-1>
- Chávez, J. L., Escribano-Rocafort, A. G., Pajares, G., & Gozález-de-Santos, P. (2019). A review of methodologies for the performance evaluation of UAV-based crop monitoring systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, *162*, 276–290.
- Green, A., et al. (2017). The use of drones for high-resolution mapping of vegetation. *Journal of Applied Remote Sensing*.
- Henry Pacheco, E. J. (2023). Uso de un vehículo aéreo no tripulado como alternativa para generar información topográfica. *Enfoque UTE*, *14* (1).
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.881>
- Jiang, S., Jiang, C., & Jiang, W. (2020). Efficient structure from motion for large-scale UAV images: A review and a comparison of SfM tools. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *167*, 230–251.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.016>
- Laliberte, A. S., Herrick, J. E., Rango, A., & Winters, C. (2010). Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *76*(6), 661–672. <https://doi.org/10.14358/PERS.76.6.661>
- Mancini, F., Dubbini, M., Gattelli, M., Stecchi, F., Fabbri, S., & Gabbianelli, G. (2013). Using unmanned aerial vehicles (UAV) for high-resolution reconstruction of topography: The structure from motion approach on coastal environments. *Remote Sensing*, *5*(12), 6880–6898. <https://doi.org/10.3390/rs5126880>
- Marcos-Robles, J.-L., Sastre, L. F. S., Docampo, M. G., Sanz, J. O., & Rodríguez, S. M. (2016). Use of close range photogrammetry and RPAs for determining biomass in agricultural areas | Empleo de la fotogrametría de rango cercano y RPAs para la

determinación de biomasa en parcelas agrícolas. *RISTI – Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 19, 118–130.

<https://doi.org/10.17013/risti.19.118-130>

Orquera Guevara, E. (2020). *Análisis de empleo de sistemas aéreos no tripulados (UAVs) como apoyo a los sistemas de monitoreo actuales para REDD+ en Ecuador* [tesis de maestría, FLACSO. Sede Académica Argentina, Buenos Aires]. Repositorio Institucional UN. <http://hdl.handle.net/10469/17205>

Pix4D. (2021). *Documentación Pix4D*. Obtenido de <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557419-Step-1-Before-Starting-a-Project-2-Configuring-the-Camera-Settings-PIX4Dmapper>

Pogorodniy, A. N., Filin, N. N., Shumeyko, S. A., Arbuzov, S. A., & Berdnikov, N. N. (2021). The unmanned aerial vehicles usage experience on tasks of forest inventory and topography. *Neftyanoe Khozyaystvo – Oil Industry*, 2021(9), 90–94. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2021-9-90-94>

Skondras, A., Karachaliou, E., Tavantzis, I., Tokas, N., Valari, E., Skalidi, I., Bouvet, G. A., & Stylianidis, E. (2022). UAV Mapping and 3D Modeling as a Tool for Promotion and Management of the Urban Space. *Drones*, 6(5). <https://doi.org/10.3390/drones6050115>

Smith, J., et al. (2019). Atmospheric distortion effects on satellite imagery. *Atmospheric Measurement Techniques*.

Thompson, R., et al. (2020). Flexibility and control in drone-based mapping applications. *Remote Sensing*

Villar, F. A., Candelario, S., & Díaz, J. (2023). Drones, fotogrametría y sistemas de información geográfica. Algunos aportes a la arqueología de contextos industriales. *Comechingonia*, 27(1), 35–50.

<https://doi.org/10.37603/2250.7728.v27.n1.38136>

Westoby, M., et al. (2018). High-resolution mapping of terrain using drone-based imagery. *Remote Sensing of Environment*.

Zhang, Z.; Zhu, L. (2023). A Review on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing: Platforms, Sensors, Data Processing Methods, and Applications. *Drones* 2023, 7, 398. <https://doi.org/10.3390/drones7060398>