

Descripción metodológica de Fotogrametría aérea con dron para diagnóstico urbano de Puerto Balleto, Islas Marías

Methodological description of aerial photogrammetry with drone for
urban diagnosis of Puerto Balleto, Islas Marías

Belén Obdulia Pérez Peñuelas

belenperez@uas.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2231-5420>

Universidad Autónoma de Sinaloa

Culiacán Rosales – México

María de Jesús Landeros Morales

maria.landeros@uas.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0001-9921-736X>

Universidad Autónoma de Sinaloa

Culiacán Rosales – México

Sylvia Cristina Rodríguez González

sylvia.rodriguezg@uas.edu.mx

<https://orcid.org/0000-001-9435-5985>

Universidad Autónoma de Sinaloa

Culiacán Rosales – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5276>


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos


LATAM

Revista Latinoamericana de
Ciencias Sociales y Humanidades

Artículo recibido: 01 de octubre de 2025

Aceptado para publicación: 04 de febrero de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

VOLUMEN VII

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5276>

Descripción metodológica de Fotogrametría aérea con dron para diagnóstico urbano de Puerto Balleto, Islas Marías

Methodological description of aerial photogrammetry with drone for urban diagnosis of Puerto Balleto, Islas Marías

Belén Obdulia Pérez Peñuelas¹

belenperez@uas.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-2231-5420>

Universidad Autónoma de Sinaloa

Culiacán Rosales – México

María de Jesús Landeros Morales

maria.landeros@uas.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0001-9921-736X>

Universidad Autónoma de Sinaloa

Culiacán Rosales – México

Sylvia Cristina Rodríguez González

sylvia.rodriguezg@uas.edu.mx

<https://orcid.org/0000-001-9435-5985>

Universidad Autónoma de Sinaloa

Culiacán Rosales – México

Artículo recibido: 01 de octubre de 2025. Aceptado para publicación: 04 de febrero de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El objetivo principal del presente documento es describir el proceso metodológico de un levantamiento por medio de fotogrametría aérea con dron para la obtención de un ortomosaico con propiedades de mapa, el cual será empleado posteriormente como mapa base para generar una serie de planimetría con dimensiones de alta precisión, tanto de diagnóstico como proyectual, del pueblo mágico de Puerto Balleto, ubicado en la Isla María Madre del archipiélago Islas Marías, Nayarit, México. La metodología desarrollada se estructura en cinco fases principales las cuales son: 1) Planeación del vuelo; 2) Establecimiento de puntos de control primarios; 3) establecimiento de puntos de apoyo terrestre; 4) Ejecución de la misión del vuelo y; 5) Procesamiento de la información. Debido a que se carece de planimetría urbana, y las constantes transformaciones para alojar la reciente actividad turística, la cual amenaza la conservación de los ecosistemas y el patrimonio arquitectónico edificado. Con la aplicación de la metodología descrita se logró obtener el ortomosaico pero además, se obtuvieron otros productos entre ellos el modelo digital de elevación a partir del cual se puede obtener una serie de datos de gran relevancia sobre el área de estudio, para la cual se requiere de otro tipo de procesamientos. La metodología requirió de pasos o procesos adicionales que no hubieran sido requeridos normalmente, pero la falta de cobertura a internet y las restricciones aéreas por el pasado penitenciario del área de estudio, fue necesario la colocación de puntos de control primarios (fijos).

Palabras clave: metodología, fotogrametría, levantamiento urbano

¹ Autora de correspondencia.

Abstract

The main objective of this document is to describe the methodological process of an aerial photogrammetry survey using a drone to obtain an orthomosaic with map properties. This orthomosaic will then be used as a base map to generate a series of highly accurate, dimensional plans for both diagnostic and design purposes of the "Pueblo Mágico" (Magical Town) of Puerto Balleto, located on María Madre Island in the Islas Marías archipelago, Nayarit, Mexico. The methodology developed is structured in five main phases: 1) Flight planning; 2) Establishment of primary control points; 3) Establishment of ground control points; 4) Execution of the flight mission; and 5) Data processing. This is necessary due to the lack of urban planning data and the constant transformations to accommodate the recent tourism activity, which threatens the conservation of ecosystems and the built architectural heritage. The described methodology successfully produced an orthomosaic, and also yielded other products, including a digital elevation model. This model provides a wealth of relevant data about the study area, which requires further processing. The methodology necessitated additional steps or processes not normally required, but due to the lack of internet coverage and air travel restrictions stemming from the area's history as a prison, the establishment of primary (fixed) control points was essential.

Keywords: methodology, photogrammetry, urban surveying

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons. 

Cómo citar: Pérez Peñuelas, B. O., Landeros Morales, M. de J., & Rodríguez González, S. C. (2026). Descripción metodológica de Fotogrametría aérea con dron para diagnóstico urbano de Puerto Balleto, Islas Marías. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 7 (1), 549 – 566. <https://doi.org/10.56712/latam.v7i1.5276>

INTRODUCCIÓN

El Pueblo Mágico de Puerto Balleto, ubicado en la Isla María Madre del archipiélago Islas Marías en Nayarit, México, no cuenta con planimetría georreferenciada. El antecedente de la isla, desde su apertura como Colonia Penal Federal de 1905 al 2010, su paso a Complejo Penitenciario de 2010 a 2019 y su transformación como destino turístico, a partir del 2022 no han contado con un estudio geodésico para el registro de una planimetría oficial. Es decir, a lo largo de su historia, se han construido obras según las necesidades, sin ninguna planeación y sin normatividad oficial en el ámbito territorial, viéndose agravadas las condiciones del Área Natural Protegida, en especial, a partir de la apertura al turismo.

Es importante especificar que, en el año 2000 el archipiélago fue declarado Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera (DOF, 27/11/2000). Esta declaratoria es asignada a territorio nacional en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por las actividades antropogénicas, quedando bajo la soberanía y jurisdicción de la Nación (PNS, 2020). Asimismo, el principal motivo de la preservación de los ecosistemas, tanto terrestre como marino, se debe al acceso restringido al archipiélago, que si bien, en 2010 dejó de ser Colonia Penal para convertirse en Complejo Penitenciario, mantuvo el uso exclusivo penitenciario.

Más tarde, se anunció la desincorporación del Complejo Penitenciario Islas Marías del Sistema Federal Penitenciario (DOF, 8/03/2019). A su vez, se anunció el Proyecto Integral Reserva de la Biosfera Islas Marías, Nayarit, con el objetivo de transformar el ex centro penitenciario en un centro para promover la conservación del medio ambiente y el turismo de bajo impacto. Para la realización del proyecto se estableció una comisión interinstitucional integrada por la Secretaría de Marina-Armada de México (SEMAR; MARINA); Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); y Secretaría de Turismo (SECTUR).

Actualmente con su apertura al turismo, las inversiones para rehabilitación y obras nuevas han aumentado, repercutiendo en el uso de recursos y los residuos que esto genera, impactando negativamente en la reserva. Inicialmente se realizó una inversión de 426 millones de pesos por parte de la Secretaría de Marina para obras de: construcción de un muelle; un batallón; vivienda; obra portuaria; rehabilitación de un museo de sitio; rehabilitación de aeropista. Posteriormente se realizó otra inversión de 140 millones 371 mil pesos para la construcción de: un parque acuático en el club de playa, dentro de la zona de actividades recreativas; ampliación del restaurante Brisa Marina; adecuación de un gimnasio; rehabilitación y mantenimiento de viviendas, de vialidades y miradores (Hernández, 2024).

La constante transformación del ahora Pueblo Mágico de Puerto Balleto en particular y de la Isla María Madre en general, se han estado realizando sin un plan regulatorio y sin normativa clara, y la llegada de la actividad turística agrava las condiciones, lo que pone en juego la conservación de los ecosistemas terrestre y marino, pudiendo afectar gravemente a las especies endémicas de flora y fauna. Además, se encuentra en riesgo el patrimonio arquitectónico edificado, que si bien, hay edificaciones que han sido restauradas, también se están destruyendo otras para dar pie a nuevas obras turísticas, que rompen con ese pasado penitenciario, a pesar de que se encuentra gran cantidad de infraestructura edificada que puede retomarse para complementar las actividades turísticas sin necesidad de realizar obra nueva, lo cual beneficiaría en el rescate de las edificaciones, que actualmente se encuentran en mal estado y deteriorándose cada día.

Actualmente, con su apertura al turismo debido a sus atributos para ofrecer por su pasado penitenciario primero como colonia penal y después como complejo penitenciario, la catalogación como reserva de la biosfera y la declaratoria como pueblo mágico, la ponen en riesgo por no contar con un plan de desarrollo que garantice su conservación. El gran problema es que no se cuenta con

planimetría de asentamiento, ni de la isla. Se intuye que probablemente se perdieron en los cambios administrativos, en los efectos de desastres naturales que azotaron la Isla en varias ocasiones, como inundaciones e incendios forestales, o simplemente nunca se desarrollaron. Se han realizado planos de Puerto Balleto e incluso de los once campamentos que integraban la colonia penal pero no con precisión, se ha tratado de planos de zonificación tipo esquemáticos sin escala realizados por la Dra. Evangelina Avilés Quevedo (2024a; 2024b), por tal motivo se identificó la importancia de realizar planimetría de las condiciones actuales como proyectuales, con mediciones reales.

Por lo cual, se hizo uso del método de fotogrametría aérea con dron, con la finalidad de obtener datos con alta precisión para poder desarrollar planimetría, que contribuya a un mejor manejo del área. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es describir el procedimiento metodológico para desarrollar un levantamiento por medio de fotogrametría aérea con dron, en el campamento Balleto de la Isla María Madre del Archipiélago Islas Marías, con la finalidad de emplear la ortofoto como mapa base y poder generar planimetría urbana del campamento.

La pregunta general es: ¿Cómo se desarrolla la metodología para el registro de imágenes georreferenciadas en Puerto Balleto en Islas Marías? La hipótesis sostiene que la metodología para el levantamiento fotogramétrico aéreo por medio de dron en Puerto Balleto se puede aplicar en otro campamento de Islas Marías, con variantes muy puntuales en condiciones naturales. La selección de este método radica en la alta calidad y precisión que brinda la ortofoto, permitiendo identificar detalles relevantes del terreno, superando la resolución de imágenes satelitales Landsat de 30 metros y Sentinel de 10 metros, así como los productos procesados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), con resolución de 5.00 y hasta 1.50 metros, además del tiempo y facilidad en la ejecución.

METODOLOGÍA

La investigación es de alcance descriptivo, de tipo cuantitativa, en la cual se describe cada una de las fases que integran el diseño metodológico para el empleo de fotogrametría aérea con dron en el Pueblo Mágico de Puerto Balleto. La metodología quedó estructurada en cinco etapas, dentro de cada una se enlistan el procedimiento realizado para la obtención del objetivo final (ortofoto).

Planeación de vuelo

Recorrido para reconocimiento de la zona de vuelo.

Permisos de vuelo.

Se genera un anteproyecto de vuelo, empleando el programa Pix4D, en el cual se establecen los parámetros (altura de vuelo, traslapes, superficie a cubrir por el vuelo) (waypoint, líneas de vuelo, velocidad, altitud, configuración del sensor, direcciones del vuelo), y el tiempo del vuelo considerando la duración de la batería; y la trayectoria del dron para la captura de las imágenes.

Puntos de control primario (fijo)

Se establece un punto de control principal fijo como punto de referencia, utilizado para dar coordenadas y corrección a los puntos de apoyo terrestre.

Puntos de Apoyo Terrestre

Anteproyecto de ubicación de puntos de apoyo terrestre (PAT).

Validar las condiciones meteorológicas y climáticas.

Colocación de punto de apoyo terrestre (PAT).

Se obtienen las coordenadas de los puntos de apoyo terrestre.

Misión de vuelo

Selección de la zona para iniciar el despegue del dron.

Preparación del dron.

Se validan los parámetros programados en el anteproyecto de la planeación del vuelo y si es necesario se reajustan.

Se ejecuta el vuelo.

Monitoreo de la trayectoria, calidad de las imágenes, y condiciones del dron.

Procesamiento de información

Calibración de la cámara.

Orientación de imágenes.

Creación de nube de puntos.

Modelo digital de elevación.

Ortofoto.

DESARROLLO

La palabra fotogrametría se deriva de fotograma que proviene del griego photós que significa luz y de gramma que significa trazado o dibujo. Por lo que, se puede definir como una técnica que recopila información a partir de un conjunto de fotografías que se traslapan para integrar una más amplia, con el objetivo de obtener de manera precisa la forma, posición y dimensión del objeto en el espacio (Admin UAV, 2022).

En 1839, a partir del descubrimiento de la fotografía por Arago (Sánchez, 2007), es que se puede rastrear el origen de la fotogrametría, remontando al coronel Aimé Laussedat (1819-1907); en 1850, hizo uso de imágenes fotográficas para estudios topográficos, convirtiéndolo en el primero en usar la fotogrametría (Admin UAV, 2022). En 1859, el arquitecto alemán Meydenbauer utiliza fotografías que intersecta para obtener el levantamiento de edificios, y denomina esta técnica como fotogrametría. En 1914, Otto Von Gruber afianzó y consolidó la fotogrametría como herramienta de gran utilidad en la investigación científica. En los noventa, con la llegada de las tecnologías digitales, las técnicas se han ido perfeccionando (Admin UAV, 2022).

El científico francés Laussedat desarrolla el primer fototeodolito, nombrando la técnica como metro fotografía. Posteriormente, en 1901, Pulfrich desarrolla el estereocomparador, con el cual se podía identificar puntos homólogos mediante la utilización de la visión estereoscópica, lo que posteriormente dio paso a un aparato de restitución desarrollado por Von Orel, el cual permitió el trazado de curvas de nivel continuas. Los avances mencionados anteriormente consolidaron la fotogrametría terrestre, pero con la aparición de aviones en 1909 se realizaron las primeras fotografías aéreas (Sánchez, 2007).

La fotogrametría se clasifica en dos tipos: 1) Por el tipo de fotografía, esta puede ser terrestre (las fotografías son tomadas desde la tierra) y aérea (las fotografías son tomadas a través de vuelos); y 2) Por el tipo de tratamiento, estas pueden ser analógicas (intervienen procesos químicos para el revelado de la fotografía) y digital (captura la luz mediante un sensor electrónico) (Admin UAV, 2022).

La fotogrametría aérea inicialmente implicaba el uso de aviones, avionetas o naves pilotadas, complementada con sensores LIDAR (sistemas de medición y detección de objetos a través de láser), lo que implicaba costos muy elevados, posteriormente con la popularidad que han ido ganando los drones la fotogrametría se ha hecho más accesible.

Desde 1999, se encuentran disponibles lo que comúnmente conocemos como drones, o más específicamente, los Sistemas de Aeronaves Pilotadas de forma Remota (RPAS), también denominados Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV, Unmanned Aerial Vehicle) y hasta la fecha han ido ganando relevancia y diversificando los usos; algunos motivos de esto se debe a que el costo de adquisición ha bajado y la calidad de los datos ha aumentado por el avance constante del desarrollo tecnológico, brindando mejor precisión que las imágenes satelitales, haciéndolos cada vez más requeridos para los levantamientos fotogramétricos (Visalot Camus et al., 2022).

Bernal define la fotogrametría como una técnica para identificar con precisión la forma, dimensión, y posición de un objeto en el espacio, obtenidos mediante una o varias fotografías (en Sánchez, 2007). Es decir, se obtienen y determinan las propiedades geométricas de los objetos a partir de imágenes fotográficas (aerosar, s/f). También es considerada como arte, ciencia y tecnología, para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabaciones, medidas e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos (Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección [ASPRS]).

La fotogrametría aérea con dron permite obtener información diversa debido a la captura de imágenes desde diferentes puntos de vista, pero con una adecuada superposición (Valle Queb et al., 2024), lo que implica un levantamiento fotográfico desde múltiples ángulos, captadas mediante una cámara empotrada en un dron, el resultado de la secuencia de fotografías debe pasar por un procesamiento mediante el empleo de software especializado para poder obtener los productos requeridos, precisamente a este procesamiento y posprocesamiento de las imágenes es lo que concierne a la fotogrametría (Ochoa-Arias & Delgado-Pinos, 2020).

El procesamiento de las imágenes puede brindar una serie de productos como modelos tridimensionales, curvas de nivel, nube de puntos, mosaico de fotos, ortofotografía, modelos digitales de elevación, modelos digitales de terreno, que brindan aportes de gran relevancia. Generalmente la fotogrametría lo ligamos a productos cartográficos, pero los productos de esta son más amplios, incluyendo las ramas de la fotointerpretación y la teledetección.

El uso de la fotogrametría es muy amplio porque brinda varios beneficios, en el ámbito urbano, se ha empleado para realizar zonificaciones, modelaciones topográficas y planeación urbana, cartografía de uso de suelo y planes de ordenamiento territorial, ya que por medio de este método se puede obtener la superficie terrestre y modelos digitales de elevación (MDE) que reemplazan la topografía tradicional (Visalot Camus et al., 2022). Almeida Navarrete et al., (2023), empleo la fotogrametría a través de vehículo aéreo no tripulado (UAV) con la finalidad de realizar una planificación del Parque Lineal del río Tahuado localizado en la ciudad de Ibarra, provincia del Imbabura, con la cual se obtuvo un levantamiento topográfico, la fotogrametría y la modelación digital.

Las aplicaciones también tienen incidencia en la prevención del riesgo, donde se empleó la fotogrametría con la finalidad de conocer el funcionamiento hidrológico para mitigar inundaciones. Debido al rápido crecimiento urbano de Chetumal sobre áreas que antes eran selvas y humedales, la zona se ha visto gravemente afectada por fenómenos meteorológicos e intensas lluvias, por lo que fue necesario analizar los efectos de las inundaciones pluviales. Para lo cual se aplicó una técnica avanzada de análisis especial y modelación numérica, utilizando una combinación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), fotogrametría con drones y modelación hidráulica computacional, para obtener un conocimiento detallado de la dinámica de inundaciones de la ciudad, y poder modelar las

inundaciones, identificar las velocidades máximas, alturas de inundación y áreas ocupadas por flujos superficiales y con dicha información poder realizar una planificación urbana adecuada (Valle Queb et al., 2024).

En la Alcandía Álvaro Obregón situada sobre las laderas del volcán San Miguel, al poniente de la Ciudad de México. Se empleo la fotogrametría con dron con el objetivo de generar un modelo computacional preventivo que sirva para entender las amenazas, debido a que la población vive en riesgo latente por estar asentada sobre derrames de lava altamente accidentada y con grandes pendientes lo que la hace susceptible a presentar deslizamientos de tierras (Rivera González, 2020)

En el ámbito del patrimonio también tiene sus implicaciones, como ejemplo está el registro del patrimonio edificado del centro histórico de la ciudad de Cuenca, levantado mediante fotogrametría y gestionado mediante Sistemas de información Geográfica (SIG). Lo que permitió generar un modelo digital con información predial, delimitaciones, representación de edificios en dos y tres dimensiones, permite realizar una catalogación, clasificación, mantenimiento, recuperación, estudio y promoción del patrimonio edificado (Ochoa-Arias & Delgado-Pinos, 2020).

La aplicación también se da para vestigios arqueológicos, García Zepeda (2020), aplicó una combinación de fotogrametría aérea y terrestre para el levantamiento de vestigios arqueológicos. Lo cual contribuyó a ubicarlos espacialmente, se realizaron modelos tridimensionales georreferenciados y renders de cada petroglifo, ayudó en identificar aquellos que no son observables a simple vista y a altas horas de la noche sin necesidad de estar presente y a complementar aquellos en mal estado.

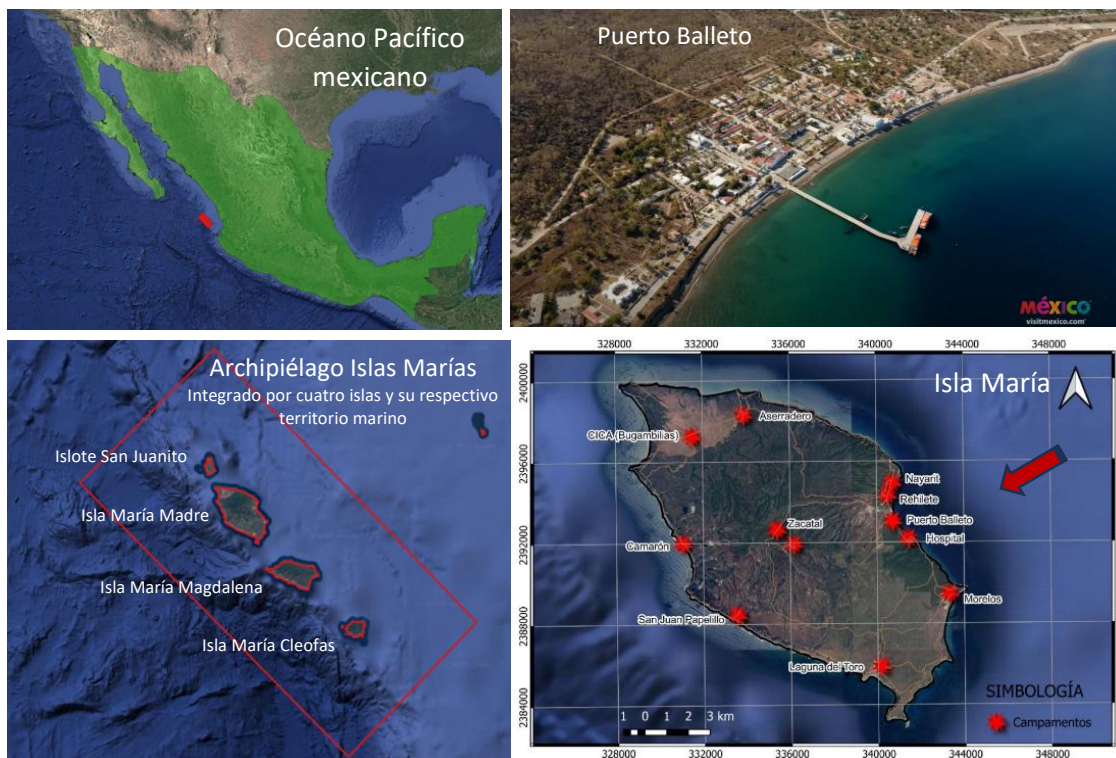
Lo anterior demuestra la eficiencia de la fotogrametría en diferentes ámbitos por su gran precisión, convirtiéndola en una herramienta de gran valor para la obtención de datos, modelado y representación que contribuyen en la toma de decisiones. Pero a pesar de las diversas ventajas que brinda la fotogrametría es necesario combinarla con otras técnicas para eficientar el tiempo en campo y para mejorar la calidad de los resultados.

Zona de estudio

La zona de estudio se localiza en el océano pacifico, dentro del archipiélago Islas Marías, integrado por cuatro islas (Isla María Cleofas, Isla María Magdalena, Isla María Madre, y el Islote San Juanito) y su respectivo territorio marino, pertenece al estado de Nayarit en México. La isla María Madre es la única isla que ha sido habitada desde sus antecedentes penitenciarios hasta la actualidad, dentro de la cual se encuentran los 11 campamentos que integraron la colonia penal. Puerto Balleto, se catalogó como el principal campamento de la colonia penal (1905-2010), y posteriormente con su cambio a complejo penitenciario (2010-2019) se consolidó como el centro administrativo y de contacto principal con el continente. Recientemente fue nombrado Pueblo Mágico (2023), y funge como principal destino turístico dentro de la Isla (Figura 1).

Figura 1

Ubicación de la ciudad de Culiacán Rosales



Fuente: elaboración propia.

Es en el Pueblo Mágico de Puerto Balleto donde se concentra la mayoría de la actividad turística, desde alojamientos de turistas y personal de TURIMAR y CONANP, instituciones encargadas de la administración de la Isla, así como la mayoría de los destinos turísticos que integran el recorrido.

En la siguiente tabla 1, se presenta de forma resumida, el proceso histórico de cambios por el que ha transitado la Isla María y específicamente Puerto Balleto. lográndose observar que ha sido habitada oficialmente desde 1905, con la apertura de la Colonia Penal Federal Islas Marías que en su momento estuvo integrada por once campamentos (Puerto Balleto, Rehilete, Nayarit, Aserradero, Bugambillas, Camarón, San Juan Papelillo, Laguna del Toro, Morelos, Hospital y Zacatal al dentro de la isla) (Avilés, 2024a; 2024b; 2019).

El 27 de noviembre del año 2000 el archipiélago Islas Marías fue catalogado como Área Natural Protegida con carácter de Reserva de la Biosfera (SEMARNAP, 2000), por lo que las actividades productivas de los internos de la Colonia Penal tuvieron que ajustarse a la agenda ambiental (Santos del Prado Gasca et al., 2006).

Cierra oficialmente la Colonia Penal anunciada por Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril del 2010, para convertirse en Complejo Penitenciario, integrado por el Centro Federal Femenil de Readaptación Social de Seguridad Mínima Zacatal; Centro Federal Femenil de Readaptación Social Rehilete de mediana a alta seguridad; Centro Federal de Readaptación Social de Mínima Seguridad Aserradero; Centro Federal de Readaptación Social Morelos; Centro Federal de Readaptación Social Bugambillas; Centro Federal de Readaptación Social de Seguridad Máxima Laguna del Toro. El 8 de marzo del año 2019 se publica en el Diario Oficial de la Federación la

desincorporación del Complejo Penitenciario Islas Marías del Sistema Federal, para convertirse en un centro turístico y de educación ambiental (Avilés, 2019).

Tabla 1

Resumen histórico de la isla o Balleto

Periodo	
1905 - 2010	Colonia penal federal Isla Marías.
2000	Área Natural Protegida. Reserva de la Biosfera Islas Marías.
2010 - 2019	Centro Federal de Complejo Penitenciario Islas Marías.
2019	Centro de Educación Ambiental y Cultural Muros de Agua José Revueltas.
2020	Secretaría de Marina.
2023	Pueblo Mágico Puerto Balleto por la Secretaría de Turismo.

Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS

Planeación de vuelo

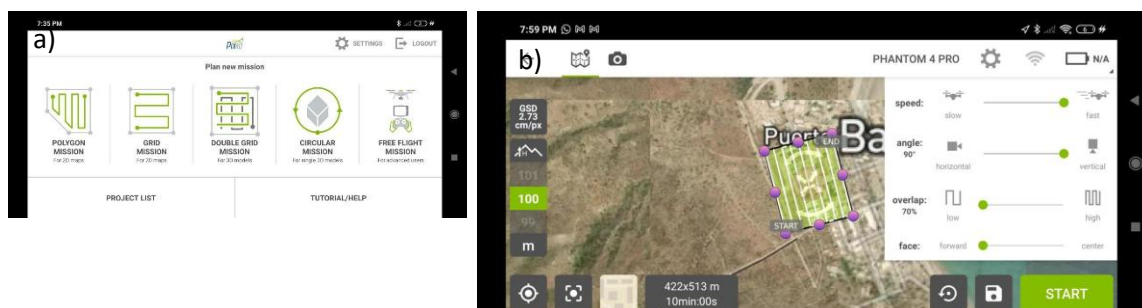
Inicialmente es necesario conocer la zona de estudio, para realizar un análisis natural y artificial, es decir, las edificaciones, áreas verdes, servicios públicos y factores muy importantes a considerar en la planeación del vuelo, que, si no son previstos, pueden afectar el plan de vuelo, con la finalidad de evitar atrasos, minimizar errores o cambios en el mismo (Figura 2, a).

En el recorrido de reconocimiento del área también se recomienda, verificar si el dron puede realizar el vuelo, ya que hay áreas con restricciones aéreas. En estos casos se deben gestionar los permisos y autorizaciones pertinentes en el espacio aéreo correspondiente, para evitar posteriores inconvenientes que podrían ser desde cancelaciones, multas e incluso detenciones.

Una vez que se tiene conocimiento de la zona de vuelo y los permisos correspondientes, se procede a generar el anteproyecto de vuelo. Como parte de la planeación del vuelo se utilizó el software Pix4D Capture creando un nuevo proyecto y asignando parámetros como la altura de vuelo dependiendo de la resolución que se quiera obtener, se le dan valores a los traslapes longitudinal y transversal, se selecciona el área de interés, así como también parámetros de la cámara que nos permitió conseguir la calidad deseada en las imágenes finales (Figura 2, b).

Figura 2

Anteproyecto de vuelo



Fuente: elaboración propia.

Los parámetros del campamento Balleto, fue:

Altura 100 m,

Traslape longitudinal 70%,

Traslape transversal 63%,

Ángulo de la cámara a 90°;

Con dimensiones que van desde 321m por 772m;

Los parámetros de la cámara fueron ISO 100 y Distancia focal de 35 mm, mientras que la apertura del diafragma y la velocidad del obturador fueron automáticos. En la figura 2-b, se logra apreciar dentro del recuadro verde, las líneas guías que seguirá el dron al momento de realizar la ejecución del vuelo. Lo anterior es necesario cuando se quiere generar vuelos autónomos.

Puntos de control primario (fijo)

Se estableció un punto de control principal fijo como punto de referencia, utilizado para dar coordenadas y corrección a los puntos de apoyo terrestre, denominado método de bases geodésicas el cual consiste en medir durante una hora aproximadamente la señal de satélites, guardando la información para posteriormente procesar y obtener la posición de los puntos, ligándolos a la red geodésica nacional activa de INEGI.

Figura 3

Colocación de puntos de control primario (fijos)



Fuente: elaboración propia.

Puntos de Apoyo Terrestre

Se debe hacer un anteproyecto con la propuesta de distribución de los puntos de apoyo terrestres, con la finalidad de identificar el sitio estratégico para colocarlos, considerando un espacio despejado para que queden visibles en las fotografías del vuelo, además se deben formar triángulos entre ellos y manejar una distancia promedio para garantizar una buena rectificación en el procesamiento de las imágenes. La recomendación es generar un mapa indicando la localización de estos, para usarla como apoyo en campo, y con esto disminuir los tiempos. Se puede emplear Google Earth para elaborarlos (figura 4-a). Además, se debe considerar en la distribución, los traslapes de los vuelos, ya que en ocasiones se realizan levantamientos de superficies muy extensas donde es necesario generar varios vuelos, para poder cubrir el área de interés.

Figura 4

Propuesta de ubicación de puntos de apoyo terrestre (PAT)



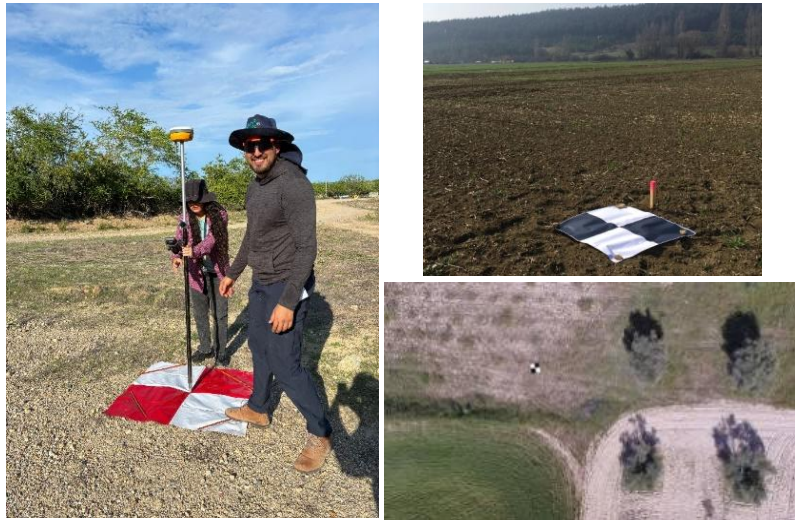
Fuente: elaboración propia.

Antes de iniciar con la colocación de los puntos de apoyo terrestre, debido a que es un paso previo a la ejecución del vuelo, se deben validar las condiciones meteorológicas y climáticas, como las corrientes de aire y la lluvia para evitar dañar el dron, incluso que no esté nublado para que las imágenes tengan buena iluminación, esta validación también debe hacerse durante el vuelo, con la finalidad de cancelar la misión de vuelo en caso de que se ponga en riesgo el equipo y la calidad de la información que se espera levantar del proyecto. Si las condiciones meteorológicas y climáticas son óptimas se procede a colocar los puntos de apoyo terrestre.

Una vez en el sitio de vuelo, se procede a poner los puntos de control en el terreno, los cuales se utilizan para ajustar el bloque fotogramétrico, dichos puntos de control son lonas de 50cm por 50cm y 1m por 1m dividido en cuatro cuadrantes con colores blancos y rojos y/o cuadrantes blancos y negros, los cuales nos ayuda a definir un punto central, el cual es el que interesa. Dichas marcas se colocan en zonas visibles y de manera estratégica, siguiendo la ubicación seleccionada en el anteproyecto, pero se pueden realizar cambios en campo en caso de ser requeridos, para que al momento de tomarse las fotografías estas se vean claramente en las imágenes.

Figura 5

Colocación de puntos de apoyo terrestre (PAT)



Fuente: elaboración propia.

Los puntos de control terrestre son necesarios para la georreferenciación y calibración de las imágenes. Cuando se colocan los puntos de apoyo en el terreno deben estar distribuidos uniformemente a lo largo del área de estudio y deben estar estables, para lo cual se recomienda colocar varillas en los extremos para evitar que se muevan y a su vez que afecten la visibilidad en la captura de la imagen. Posteriormente se procede a obtener las coordenadas de cada uno de los puntos de apoyo terrestre, para lo cual en este caso se utilizó equipo GNSS Hi Target V30 Plus, con el método RTK (Real Time Kinematic), que como resultado nos arroja coordenadas planimétricas y altimétricas XYZ alcanzando precisiones milimétricas.

Misión de vuelo

Es necesario ubicarse al centro de la superficie que cubre el plan de vuelo, para iniciar el despegue del dron, de esa manera el control de mando del dron tendrá una distancia promedio desde los puntos más alejados al dron al momento del vuelo, y así se evita que se interrumpa la comunicación entre el control y el dron, garantizando visibilidad en tiempo real y conocer la telemetría del dron (posición, velocidad, porcentaje de carga de la pila tanto del dron como del control de mando, tiempo de vuelo, obstáculos). Una vez ubicados en el sitio de despegue, se procede con la preparación del dron DJI Phantom Pro V2, tomando en cuenta su estado físico, instalación de hélices y la carga de las baterías.

Figura 6

Inicio de misión de vuelo



Fuente: elaboración propia.

Se validan los parámetros programados en el anteproyecto de la planeación del vuelo y si es necesario se reajustan. Una vez que se inicia la ejecución del vuelo, ya no es necesario realizar modificaciones, puesto que todo queda programado con anterioridad y el dron solo ejecuta la misión. La única actividad es monitorear el avance y estado del vuelo, como la trayectoria, calidad de las imágenes, y condiciones del dron. Al finalizar, el dron regresa al mismo punto de partida de forma automática, si surge algún inconveniente que ponga en peligro el estado físico del equipo, se puede abortar la misión de vuelo.

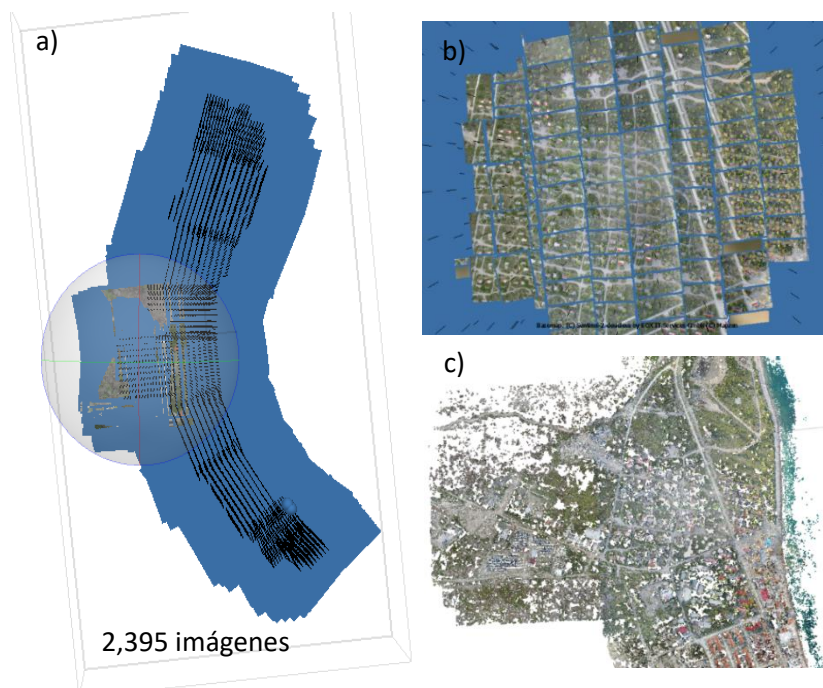
Una vez que se finaliza el vuelo (o conjunto de vuelos), se extrae la memoria microSD del dron, para resguardar la información en el equipo de cómputo. A su vez se realiza la descarga de los datos del receptor GNSS, el cual contiene las coordenadas de los puntos de apoyo terrestre, es necesario que estén en archivo .csv o .txt, con estos datos ya se puede iniciar con el procesamiento.

Procesamiento de información

Una vez en el programa (AGISOFT METASHAPE), se añaden las imágenes, seleccionándolas desde el directorio en el que estén guardadas, posteriormente se agregaran todas la fotografías al software, en el cual veremos que cada imagen tiene una coordenada central (ubicación de la antena dentro del GPS), las cuales las veremos en coordenadas geográficas decimales, y las convertiremos en otro sistema de referencia en este caso en WGS84, UTM 13N ya que es el mismo sistema de referencia con el que medimos los puntos de control (Figura 7-a). El siguiente paso fue orientar las fotografías en el cual el software encuentra puntos de coincidencia entre imágenes superpuestas (Figura 7-b). Estima la posición de la cámara para cada foto y genera un modelo de nube de puntos disperso, la cual tiene un error promedio en metros (Figura 7-c).

Figura 7

Procesamiento de la información



Fuente: elaboración propia.

Para disminuir el error, se agregan los marcadores que son las coordenadas de los puntos de apoyo terrestre, estos puntos de control aparecerán en la nube de puntos dispersa, pero desplazados (Figura 8-a). Posteriormente se ajustan los marcadores a las fotografías en donde aparecen los puntos de control, así le estamos indicando que ese punto de control tiene una coordenada XYZ (Figura 8-b). Una vez ajustados los marcadores se optimiza la alineación de la cámara con el fin de lograr mayor precisión en el cálculo de los parámetros externos e internos de la cámara y para la corrección de posibles distorsiones (Figura 8-c). Hecho este proceso los errores métricos pasan de centimétricos hasta milimétricos.

Figura 8

Ajuste de marcadores

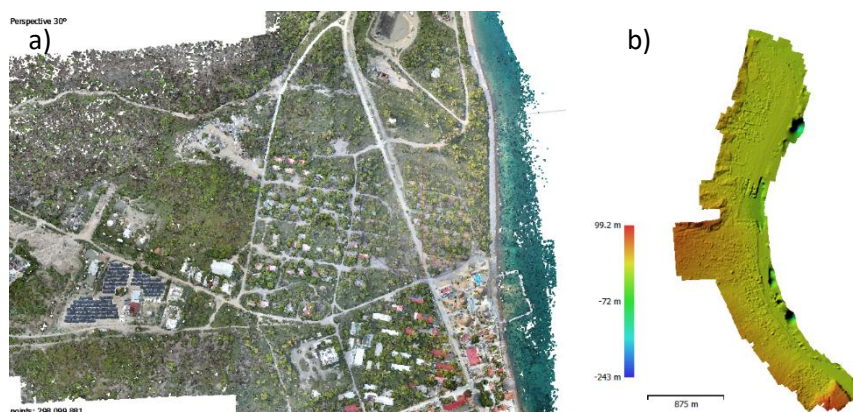


Fuente: elaboración propia.

El siguiente proceso es generar una nube de puntos densa basándose en las posiciones estimadas de la cámara, el programa calcula la información de profundidad y las combina. En este proceso se generan millones de puntos, representando en detalle la geometría 3D del terreno, edificaciones y objetos (Figura 9-a). Posteriormente se genera el modelo digital de elevaciones a partir de la nube de puntos densa, esta representa la elevación del terreno en formato ráster. Este modelo incluye edificios, vegetación y estructuras, además se puede clasificar y generar un modelo digital del terreno (Figura 9-b).

Figura 9

Nube de puntos densa y modelo digital de elevación

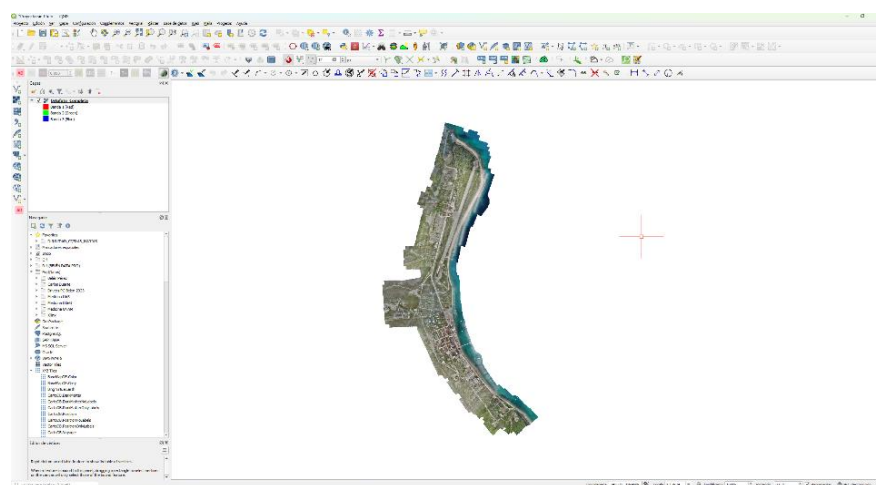


Fuente: elaboración propia.

Por último, se genera el ortomosaico, que es una imagen aérea corregida geométricamente para que tenga propiedades de un mapa, es decir que cada píxel se proyecta en su posición real sobre el terreno. Esta imagen se exportó en formato TIFF y se importa en Software QGIS para trabajar sobre ella.

Figura 10

Ortomosaico



Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Si bien el objetivo final con la aplicación de la metodología de fotogrametría aérea con dron era obtener un ortomosaico, con la finalidad de usarlo como mapa base, sobre el cual generar una serie de planos urbanos tanto de diagnóstico como de proyección para la planeación urbana. Es importante destacar que se obtuvieron otros productos de gran relevancia, por mencionar alguno tenemos los modelos digitales de elevación, de los cuales se pueden extraer otra serie de datos de gran relevancia y contribución en la planificación.

Se presentaron algunas limitaciones durante la ejecución de la metodología, una de ellas es que debido al nombramiento del archipiélago Islas Marías como Área Natural Protegida catalogada como Reserva de la Biosfera, aunado a su pasado penitenciario, existen algunas zonas aéreas restringidas, para lo cual será necesario gestionar los permisos pertinentes con anticipación, una vez que se proceda con la metodología en otros campamentos dentro de la Isla.

Otra de las limitaciones presentadas fue la falta de acceso a internet dentro de la Isla, por lo cual esta metodología en específico incluye la fase adicional correspondiente a la colocación de puntos de control primario (fijo). En zonas con buena cobertura, no se requiere de este procedimiento.

La fotogrametría es una herramienta de gran valor para la planeación urbana, ya que permite obtener datos del terreno con milímetros de error, a diferencia de las imágenes satelitales que tienen en promedio de 10 a 15 metros.

CONCLUSIÓN

La descripción del procedimiento metodológico para desarrollar el levantamiento por medio de fotogrametría aérea con dron consta de lo siguiente: 1. Planeación de vuelo (anteproyecto de vuelo); 2. Puntos de control primario (colocación de puntos de control primario –fijos-); 3. Puntos de Apoyo Terrestre (Obtención de coordenadas y colocación de puntos de apoyo terrestre); 4. Misión de vuelo (inicio de misión de vuelo); 5. Procesamiento de información (Procesamiento, ajuste de marcadores, Nube de puntos densa y modelo digital de elevación y Ortomosaico).

Esta imagen obtenida permitirá realizar registros certeros para la toma de decisiones con enfoque territorial en el Pueblo Mágico de Puerto Balleto, en el ámbito turístico y referente a sus impactos en el medio ambiente.

Es el primer registro de fotogrametría que se realiza en Islas Marías y que deja un precedente para obtener información muy precisa de las edificaciones, pero también los recursos naturales existentes, con solo milímetros de error. Puede dar pauta para diversidad de estudios de forma multidisciplinaria y generar proyectos urbanos, turísticos y ambientales en el área con mayor concentración de población flotante y que impacta en el sitio de estudio.

REFERENCIAS

Admin UAV. abril 25, 2022. ¿Qué es y para qué sirve la fotogrametría? UAVLatam. <https://uavlatam.com/que-es-la-fotogrametria-como-funciona/#presencia>

Aerosar, s/f. Fotogrametría y teledetección. ¿En qué consiste la fotogrametría y teledetección? https://aerosar.es/modelos_digitales/

Almeida Navarrete, F. J., Álvarez Ochoa, J. L., & Cevallos Gangotena, F. S. (2023). Modelo digital y fotogrametría a través del uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Caso de estudio, entorno del río Tahuado en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. *EÍDOS*, 16(22), 49–60.

Avilés Quevedo, E. (2019). Las mujeres reclusas en Islas Marías. Desde colonia penal, hasta complejo penitenciario. *Revista de Investigación y Divulgación Sobre Los Estudios de Género*, 2(25), 43–76.

Avilés Quevedo, E. (2024a). Arquitectura y urbanismo de Puerto Balleto, Isla María Madre, México. Un patrimonio cultural edificado (1905-2010). *Legado de Arquitectura y Diseño*, 19(35), 87–100.

Avilés Quevedo, E. (2024b). Pueblo mágico Puerto Balleto Islas Marías, México. Su pasado penitenciario a través de las permanencias arquitectónicas y urbanas. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(6). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i6.3206>

García Zepeda, O. (2020). Fotogrametría digital aérea y terrestre. Aplicación de luz rasante digital a petrogravados de un sitio rupestre dentro del Proyecto de Salvamento Arqueológico Gasoducto Samalayuca-Sásabe. *Revista de La Coordinación Nacional de Arqueología*, 61, 5–26.

Hernández, Enrique, 2024. Forbes México, Marina Inyecta otros 140 mdp en un parque acuático de playa y otras obras en Islas Marías. <https://forbes.com.mx/marina-inyecta-otros-140-mdp-en-un-parque-acuatico-de-playa-y-otras-obras-en-islas-marias/>

Lerma G., J.L. 2002. Fotogrametría moderna: analítica y digital. Universidad Politécnica de Valencia.

Ochoa-Arias, P., & Delgado-Pinos, O. A. (2020). Modelo de registro fotogramétrico 2D y 3D del patrimonio edificado de Cuenca. *Universitas*, 33, 163–180. <https://doi.org/10.17163/uni.n33.2020.08>

Rivera González, O. D. (2020). Fotogrametría de drones para la prevención de deslizamientos de tierra en la Ciudad de México. *Revista de Estudios Latinoamericanos Sobre Reducción Del Riesgo de Desastres REDER*, 4(2), 85–96.

Santos del Prado Gasca, K., Negrete Fernández, G., & Gabriel Morales, J. (2006). Diagnóstico ambiental participativo en la Colonia Penal Federal Islas Marías. Hacia la conservación y el manejo sustentable de su territorio. *Gaceta Ecológica*, 5–18.

SECTUR. (2020). Estudio de capacidad de carga turística de la Isla María Madre del archipiélago de las Islas Marías.

Sobrino, J. A. S. (2007). Introducción a la fotogrametría. ETSI Caminos, canales y puertos-Cátedra topografía

Valle Queb, C. C., Alcérreca Huerta, J. C., Rosas Correa, G., Martínez Méndez, A., & Sánchez Sánchez, J. A. (2024). Aplicación de fotogrametría con drones y modelación de inundaciones para la planificación urbana en Chetumal. *AvaCient*, 4(2), 37–48. <https://doi.org/10.69823/avacient.v4n2a5>

Visalot Camus, A. A., Díaz Ortiz, E. A., & Cayo Perea, J. J. (2022). Aplicación de la fotogrametría RPAS en zonificaciones urbanas. Revista Científica Pakamuros, 10(3), 89–104.
<https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v10i3.318>

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .