South American Publishing

SAP Land and Architecture. 2025; 4:160
doi: 10.56294/la2025160

REVIEW

Digital Photogrammetry and Geographic Information Systems: A Review

Fotogrametría Digital y Sistemas de Información Geográfica: revisión del tema

Juan Manuel Sosa[1], Pedro Enrique Sosa Veras[1], Eva Mejía[1]

[1]Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). Santo Domingo, República Dominicana.

Cite as
Sosa JM, Sosa Veras PE, Mejía E. Digital Photogrammetry and Geographic Information Systems: A Review. SAP Land and Architecture. 2025; 4:160. https://doi.org/10.56294/la2025160

Publication History
Submitted: 04-05-2024
Revised: 10-10-2024
Accepted: 21-04-2025
Published: 22-04-2025

Corresponding Author
Pedro Enrique Sosa Veras

ABSTRACT

Photogrammetry is an essential technology for the analysis and measurement of objects in geospatial space using photographs. This method is divided into several categories: analog, analytical, aerial, terrestrial, and digital photogrammetry, each with specific applications in geography, architecture, and more. Digital photogrammetry has revolutionized the field by integrating specialized software to process images and generate accurate geospatial information. Its applications include the creation of topographic maps, point clouds, and 3D models used in cartography and agriculture. Likewise, the Structure from Motion (SfM) technique allows for the creation of high-resolution 3D models using unmanned aerial vehicles (UAVs). This approach has facilitated data collection at a lower cost and with greater accuracy, excelling in situations where access is difficult. Furthermore, the importance of geodesy, which studies the shape and dimensions of the Earth, has been emphasized as a fundamental pillar for understanding the geographic environment. On the other hand, cartography, which has evolved from paper representations to digital solutions, plays a crucial role in modern geoinformatics, providing tools for analysis and decision-making. Advances in drone technology and GIS software have enabled greater versatility in the collection and analysis of geospatial data, supporting diverse sectors, from urban planning to environmental conservation.

Keywords: Cartographic Mosaic; Photogrammetry; Cartography.

RESUMEN

La fotogrametría es una tecnología esencial para el análisis y medición de objetos en el geoespacio mediante fotografías. Este método se divide en varias categorías: fotogrametría analógica, analítica, aérea, terrestre y digital, cada uno con aplicaciones específicas en geografía, arquitectura, y más. La fotogrametría digital ha revolucionado el campo al integrar software especializado para procesar imágenes y generar información geoespacial precisa. Entre sus aplicaciones destacan la creación de mapas topográficos, nubes de puntos, y modelos 3D utilizados en la cartografía y la agricultura. Asimismo, la técnica Structure from Motion (SfM) permite obtener modelos 3D de alta resolución utilizando vehículos aéreos no tripulados (VANT). Esta aproximación ha facilitado la recolección de datos a un costo más bajo y con mayor precisión, destacando en situaciones donde el acceso es complicado. Además, se ha enfatizado la importancia de la geodesia, que estudia la forma y dimensiones de la Tierra, como un pilar fundamental para la comprensión del entorno geográfico. Por otro lado, la cartografía, que ha evolucionado desde representaciones en papel a soluciones digitales, juega un papel crucial en la geoinformática moderna, proveyendo herramientas para análisis y toma de decisiones. Los avances en tecnología de drones y software SIG han permitido una mayor versatilidad en la recopilación y análisis de datos geoespaciales, apoyando diversos sectores, desde el urbanismo hasta la conservación ambiental.

Palabras clave: Mosaico Cartográfico; Fotogrametría; Cartografía.

© 2025; The Authors. This Open access article is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCCIÓN

La aerofotogrametría digital SFM (Structure From Motion) se ha convertido en una técnica valiosa en el ámbito de la ingeniería y el diseño del espacio territorial, facilitando la captura de información geoespacial. Esta metodología ha evolucionado desde la fotogrametría aérea realizada en aviones desde la década de 1950.[1]

La Fotogrametría Digital SFM es una técnica avanzada que utiliza algoritmos computacionales para reconstruir objetos y paisajes en tres dimensiones a partir de imágenes digitales capturadas desde diferentes ángulos y posiciones. Se fundamenta en principios fotogramétricos y estereoscópicos, aprovechando las variaciones entre las imágenes para calcular la profundidad y la forma tridimensional de los objetos.[2]

Un elemento clave de la Fotogrametría Digital SFM es la identificación y correspondencia de características visuales entre las imágenes, como esquinas o bordes. Esto permite calcular la posición tridimensional de puntos destacados en la escena, así como la posición y orientación de las cámaras utilizadas para tomar las imágenes. Este proceso se realiza mediante algoritmos de triangulación y optimización.[2]

Una vez que se ha reconstruido la estructura tridimensional, se generan nubes de puntos densas que representan la superficie del objeto o paisaje, lo que posibilita la creación de modelos 3D precisos y detallados. Esta técnica se aplica en diversas áreas, incluyendo la elaboración de mapas topográficos, el monitoreo de cambios ambientales, la documentación y reconstrucción de sitios arqueológicos, así como en la planificación urbana y el diseño de infraestructuras.

La triangulación estereoscópica es un aspecto fundamental de la Fotogrametría Digital SFM, ya que se basa en el principio de paralaje para determinar la posición tridimensional de puntos en una escena a partir de imágenes bidimensionales capturadas desde diferentes ubicaciones y ángulos. Se establecen puntos de control con coordenadas tridimensionales conocidas, que se utilizan para calcular la posición de otros puntos en la escena.

Para implementar la triangulación estereoscópica, se utilizan diversos algoritmos y métodos computacionales, como los algoritmos de correspondencia de características para identificar puntos coincidentes en las imágenes y los algoritmos de reconstrucción 3D para calcular las coordenadas tridimensionales a partir de las coordenadas bidimensionales. La combinación de los sistemas de información geográfica (SIG) con esta tecnología SFM permite un mapeo relativamente rápido del área de estudio, abarcando toda su tipología, como relieve, vegetación y cursos fluviales.

Actualmente, esta técnica se utiliza en muchas partes del mundo debido a su capacidad para obtener información con precisión y eficiencia temporal. A continuación, se presentarán varios ejemplos sobre el uso de estas tecnologías.

Los autores Rubén Sancho Gómez-Zurdo, David Galán Martín, Beatriz González, Rodrigo Miguel Marchamalo Sacristán y Rubén Martínez Marín, en su informe titulado "Aplicación de la Fotogrametría con DRONES al Control Deformacional de Estructuras y Terreno", analizan la viabilidad del uso de drones evaluando su resolución, precisión y validación en comparación con otras técnicas. Describen detalladamente la técnica fotogramétrica *Structure From Motion*, que se utiliza para crear ortofotografías y modelos 3D precisos sin necesidad de conocer previamente las posiciones y ángulos de incidencia. Además, emplean puntos de control precisos y sus drones cuentan con un sistema RTK integrado, lo que garantiza un alto grado de precisión. Un ejemplo destacado es el monitoreo de una presa arco-gravedad, cuyos resultados muestran una precisión en deformaciones de ±2 mm para la estructura. Esto confirma que la fotogrametría con drones puede aplicarse efectivamente al control deformacional de presas de hormigón.

Por su parte, Felipe Buil Pozuelo, M. Amparo Núñez Andrés, Roger Ruiz Carulla, Nieves Lantada Zarzosa, en su estudio "Influencia de los Modelos 3D en la Determinación de Familias de Discontinuidades en Macizos Rocosos",[3] se centran en la caracterización de discontinuidades del macizo rocoso, con el objetivo de identificar el volumen de salida potencialmente inestable, necesario para la evaluación de la peligrosidad de los desprendimientos rocosos. La zona de estudio es Pala de Morrano (PN Aiguestortes). A través de vuelos fotogramétricos desde plataformas aéreas (RPAS y helicóptero) se generaron dos modelos 3D y un tercero desde cobertura terrestre. Se completaron los datos con un TLS (Terrestrial Laser Scanning), que se asumió como ground truth. Y la caracterización se realizó con el plugin Fast Marching de Cloud Compare, sobre estos modelos.

Los modelos generados poseen una significativa completitud, superior al 95 %, donde se destaca la combinación de lo terrestre y el helicóptero, sin oclusiones (98 %). Concluyeron que, para el objetivo fijado de la obtención de las familias de discontinuidades, todos los modelos fotogramétricos son válidos, donde el de fotogrametría terrestre es el que presenta mayor similitud con el obtenido con el TLS, siendo el óptimo en base a su coste-beneficio, seguido del generado por fotogrametría de multicóptero.

En el informe "Topografía de un Modelo Físico de Drenaje Urbano a partir de la Técnica Fotogramétrica Structure From Motion", los autores Regueiro-Picallo, M.; Sañudo, E.; Anta, J.; Puertas, J.; Suárez J. de la Universidad de Coruña, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), A Coruña, España,[4] presentan como una herramienta innovadora las técnicas de visualización, para resolver algunos problemas complejos de hidráulica experimental de forma sencilla y generalmente con un bajo coste.

Este estudio presenta un caso de aplicación de la técnica SFM para reconstruir la superficie de un modelo físico de drenaje urbano. Partiendo de un barrido de imágenes se obtuvo una malla detallada de la superficie con una resolución de 5 mm y un error relativo de ± 2,5 % respecto a técnicas topográficas convencionales para uso en modelos 2D de transformación lluvia-escorrentía.

El trabajo de investigación de los autores Yandri José Lalangui Jaramillo y Belizario Amador Zárate Torres, sobre "Evaluación del Modelo Digital de Terreno Obtenido Mediante Técnicas de Fotogrametría con VANT y con técnicas GNSS Aplicados a Proyectos Viales en Zonas de Mediana Vegetación",[5] tuvo como objetivo la obtención de un modelo digital de superficie en caminos de montaña mediante un vehículo aéreo no tripulado (VANT). A la altura de 100 m un VANT tomó imágenes cada dos segundos y se procesaron en un software SFM.

Se configuró un modelo digital de terreno, mediante técnicas de fotogrametría y se contrastaron los resultados con el modelo digital de terreno derivado de técnica GPS diferencial.

Resultó que los modelos digitales son similares, porque existe variación donde la vegetación es densa y servirían para reducir el margen entre estos dos tipos de levantamiento, de modo que se puedan lograr levantamientos topográficos sin coste al medio ambiente.

El trabajo de investigación de los autores Muhammad Hamid Chaudhry, Anuar Ahmad y Qudsia Guizar,[6] sobre "Impacto de los Parámetros Topográficos de los Vehículos Aéreos no tripulados en el Modelado de Superficies de Uso Mixto del Suelo Urbano", sostiene que los vehículos aéreos no tripulados (UAV) como herramienta topográfica, se caracterizan principalmente por una gran cantidad de datos y un alto coste computacional. No obstante, esta investigación hurga el uso de una pequeña cantidad de datos con menos costo computacional para productos fotogramétricos tridimensionales (3D) más precisos mediante la manipulación de parámetros topográficos de UAV, como el patrón de líneas de vuelo y los porcentajes de superposición de imágenes.

En Pix4DMapper se procesaron 16 proyectos fotogramétricos con planes de vuelo perpendiculares y una variación del 55 % al 85 % de superposición lateral y frontal. Para la georreferenciación y evaluación de la precisión de los datos de los UAV, se utilizaron 10 puntos de control terrestre (GCP) y 18 puntos de control (CP). El análisis comparativo se hizo incorporando la mediana de los puntos de enlace, el número de nubes de puntos 3D, el error medio cuadrático horizontal/vertical y variaciones topográficas a gran escala.

Los resultados indican que una mayor superposición frontal, aumenta la mediana de los puntos de unión, además que un incremento en la superposición lateral y frontal resulta en un mayor número de nubes de puntos. Se tuvo además que la precisión horizontal de 16 proyectos varía de ±0,13 m a ±0,17 m, mientras que la precisión vertical varía de 0,09 m a ±0,32 m. El error medio cuadrático vertical más bajo no correspondió al porcentaje de superposición más alto.

Pudiendo decirse que la compensación entre los parámetros topográficos de los UAV puede dar como resultado productos de alta precisión con menos costo computacional.

El Laboratorio Urbano de Diseño,[7] en inglés Urban Design Lab presenta un informe, en inglés denominado "GIS as a tool for Urban Planning", que traducido al castellano es: "Los SIG como herramienta para la Planificación Urbana", el cual establece que los SIG proporcionan a los planificadores, topógrafos e ingenieros las herramientas que necesitan para diseñar y mapear sus vecindarios y ciudades. Donde la visualización, el análisis espacial y el modelado espacial son las funciones SIG más utilizadas en la elaboración de planos.

Con los SIG se pueden almacenar, manipular y analizar los datos físicos sociales y económicos de una ciudad. Entonces los planificadores armados de este recurso pueden utilizar las funciones de consulta espacial y cartografía del SIG para analizar la situación de la ciudad. Utilizando el procedimiento de superposición de mapas, los SIG pueden ayudar a identificar áreas de conflicto entre el desarrollo y el medio ambiente. Utilizando la función de mapeo multicapa del SIG, el gobierno municipal puede visualizar un gran número de cosas, como tierras agrícolas de calidad, aguas superficiales, frecuencia de inundaciones, así como tierras de alto riesgo por erosión o accidentes topográficos.

Un trabajo de mucha relevancia e importancia para nuestro propósito de investigación, es el que precisamente combina el uso de drones con SIG, al cual nos referimos a renglón seguido.

Los autores Qiuxi Li y Tracy Deliberty,[8] en su informe en inglés "Integrating drones, participatory mapping and GIS to enhance resiliency for remote villages", que en español se lee: "Integración de drones, cartografía participativa y SIG para mejorar la resiliencia de aldeas remotas", explican que las comunidades indígenas de las regiones en desarrollo se ven afectadas por frecuentes desastres y la erosión de su cultura presionada por la modernización. Siendo algo a destacar el hecho de que sus esfuerzos por reducir el riesgo han sido dificultados porque estas comunidades carecen de un mapa con suficiente detalle de sus territorios.

Este estudio utiliza imágenes capturadas por drones, métodos participativos y SIG para generar el primer conjunto de datos de infraestructura y recursos de acceso público para las comunidades indígenas del Suroeste de China. Los mapas elaborados permiten a las comunidades indígenas, que carecen de datos, tener conciencia del riesgo de incendio de sus viviendas, además el estado de conservación de los edificios históricos y los recursos económicos potenciales, como atracciones turísticas.

El producto final esperado como resultado de estos esfuerzos es que generen resiliencia en estas comunidades, lo que es válido para las comunidades de difícil acceso en todo el mundo, para la prevención de desastres, planificación económica y la tan importante preservación cultural, que sostiene su identidad como etnia.

Con las posibilidades proporcionadas por estas herramientas de captura y presentación de datos espaciales, es viable realizar la base cartográfica municipal de República Dominicana, y/o actualizar las existentes, por estas razones se aprovechará la ocasión para revisar y/o actualizar la que se hizo con motivo del Plan de Desarrollo Urbano del municipio San José de Ocoa.

El municipio cabecera San José de Ocoa perteneciente a la novel provincia que lleva el mismo nombre, contiene el casco urbano de la misma. El poblado fue fundado en el año 1805 por habitantes procedentes de Baní. Cincuenta y tres años más tarde en diciembre de 1858, le fue subida la categoría a municipio y pertenecía a la provincia Santo Domingo. Posteriormente en 1895 fue transferido a la provincia Azua de Compostela. Pero cuando en 1944 fue creada la provincia Peravia, entonces San José de Ocoa fue puesto como municipio de dicha provincia.

El 6 de diciembre del 2000, la Ley 66-00 convierte en provincia a San José de Ocoa. Por tanto, es la provincia de menor edad de las 32 que integran la República Dominicana. Al ser una provincia tan joven, hasta 2014 no contaba con ningún tipo de estudio urbano, pero entre 2014 y 2015 fue realizado por el Ing. Arq. Agrim. Pedro E. Sosa Veras, el Plan de Desarrollo Urbano del Municipio San José de Ocoa, en el que se inventariaron todas las edificaciones, vías del casco urbano, cursos fluviales, entre otras informaciones, además se presentaron 74 proyectos de desarrollo municipal.

Actualmente los municipios del país no cuentan con una cartografía base en la que se pueda buscar con unos pocos "clics" cualquier información relativa a los componentes productivos de su municipio, con la descripción completa de una determinada unidad, como por ejemplo cuál uso tiene determinada área, si se trata de institucional, médico, comercial, extensión superficial, designación catastral que incluya datos parcelarios, distrito catastral, matrícula, entre otros.

La única información que pueden disponer por parte separada es la proporcionada en los mapas de Google y no cuentan con Sistemas de Información Geográfica que les proporcione en detalle los atributos citados en el párrafo precedente. En este sentido el trabajo de investigación abarcará esta amplia gama de las unidades componentes de la mancha urbana incluyendo los atributos mencionados.

La carencia de estas informaciones por parte de los gobiernos municipales del país, disminuye el potencial de inversión privada en los lugares convenientes y además dificulta las labores de controles de desarrollo económico y demográfico de estas provincias.

Importancia

La cartografía es una herramienta esencial para la planificación y el desarrollo sostenible de ciudades y municipios, ya que proporciona información detallada sobre la ubicación geográfica de los recursos naturales, las infraestructuras existentes, las zonas urbanas y rurales, entre otros aspectos relevantes. Sin embargo, en muchas ocasiones, la información cartográfica existente está desactualizada, incompleta o poco precisa, lo que dificulta la toma de decisiones y la implementación eficiente de políticas públicas. Estimamos, de acuerdo a nuestra experiencia que en la República Dominicana el 95 % de los ayuntamientos carece de una cartografía que le permita desarrollar sus planes municipales de desarrollo y gestión territorial.

El levantamiento y actualización de la cartografía urbana es muy importante para la planificación y gestión efectiva del desarrollo territorial en los municipios de República Dominicana. Un modelo de flujo de trabajo que integre la tecnología Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede mejorar significativamente la eficiencia y precisión en la recopilación y actualización de datos cartográficos.

DESARROLLO

Fotogrametría

La fotogrametría es una tecnología que permite analizar, definir la forma, tamaño, posición y dimensiones de un objeto localizado en el geoespacio, para lo cual se realizan medidas sobre las fotografías del objeto estudiado.[2]

Los tipos de fotogrametrías que existen son:

Fotogrametría Analógica

La fotogrametría analógica fue la primera técnica en desarrollarse. Se utilizaban globos o aviones con cámaras fotográficas instaladas en la parte inferior para capturar imágenes de las zonas de interés. Estas fotografías se imprimían y se estudiaban para analizar la forma, tamaño, posición y dimensiones de los objetos.

Fotogrametría Analítica

La fotogrametría analítica es la segunda en desarrollarse y utiliza modelos matemáticos para analizar objetos físicos en las fotografías. Esta técnica surgió por la necesidad de estudiar objetos en las ortofotos. La llegada de los ordenadores y la inclusión de internet facilitaron su avance, permitiendo el envío y procesamiento de datos de fotogrametrías de manera eficiente. La fotogrametría digital se entrelaza con la analítica.

Fotogrametría Aérea

La fotogrametría aérea implica el uso de dispositivos ubicados en el espacio, como satélites, para capturar imágenes. Estos dispositivos ofrecen alta calidad y precisión gracias a la buena resolución de sus cámaras. No se refiere a la acción humana directa para tomar ortofotos, sino al uso de mecanismos fotográficos avanzados.

Fotogrametría Terrestre

En la fotogrametría terrestre, los dispositivos fotográficos se encuentran a nivel del suelo y no se elevan en el aire. Esta técnica permite capturar imágenes detalladas de objetos y zonas desde la superficie terrestre.

Fotogrametría Digital

La fotogrametría digital combina tecnología, ciencia y arte. Utiliza software especializado para la captura, manipulación y procesamiento de imágenes tanto aéreas como terrestres. Sus cálculos se basan en funciones matemáticas y de geometría avanzadas, y la interpretación de las imágenes fotográficas y de modelos de energía electromagnética y radiante se considera un arte.

La fotogrametría digital adquirió su auge con la aparición de las computadoras y la inclusión de internet, que facilitó el trasiego de datos. La creación de programas informáticos para mejorar y facilitar el procesamiento de datos ha sido crucial en su desarrollo. Esta técnica permite obtener información geográfica precisa y rápida, lo que facilita la toma de decisiones en tiempo real, especialmente en casos de emergencia.[2]

Aplicaciones de la Fotogrametría

Para utilizar la fotogrametría, primero se debe diseñar un plan de vuelo y planificar las tomas. Las imágenes se procesan mediante programas que orientan las fotos para trabajar adecuadamente con ellas. A partir de estas imágenes se crean mapas topográficos, nubes de puntos, mallas o dibujos virtuales de la realidad, útiles para la impresión en 3D.[9,10]

La fotogrametría se utiliza en análisis sociológicos, sociodemográficos, cartografía, ortofotografía, arquitectura, agricultura y estudios de la cuenca visual, entre otros. Basada en fotografías de la realidad en tiempo real, proporciona datos precisos y confiables, útiles para estudios topográficos y de ubicación.[1]

La fotogrametría digital se auxilia de programas informáticos como los siguientes:

Agisoft Metashape

Este software contiene más herramientas. Inicia procesando imágenes digitales que se pueden exportar a otros SIG, o para distintos propósitos como patrimonio cultural, mediciones, efectos visuales, etc. La característica más importante es que puede medir distancias, volúmenes, mallas de dispersión, etc.

Solución de fotogrametría Pix4D

Este programa puede procesar y tomar imágenes. Pix4D se puede encontrar para móviles Android e iOS para el procesado de imágenes y el diseño de planes de vuelo de los drones. Algunas de las herramientas de Pix4D permiten analizar movimientos de tierras, optimización de imágenes, gestión de infraestructuras, nubes de puntos, modelos de elevación y muchísimos procesos más.

En la fotogrametría los avances tecnológicos van a incrementar el valor de esta técnica. Cabe recordar que hace unos pocos años las ortofotos se tenían que tomar con aviones, lo que incrementaba considerablemente el costo de estos procesos. Pero en los últimos años se han introducido los drones, lo que ha tendido a una disminución significativa en los costes.

Técnica SFM

La técnica Structure from Motion (SFM) es un método fotogramétrico automatizado de alta resolución y de bajo costo en comparación con otras técnicas. El método está fundamentado en los principios de la fotogrametría estereoscópica clásica, significa que la estructura en 3D se consigue superponiendo las imágenes ópticas capturadas en los distintos puntos de vista.[11]

Ahora bien, la SFM se origina en el campo de la visión artificial y el desarrollo de los algoritmos automáticos de correlación automática de imágenes (CAI). Se distingue en particular de la fotogrametría convencional, en que la geometría de la escena, las posiciones de cámara y la orientación y deformaciones de la misma se determinan usando cálculos computacionales.

La técnica SFM permite obtener un grupo de coordenadas XYZ, o nube de puntos 3D, con información adicional de los canales RGB. Esta información geométrica y óptica se puede utilizar para la extracción supervisada de parámetros que caractericen el relieve, o la detección de cambios entre adquisiciones llevadas a cabo en diferentes momentos de forma remota.[12]

Fotogrametría de Alta Resolución Espacial Utilizando el Método de Estructura de Movimiento (SfM) y Vehículos Aéreos no Tripulados

El método de estructura de movimiento (SFM, por sus siglas en inglés, Structure from Motion) brinda una alternativa relativamente económica si se compara con la LIDAR, para producir fotogrametría de alta resolución espacial, es una técnica de modelado en 3D que se basa en la capacidad de la visión humana para reconstruir estructuras tridimensionales a partir de imágenes 2D proyectadas en la retina.[13]

Este método genera una nube de puntos densa a partir de fotografías, la cual posteriormente es procesada para obtener un modelo topográfico (DTM) o un modelo de elevación digital (DEM). Mediante el uso de este método se reducen costos y la necesidad de un equipo especializado, ya que solo utiliza cámaras digitales comunes y paquete de procesamiento de imágenes automatizado, que puede ser de uso libre.[14]

La integración del método SFM con el uso vehículos aéreos no tripulados, representa una alternativa viable para la generación de fotogrametría de alta precisión. Los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés, *Unmanned Aerial Vehicles*, o VANT en español) son vehículos que pueden volar de forma autónoma, es decir, son piloteados de forma remota. Estos vehículos han evolucionado mucho desde la década pasada, en principio fueron utilizados casi exclusivamente con fines militares. Sin embargo, sus aplicaciones se han extendido en el campo de la geomática, y representan un gran avance para la colección de imágenes empleadas en el método SFM.

En el uso de vehículos aéreos no tripulados tenemos ventajas sobre los tripulados, en cosas como: bajo costo de operación, mayor seguridad, flexibilidad en la planeación y mayor proximidad al área que se desea fotografiar mejorando la resolución de datos para el método SFM.

El empleo de imágenes aéreas de alta resolución tiene aplicaciones importantes en campos como la geología, agricultura, hidrología, entre otros, pudiendo citarse como ejemplo, el monitoreo de la fenología de la vegetación, topografía de alta resolución espacial realizada en terrenos muy accidentados como el caso que nos ocupa y la caracterización de cuencas hidrológicas.[15]

El presente trabajo pretende integrar el uso de plataformas aéreas de bajo costo con el método de procesamiento de imágenes SFM para generar fotogrametría de alta resolución espacial y realizar la cartografía municipal del municipio San José de Ocoa, donde pudimos generar una Ortofoto con resolución GSD menor de 5 cm y un modelo de elevación del terreno con GSD de 30 cm.

Vehículos aéreos no tripulados

Los vehículos aéreos no tripulados, UAV por sus siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle), o sistemas aéreos no tripulados, UAS (Unmanned Aerial Sistem), conocidos en castellano por sus siglas VANT o drone, son vehículos aéreos que vuelan sin tripulación humana a bordo. Es correcto señalar que los primeros vehículos sin piloto se pusieron en uso en la Segunda Guerra Mundial, como aviones teledirigidos, ejemplo los bombarderos V1, y para el entrenamiento de los operadores de cañones antiaéreos. No obstante, el término VANT se introdujo a finales del siglo XX que se utilizó en las aeronaves que operadas con radio control, exhibiendo todas las características de la autonomía.

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) son la más reciente innovación que se integra a los vehículos aéreos convencionales

y a los satélites, en la captura de datos de percepción remota. Actualmente, estos vehículos son controlados de forma remota desde una estación en tierra por un operador, o programados por computadora, para mantener una ruta predeterminada a una altitud prefijada, de acuerdo al propósito de su vuelo.[16]

Su uso con propósitos comerciales, como la fotografía aérea y demás, ha ido en un ritmo sostenido de aumento, puesto que estos vehículos no tienen las limitaciones operativas de los pilotos, y pueden realizar misiones de riesgos o de alto grado de dificultad sin comprometer otra cosa que el propio artefacto volador, entonces estas actividades resultan bastante rentables.

Drones del Mercado para trabajos Fotogramétricos

La selección del mejor dron para levantamientos fotogramétricos depende de varios factores, como el presupuesto, la precisión requerida, la escala del proyecto y las condiciones del terreno. Aquí hay algunos de los mejores drones recomendados para levantamientos fotogramétricos, considerando su capacidad, precisión y fiabilidad:

DJI Phantom 4 RTK

- Características: Incorpora un sistema de posicionamiento RTK (Real Time Kinematic) que ofrece una precisión centimétrica. Tiene una cámara de 20 MP con un obturador mecánico.
- Ventajas: Alta precisión, fácil de usar, buena relación calidad-precio.
- Uso recomendado: Proyectos de mediana a gran escala.

DJI Matrice 300/350 RTK

- Características: Plataforma industrial con capacidad de cargar múltiples sensores, incluyendo cámaras fotogramétricas y sensores LIDAR. Sistema de posicionamiento RTK integrado.
- Ventajas: Versatilidad, robustez, capacidad para realizar misiones de largo alcance y en condiciones adversas.
- Uso recomendado: Proyectos grandes y complejos, condiciones difíciles.[17]

senseFly eBee X

- Características: Ala fija con opciones de cámara intercambiables, incluyendo cámaras fotogramétricas de alta resolución. Tiempo de vuelo de hasta 90 minutos.
- Ventajas: Cobertura de grandes áreas en menos tiempo, alta precisión.
- Uso recomendado**:** Grandes levantamientos topográficos, proyectos agrícolas y de monitoreo ambiental.

Parrot Anafi USA

- Características: Cámara de 32x zoom, cámara térmica y sistema GNSS para posicionamiento preciso.
- Ventajas: Compacto, ligero, buena relación calidad-precio.
- Uso recomendado: Levantamientos en áreas urbanas, misiones de búsqueda y rescate.

WingtraOne

- Características: Dron de despegue y aterrizaje vertical (VTOL) con capacidades para llevar cámaras de alta resolución. Cobertura de hasta 400 hectáreas por vuelo.
- Ventajas: Capacidad de cubrir grandes áreas rápidamente, precisión y eficiencia.
- Uso recomendado: Proyectos a gran escala, levantamientos de terrenos extensos.

Trimble UX5 HP

- Características: Ala fija con cámara de alta resolución y sistema GNSS para posicionamiento preciso.[17]
- Ventajas: Precisión, capacidad para vuelos largos.
- Uso recomendado: Levantamientos topográficos detallados, proyectos de infraestructura.

Los Tipos de DRONES O VANT que existen en la actualidad para trabajos Fotogramétricos

Existen varios tipos de drones utilizados para fines fotogramétricos, cada uno con características específicas que los hacen adecuados para diferentes tipos de proyectos. Los principales tipos de drones para levantamientos fotogramétricos son:

Drones de Ala Fija:

- Características: Tienen una estructura similar a los aviones convencionales, con alas fijas que proporcionan sustentación.
- Ventajas: Mayor autonomía de vuelo, capacidad de cubrir grandes áreas en menos tiempo, eficiente consumo de energía.
- Desventajas: Requieren espacio para despegar y aterrizar, generalmente más caros.
- Ejemplos: senseFly eBee X, Trimble UX5 HP, WingtraOne.

Drones de Ala Rotatoria (Multirrotores):

- Características: Equipados con múltiples rotores (generalmente de 4 a 8), lo que les permite despegar y aterrizar

verticalmente.[18]

- Ventajas: Capacidad de vuelo estacionario, mayor maniobrabilidad, fáciles de operar en áreas restringidas.
- Desventajas: Menor tiempo de vuelo y cobertura en comparación con los drones de ala fija.
- Ejemplos: DJI Phantom 4 RTK, DJI Matrice 300/350 RTK, Parrot Anafi USA.

Drones de Ala Fija con Despegue y Aterrizaje Vertical (VTOL):

- Características: Combinan las características de los drones de ala fija y multirrotores, pudiendo despegar y aterrizar verticalmente, pero volar como un ala fija.
- Ventajas: Versatilidad de operación, capacidad de cubrir grandes áreas, no requieren grandes espacios para despegar y aterrizar.
- Desventajas: Generalmente más complejos y costosos.
- Ejemplos: WingtraOne, Quantum Systems Trinity F90+.

Drones Híbridos:

- Características: Combinan elementos de diferentes tipos de drones, como alas fijas y rotatorias, o capacidades VTOL con alas fijas.
- Ventajas: Versatilidad y flexibilidad en diferentes tipos de misiones.
- Desventajas: Pueden ser más complejos de operar y mantener.
- Ejemplos: Delair DT26X, Skyfront Perimeter.[18]

Geodesia

El término Geodesia, del griego γη ("tierra") y δαιζω ("dividir") fue usado inicialmente por Aristóteles (384-322 a. C.) y puede significar, tanto "divisiones geográficas de la tierra", como también el acto de "dividir la tierra", por ejemplo, entre propietarios. La Geodesia es, al mismo tiempo, una rama de las Geociencias y una Ingeniería.

El matemático, astrónomo y geógrafo griego Eratóstenes de Cirene (276 a.C a 194 a.C.) fue quien estimó por primera vez la circunferencia de la tierra, obteniendo un radio de 6 267 km. Bastante similar al cálculo moderno de 6 378 kilómetros considerando las limitaciones de la época.

La geodesia es una de las ciencias más antiguas cultivada por el hombre. Su objetivo es el estudio y determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, de su campo de gravedad, y sus variaciones temporales. Se trata de una ciencia fundamentada en la física y en las matemáticas, cuyos resultados constituyen la base geométrica para otras ramas del conocimiento geográfico, como son la topografía, la cartografía, la fotogrametría, la navegación, así como ingenierías de todo tipo o para fines militares y programas espaciales.[19]

También guarda relación con la astronomía y la geofísica. Esta ciencia se divide fundamentalmente en dos partes:

- La geodesia superior o geodesia propiamente dicha, dividida entre geodesia física y matemática, trata de determinar y representar la figura de la Tierra en términos globales.
- La geodesia práctica o topografía, estudia y representa partes menores de la Tierra donde la superficie puede ser considerada plana. La geodesia es básica en la determinación de la posición de los puntos en la superficie de la Tierra y una de sus mayores utilidades, desde un punto de vista práctico, es que mediante sus técnicas es posible representar cartográficamente territorios muy extensos.

Trata del levantamiento y de la representación de la forma y de la superficie de la Tierra, global y parcial, con sus formas naturales y artificiales. La Geodesia también es usada en matemáticas para la medición y el cálculo sobre superficies curvas. Se usan métodos semejantes a aquellos usados en la superficie curva de la Tierra. La Geodesia proporciona, con sus teorías y sus resultados de mediciones y cálculos, la referencia geométrica para las demás geociencias como también para la geomática, los Sistemas de Información Geográfica, el catastro, la planificación, la ingeniería, la construcción, el urbanismo, la navegación aérea, marítima y terrestre, entre otros e, inclusive, para aplicaciones militares y programas espaciales.

La geodesia superior o geodesia teórica, dividida entre la geodesia física y la geodesia matemática, trata de determinar y representar la figura de la Tierra en términos globales; la Geodesia Inferior, también llamada geodesia práctica o topografía, levanta y representa partes menores de la Tierra donde la superficie puede ser considerada plana. Para este fin, podemos considerar algunas ciencias auxiliares, como es el caso de la cartografía, de la fotogrametría, del cálculo de compensación y de la Teoría de Errores de observación, cada una con diversas subáreas.

Además de las disciplinas de la Geodesia científica, existe una serie de disciplinas técnicas que tratan problemas de la organización, administración pública o aplicación de mediciones geodésicas, p.e. la Cartografía sistemática, el Catastro inmobiliario, el Saneamiento rural, las Mediciones de Ingeniería y el geoprocesamiento.[20]

Geodesia Teórica

La observación y descripción del campo de gravedad y su variación temporal, actualmente, es considerada el problema de mayor interés en la Geodesia teórica. La dirección de la fuerza de gravedad en un punto, producido por la rotación de la Tierra y por la masa terrestre, como también de la masa del Sol, de la Luna y de los otros planetas, y el mismo como la dirección de la vertical (o de la plomada) en algún punto. La dirección del campo de gravedad y la dirección vertical no son idénticas. Cualquier superficie

perpendicular a esta dirección es llamada superficie equipotencial.

Una de estas superficies equipotenciales (el Geoide) es aquella superficie que más se aproxima al nivel medio del mar. El problema de la determinación de la figura terrestre es resuelto para un determinado momento si es conocido el campo de gravedad dentro de un sistema espacial de coordenadas. Este campo de gravedad también sufre alteraciones causadas por la rotación de la Tierra y también por los movimientos de los planetas (mareas).

Conforme el ritmo de las mareas marítimas, también la corteza terrestre, a causa de las mismas fuerzas, sufre deformaciones elásticas: las mareas terrestres. Para una determinación del geoide, libre de hipótesis, se necesita en primer lugar de mediciones gravimétricas -además de mediciones astronómicas, triangulaciones, nivelaciones geométricas y trigonométricas y observaciones por satélite (Geodesia por Satélite).

Geodesia Física

La mayor parte de las mediciones geodésicas se aplica en la superficie terrestre, donde, para fines de determinaciones planimétricos, son marcados puntos de una red de triangulación. Con los métodos exactos de la Geodesia matemática se proyectan estos puntos en una superficie geométrica, que matemáticamente debe ser bien definida. Para este fin se suele definir un Elipsoide de rotación o Elipsoide de referencia. Existe una serie de elipsoides que antes fueron definidos para las necesidades de apenas un país, después para los continentes, hoy para el Globo entero, en primer lugar, definidos en proyectos geodésicos internacionales y la aplicación de los métodos de la Geodesia de satélites. Además del sistema de referencia planimétrica (red de triangulación y el elipsoide de rotación), existe un segundo sistema de referencia: el sistema de superficies equipotenciales y líneas verticales para las mediciones altimétricas.

Según la definición geodésica, la altura de un punto es la longitud de la línea de las verticales (curva) entre un punto P y el geoide (altura geodésica). También se puede describir la altura del punto P como la diferencia de potencial entre el geoide y aquella superficie equipotencial que contiene el punto P. Esta altura es llamada de Cota Geopotencial. Las cotas geopotenciales tienen la ventaja, comparándolas con alturas métricas u ortométricas, de poder ser determinadas con alta precisión sin conocimientos de la forma del geoide (Nivelación). Por esta razón, en los proyectos de nivelación de grandes áreas, como continentes, se suelen usar cotas geopotenciales, como en el caso de la compensación de la "Red única de Altimetría de Europa".

En el caso de tener una cantidad suficiente, tanto de puntos planimétricos, como también altimétricos, se puede determinar el geoide local de aquella área. El área de la Geodesia que trata de la definición local o global de la figura terrestre generalmente es llamada de Geodesia Física, para aquella área, o para sus sub-áreas. También se usan términos como Geodesia dinámica, Geodesia por satélite, Gravimetría, Geodesia astronómica, Geodesia clásica, Geodesia tridimensional.[20]

Geodesia Geométrica

Determina la forma y dimensiones de la tierra en su aspecto geométrico y la determinación de coordenadas de punto en su superficie

Astronomía geodésica

Para determinar las coordenadas en la superficie terrestre a partir de mediciones a los astros.

Geodesia Espacial

Con ésta podemos determinar las coordenadas a partir de mediciones ejecutadas por satélites artificiales (GNSS, GPS, DORIS, etc.) y la relación con la definición de sistemas de referencia.

Microgeodesia

Nos permite medir las deformaciones de obra civil o extensiones de terreno a través de técnicas geodésicas de alta precisión.

Importancia de la Geodesia

Con los instrumentos GNSS de alta precisión se pueden obtener mediciones que utiliza la geodesia para registrar movimientos milimétricos en periodos de tiempo prolongados, lo cual permite detectar pequeños movimientos y cambios en la tierra que podrían representar un peligro inminente.

Tomando esto en cuenta, es correcto señalar que la importancia de esta información sirve para ponderar, revisar, realizar o determinar usos tan variados como se describe a renglón seguido:

Daños por terremoto. Debido a que puede cuantificar la ruptura de la superficie del suelo e identifica los posibles peligros futuros que pueden ocasionarse con el desprendimiento de tierra o rocas.

Deformaciones Volcánicas. Estudia la estructura debajo de la superficie terrestre, por lo que le es posible predecir erupciones volcánicas.

Gravedad. Mide la gravedad de la superficie terrestre y establece la atracción gravitacional, los que son utilizados para establecer el nivel global del mar.

Catastro Multipropósito. Determina la ubicación, extensión y orientación de los predios, proporcionando información precisa del territorio, favoreciendo así la mejora de las políticas públicas con relación al incremento del acceso al derecho de la propiedad de la población.

Planes de Ordenamiento Territorial. Proporciona información precisa para el análisis del proceso de transformación del territorio

y la determinación de los límites y restricciones del orden.

Medio Ambiente. Apoya el monitoreo de las **áreas** de interés ambiental para el establecimiento de procesos de identificación y delimitación para el desarrollo territorial sostenible.[21]

Cartografía

Palabra procedente del latín charta, que se traduce como «mapa», y el sufijo –grafía, que deriva del griego graphein que significaba «escribir».

La cartografía es la ciencia que se encarga del trazado y el estudio de mapas geográficos. Sus orígenes, aunque bastante antiguos, no pueden precisarse con exactitud, porque la definición de mapa ha ido cambiando con el transcurrir de los años.

Antiguamente, los trazados se realizaban sobre la tierra, mientras que en la actualidad se utilizan tecnologías satelitales. Varias fuentes señalan que Tales de Mileto fue el responsable de la creación de la primera representación cartográfica del planeta Tierra. Y que Aristóteles, fue el primero en calcular la inclinación angular de la Tierra con respecto al Ecuador.

Diversos murales y grabados que datan de varios milenios antes de nuestra era se consideran como los primeros mapas y, por ello, las primeras evidencias de la cartografía. Los griegos, los romanos, los chinos, los árabes y los indios constituyen algunas de las civilizaciones que desarrollaron mapas en la antigüedad. Concretamente se ha señalado como primera cartografía una pintura mural denominada «La casa del almirante». Que se caracteriza por haber sido realizada a lo interno de una comunidad que vivía en una zona costera en el año 1600 a.C.

A lo largo de la Historia han existido otros muchos ejemplos cartográficos que fueron importantes en su oportunidad y hoy están considerados auténticas joyas, como el mapa de la antigua ciudad sumeria de Nippur, que, según los estudios llevados a cabo, pertenecería al periodo comprendido entre los siglos XVI y XII a.C. Mapas chinos elaborados en seda datados en el siglo II a.C., descubiertos en unas excavaciones que se hicieron en la década de los años 70 en la zona de Mawangdui. Antiguas cartografías hechas en la India, con distintivas constelaciones como la Osa Polar. Tabula Rogeriana. Son un conjunto de cartografías del árabe Muhammad al-Idrisi, en el año 1154, cuyos temas son África y la zona del Océano Índico.[22]

Tipos de Cartografía.

La cartografía puede dividirse en dos grandes tipos: cartografía general **y** cartografía temática**.** La cartografía general se encarga de la producción de mapas dirigidos al público más amplio, con diversas referencias, ejemplo un mapamundi o el mapa de un país.

La cartografía temática, en cambio, se especializa en mapas de temas específicos, como los cultivos de maíz en una provincia, o los barrios donde predomina la población latina en Nueva York.

Otra distinción puede realizarse entre los mapas topográficos (que reflejan la elevación del terreno) y los mapas topológicos (mapas simplificados que no se fijan en los detalles geográficos o de escala, sino en la información que difunden).

Mapa

El concepto de mapa proviene del término latino mappa. Es un dibujo o esquema que representa una franja de un territorio sobre una determinada superficie de dos dimensiones.

Los mapas permiten que una persona se ubique en un territorio. De esta manera, un hombre que llega por primera vez a Santo Domingo, puede tener un mapa con las calles y los sitios de interés de la capital para no extraviarse.

Los primeros mapas eran cartas planas (las latitudes se representaban con escala constante como si la Tierra fuera plana). La invención de dispositivos como la brújula y el cuadrante contribuyeron a la creación de mapas más exactos. La tecnología ha tenido un rol muy importante en el avance de la cartografía. Desde el telescopio hasta los escáneres, pasando por los satélites y las computadoras, numerosos inventos ayudaron a mejorar el trazado y análisis de mapas.

Los cartógrafos utilizan símbolos **y** colores para ofrecer la mayor cantidad posible de información con claridad. La cantidad de datos, está determinada por la escala que se elige a la hora de la representación, en la medida en que el espacio para representar una región sea más grande, con mayor amplitud tendremos la cantidad de datos.

Mapas del Tiempo

Existen muchos tipos de mapas, de acuerdo a lo que nos quieran mostrar y según el objetivo que persigan cubrir. De uso cotidiano son los mapas del tiempo, que son unos documentos en los que se representan los fenómenos meteorológicos, los frentes y la presión que van a primar en un período de tiempo determinado, en una zona concreta del mundo. Con este mapa podemos conocer sobre las temperaturas y las condiciones climatológicas que se darán en nuestra ciudad, como los que presentan los telediarios.

Otros Tipos de Mapas

Otra clase de mapas se emplea en el ámbito educativo por el docente, con el fin de lograr que sus alumnos aprendan de manera más clara y sencilla un tema que se esté abordando en clase.

Otros muy importantes son los mapas conceptuales, los que constituyen una especie de resumen, de unión de conceptos, que permiten que los estudiantes comprendan mucho mejor y de forma esquemática lo que se está enseñando. También tenemos los mapas didácticos que tienen una misión instructiva y pedagógica.[23]

Dentro de esta misma línea estarían los mapas históricos que son aquellos que se utilizan para dar a conocer una serie de acontecimientos y de hechos históricos de gran relevancia.

Cartografía Digital

Es la ciencia que se ocupa de la digitalización, almacenamiento, recuperación y representación de mapas geográficos. Abarca el uso de tecnologías en cartografía y aplicaciones geoespaciales. Los avances tecnológicos han aumentado significativamente su relevancia y la aplicación de técnicas en Geografía, Topografía, Geoprocesamiento, etc.

El objetivo de esta ciencia es proporcionar mapas estéticos y geográficos de alto detalle y precisión, para su uso en diversas áreas del conocimiento. La cartografía digital ha crecido significativamente en los últimos años, ya que con el avance del análisis de datos y la inteligencia artificial cada vez es más fácil recopilar y analizar la información más diversa sobre un área de interés.

Algunos de los principales mapas producidos con esta tecnología son mapas de relieve, ortomosaicos, nubes de puntos, curvas de nivel, imágenes aéreas, mapas vectorizados y mapas de superficie terrestre. Estos mapas brindan información importante para muchas áreas, como la planificación estratégica, el análisis de datos y la identificación de tierras.

La cartografía digital que proporciona herramientas fundamentales para ayudarnos a comprender el mundo que nos rodea. Tiene la capacidad de organizar y proporcionar información visual y geoespacial de manera rápida y eficiente, lo que permite a los profesionales de la topografía y la ingeniería tomar decisiones precisas y confiables.

Es parte fundamental de la comunicación en varios proyectos, permitiendo a las personas involucradas seguir su evolución y compartir información en tiempo real. Ayuda a generar una mejor comprensión de los datos geográficos y proporciona una representación visual de esos datos, lo que facilita la creación de modelos para el análisis.

La cartografía digital también es imprescindible para el desarrollo de mapas geográficos que brindan información detallada sobre las características del terreno, como el relieve, la densidad de la vegetación, las fuentes de agua y otras características naturales.

Estos mapas sirven para planificar estrategias de desarrollo urbano y rural y también brindan información sobre recursos naturales y áreas de riesgo.

Es correcto inferir que la cartografía digital es de gran importancia para disciplinas como topografía, ingeniería civil, agricultura, minería, ingeniería ambiental y energía solar. Como proporciona información para el desarrollo de cualquier proyecto, tiene un papel primordial en la planificación urbana de las ciudades, el seguimiento y conservación de las áreas de preservación ambiental, la creación de plantas solares y muchas áreas más.

La cartografía digital ofrece numerosas ventajas en la obtención de datos visuales y georreferenciados, seguimiento, medición de áreas, cálculo de distancias y análisis de altimetría. El uso de mapas digitales mejora la precisión de la información, aumentando la efectividad en la toma de decisiones.

La cartografía digital también contribuye a la verificación de patrones geográficos, lo que proporciona una mayor comprensión del entorno local. También permite crear mapas más detallados y fáciles de actualizar, lo que permite una gestión eficaz de los datos geoespaciales.[24]

Con la cartografía digital es posible producir una serie de mapas de forma ágil e intuitiva, como los ortomosaicos, modelos digitales del terreno, curvas de nivel, nubes de puntos, mapas de calor y modelos 3D.

Todos estos productos son esenciales para monitorear y analizar datos geográficos, así como para obtener información visual. La cartografía digital también permite la interacción entre usuarios y productos, proporcionando una base de datos sobre el área de interés que puede ser manipulada en software como ArcGIS Pro, QGIS, AutoCAD, Civil 3D, entre otros.

El potencial y los objetivos de cada uno de los productos de cartografía digital, puede verse en temas como el ortomosaico, que es un mapa digital compuesto por una cantidad de ortofotos unidas y superpuestas de una determinada zona, algo similar a un rompecabezas. Es una herramienta poderosa que proporciona información visual georreferenciada. O sea que cada foto que compone el ortomosaico tiene los datos de geolocalización haciendo más fácil el tomar medidas y recopilar puntos de interés. para generar un ortomosaico hay que procesar las imágenes del dron en un software especializado.

El modelo digital de terreno (MDT) y el modelo digital de superficie, crean representaciones de datos de altimetría para un área de interés. Cada uno, utiliza diferentes filtros para representar los datos de elevación del terreno. O sea que, mientras el modelo digital de superficie representa la altimetría del suelo y todos los elementos que se encuentran sobre él, como edificaciones y árboles, el MDT excluye estos objetos y solamente representa variaciones en las cotas del terreno. Ambos archivos MDT y MDS resultan del procesamiento automático de imágenes a partir del mapeo con drones.

Cuando cada línea de contorno conecta varios puntos de la misma altura en un terreno, se forma una curva de nivel. Éstas son líneas dispuestas en paralelo que permiten generar la visualización de los niveles de altitud de un terreno y las posibles irregularidades en su superficie.

Las curvas de nivel proporcionan una vista tridimensional del perfil topográfico del área estudiada. Por esto es fácil identificar características del terreno como áreas montañosas, pendientes, diferencias de altitud en el terreno, puntos de salida, entre otros.

La nube de puntos es capaz de recrear superficies y estructuras a través de un gran grupo de puntos georreferenciados, como ocurre con otros mapas, estos datos se obtienen mediante mapeo con drones y procesamiento de imágenes. A través de esta nube es posible obtener diversa información como elevación, profundidad y ubicación. Y como cada punto representa una pequeña porción de información, cuanto más densa sea la nube, más cerca se estará de la realidad. En otras palabras, cuantos más puntos = más información.

El modelo 3D se crea a partir de la nube de puntos como base, a través de su renderizado es mucho más fácil generar una vista completa del área que nos interese. Algunos profesionales utilizan este mapa para seguir la evolución de las construcciones, para presentar proyectos y también pueden servir para predecir sombras en paneles solares. Este tipo de producto se puede manipular en software como Cinema 4D, Global Mapper, Revit y Wavefront.

Las herramientas adecuadas para la cartografía digital ofrecen la mejor calidad de imagen, velocidad de carga y presentación. Entre

las dos tecnologías principales para crear productos cartográficos digitales se encuentran el mapeo con drones y el procesamiento de imágenes en la nube.

Con estas dos herramientas obtener resultados magníficos de mapas de una manera intuitiva, ágil y precisa a un costo más asequible que otras alternativas. Sólo hay que seguir los tres pasos siguientes: Vuelo de mapeo aéreo con drone, Procesamiento de imágenes de drones y manipulación y análisis de los datos obtenidos.

Aunque podría usarse Google Maps, sus imágenes suelen estar desactualizadas o no tener la calidad de imagen ideal. Por ello, es imprescindible utilizar un software diseñado para la cartografía digital. La cartografía digital permite el acceso a importantes datos geográficos que se pueden utilizar para crear mapas interactivos, ofreciendo la oportunidad de extraer información relevante.

Para extraer los datos y utilizarlos como base para algún proyecto, cargamos los mapas en un software que acepte la extensión de archivo generada. Por ejemplo, los modelos ortomosaicos, de contorno y de terreno digital se pueden manipular en QGIS o AutoCAD.

Es bueno señalar que existen diversas posibilidades, pudiéndose consultar una lista completa de 8 software compatibles con todos los productos cartográficos vistos hasta el momento.

Los mapas generados con cartografía digital son muy versátiles y tienen diversas aplicaciones, por lo que es muy importante tener en cuenta las necesidades y objetivos que se persigan.

Sistemas de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas.

El objetivo de SIG consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente.

Los mapas representan colecciones lógicas de información geográfica como capas.

Constituyen una manera eficaz de modelar y organizar la información geográfica en forma de capas temáticas. Asimismo, los mapas SIG interactivos ofrecen la interfaz de usuario principal con la que se utiliza la información geográfica.

Los mapas, tanto en formato interactivo como impreso, desempeñan un papel especial en un SIG. Los mapas son una pieza central del funcionamiento de SIG.

Existe un nuevo tipo de mapa, el mapa SIG, que es mucho más que una presentación cartográfica estática. Un mapa SIG es una ventana interactiva a toda la información geográfica y datos descriptivos, y a ricos modelos de análisis espacial creados por expertos de SIG.

Los mapas SIG se usan para dar a conocer y compartir el SIG, compilar y mantener el contenido del SIG, diseñar y organizar la información geográfica por medio de capas temáticas, obtener nueva información mediante geoprocesamiento y, posteriormente, visualizar, resumir, analizar, comparar e interpretar los resultados analíticos, compartir la información geográfica para su uso en la Web.

Los mapas son una pieza central del funcionamiento de SIG. En un SIG, el mapa es la interfaz. A continuación, se ofrecen algunos ejemplos que ilustran cómo se utilizan los mapas SIG en diferentes organizaciones.[25]

Los mapas SIG se emplean para la comunicación y la comprensión

Los mapas se utilizan para comunicar y transmitir grandes cantidades de información de una forma organizada. Los humanos pensamos espacialmente, por lo que, al ver un mapa, podemos asociar ubicaciones del mapa con fenómenos del mundo real e interpretar y captar información esencial entre infinidad de contenido detallado mostrado en cada visualización de mapa.

Los mapas SIG como Herramientas para Identificar Patrones

Los mapas se utilizan para descubrir e investigar patrones, como pueden ser las características de una población dentro de una ciudad o las migraciones de los antílopes entre sus hábitats de invierno y de verano. En SIG, se usan mapas interactivos on-line para comparar informes de datos de diversas entidades y los cambios que se producen en los fenómenos a lo largo del tiempo.

Los mapas transmiten patrones de forma visual, por ejemplo, un mapa muestra la distribución por edades de las poblaciones de diferentes partes del sur de República Dominicana. Los colores más oscuros representan las áreas con unas poblaciones de mayor edad. Puede hacer clic en una entidad del mapa para mostrar la distribución por edades del grupo de bloque seleccionado. De esta forma, utiliza el mapa como ventana a grandes conjuntos de información geográfica y tabular. Los mapas SIG brindan informes interactivos de la información subyacente en el mapa.

Este es un punto clave. Los mapas SIG proporcionan informes interactivos de la información subyacente, no solamente listas de atributos, sino gráficos, informes, fotografías y prácticamente cualquier contenido relevante (por ejemplo, un vínculo a un sitio Web). Definir cómo se informa de las entidades y a qué se ingresa a través de una entidad de mapa es una de las especificaciones esenciales que se deben diseñar y capturar cuando se crea un mapa SIG. Los mapas SIG combinan una eficaz visualización con un potente marco de análisis y modelado.

Los Mapas SIG Permiten Obtener Nueva Información Mediante el Análisis

El mapa SIG se convierte en una ventana a resultados analíticos muy completos. Se usa fundamentalmente para ingresar a modelos de análisis y ejecutarlos, además de mostrar sus resultados como una nueva capa de mapa. El análisis está relacionado con

trabajar con resultados de un modelo y evaluarlos. Se realiza empleando los mismos tipos de capacidades de informe, visualización y animación de entidades descritas anteriormente.

Un mapa térmico puede mostrar la criminalidad. Por ejemplo, que los colores más cálidos representen la mayor incidencia de delitos. Otro mapa puede mostrar las predicciones de brotes de malaria en África, donde los colores más oscuros representen una mayor densidad prevista de casos de la enfermedad.

Se puede tener un mapa que muestre tres rutas utilizadas para optimizar el tiempo de viaje entre las paradas para tres vehículos de una flota. Por lo general, las organizaciones que utilizan análisis de redes para optimizar rutas de sus vehículos, pueden tener un ahorro del 20 % o más en sus costos de entrega anuales.

El análisis espacial es uno de los aspectos más interesantes y destacables de SIG. Con él, los usuarios de SIG pueden combinar información de numerosos orígenes independientes y obtener grupos completamente nuevos de datos (resultados), mediante la aplicación de un conjunto amplio y sofisticado de operadores espaciales. Los profesionales de SIG emplean el geoprocesamiento para programar sus propias ideas con el fin de obtener estos resultados analíticos. A su vez, estos resultados se aplican a una gran variedad de problemas.

Los Mapas SIG se Emplean para dar a Conocer y Notificar Estados

En la Web, los mapas pueden usarse para comunicar un estado y mantener a los equipos al día de los eventos. La información SIG es dinámica y, en el caso de muchas capas, se actualiza con frecuencia. Los mapas dinámicos constituyen un método eficaz para que todo el mundo tenga una visión común de la última información.[24]

Una aplicación muy común de SIG es el uso de paneles operacionales que presentan fuentes de datos y el estado de un grupo de actividades en particular. Las capas de información en los paneles van destinadas a un público específico y a sus necesidades operacionales, y les permiten trabajar de manera más eficaz y con mayor capacidad de respuesta.[25]

Los mapas permiten compilar y editar entidades y otros datos, que se administran y mantienen en geodatabases. Principalmente, el mapa se usa para incluir los datos en el SIG. Los mejores mapas SIG para edición presentan los tipos específicos de entidades que se desean agregar a los mapas, además de propiedades de atributos y herramientas de edición relevantes.

ArcGIS permite a los usuarios definir y compartir estas propiedades de edición como parte de un diseño de capas.

Los mapas ayudan a comunicar ideas, planes y alternativas de diseño. La eficaz visualización en capas, combinada con informes de entidad interactivos, constituye un importante mecanismo para visualizar, comunicar y comprender diversas alternativas.[26]

Los mapas resultan muy efectivos y útiles para mostrar informaciones geográficas. Los mapas de calidad ayudan a los usuarios de SIG a dar a conocer y compartir la información geográfica.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.
Redacción – borrador inicial: Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.
Redacción – revisión y edición: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Escuela Artesanía y Oficios, Italia. Qué es Fotogrametría. 2024. https://escuelaartesania.com/que-es-fotogrametria/

2. Delgado García, Jorge. Fotogrametría Digital. Universidad de Jaén. https://coello.ujaen.es/Asignaturas/fotodigital/descargas/FD_tema1.pdf

3. Buill Pozuelo, Felipe; Núñez Andrés, M. Amparo; Ruiz Carulla, Roger; Lantada Zarzosa, Nieves. Influencia de los Modelos 3D en la Determinación de Familias de Discontinuidades en Maciozos Rocosos. 2021. https://georisk.upc.edu/es/shared/2021/20211115_articulo_geoeuskadi2021_buill_et_al.pdf

4. Regueiro-Picallo, M et al. Topografía de un Modelo físico de drenaje a partir de la técnica. Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA). 2018. https://www.revistahidrolatinoamericana.com/_files/ugd/d728aa_1cda10437fa9468cb82a6d88d62ba1c0.pdf?index=true

5. Lalangui Jaramillo,Yandri José; Zárate Torres, Belizario Amador. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. Evaluación del modelo digital de terreno obtenido mediante técnicas de fotogrametría con VANT y con técnicas GNSS aplicados a proyectos viales en zonas de mediana vegetación. 2020

6. Chaudhry, Muhammad Hamid et al. Geoformation Faculty of Built Environment & Surveying, Universiti Teknologi Malaysia.

2020. https://www.mdpi.com/2220-9964/9/11/656

7. Urban Design Lab. GIS as a tool for Urban Planning. 2022. https://urbandesignlab.in/gis-as-a-tool-for-urban-planning

8. Li, Qiuxi; Deliberty, Tracy. Integrating drones, participatory mapping and GIS to enhance resiliency for remote villages. 2022. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tgis.12886

9. Jha A, Chandra Gupta N, Dey B. Morphometric Analysis of Gandak River Drainage Basin Using Geographic Information System (GIS) And SRTM-DEM. Salud, Ciencia y Tecnología 2022;2:189. https://doi.org/10.56294/saludcyt2022189

10. Abood MY, Aljanabi KR, Sayl K. Abood MY, Aljanabi KR, Sayl K. Using GIS Tools for the Prediction of Bearing Capacity of shallow footing (qu)and Undrained Shear Strength (Su) values for Falluja City's Soils. Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias. Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias 2024;3:843. https://doi.org/10.56294/sctconf2024843

11. Jover, Roberto Tomás et al. Structure from Motion (SfM). 2016. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6459555

12. Vélez Duque P, Centanaro Quiroz P, Juan Javier Martillo JJM, Alvarado Barzallo A. Preparation of a thematic map of agroecological crops using Google Earth. Salud, Ciencia y Tecnología 2024;4:1018. https://doi.org/10.56294/saludcyt20241018

13. Pacheco, Henry et al. Uso de un Vehículo Aéreo no Tripulado como Alternativa para Generar Información Topográfica. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. 2023. https://www.redalyc.org/journal/5722/572273150005/html

14. Acosta, Guillermo et al. El Empleo de Fotogrametreía Mediante Vehículos Aéreos no tripulados (VANT/dron) como Herramienta de Evaluación del Patrimonio /en Riesgo, Chinampas Arqueológicas de Xochimilco. México. 2017. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6880003

15. García Vinces JJ, Ross Lopera CU, Solórzano Villegas LE. Research trends related to road innovation in civil construction of public spaces. Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias 2024;3:1328. https://doi.org/10.56294/sctconf20241328

16. Ojeda-Bustamante, Waldo, et al. Aplicaciones de los Vehículos Aéreos no Tripulados en la Ingeniería Hidroagrícola. Scielo Tecnología y Ciencias del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2017. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000400157

17. Iaerocol. ¿Fotogrametría con Drones? Estos son los Mejores Drones. Colombia. 2021. https://iaerocol.co/blog/fotogrametria-con-drones-los-mejores-drones-aqui

18. Uav Latam. Tipos de Drones para Topografía. Panamá. 2023. https://uavlatam.com/tipos-de-drones-para-topografia

19. Pérez Porto et al. Geodesia Qué es, Definición y Concepto. 2019. https://definicion.de/geodesia/

20. Aguirre Sánchez, C. Geodesia. 2023. https://www.slideshare.net/slideshow/geodesiapptx- 255580353/255580353

21. OCW UPCT. Introducción a la Geodesia. Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia. 2001. https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/10143/mod_resource/content/4/unidad_didactica_1.pdf

22. Docentes digitalestv.org. La Cartografía Características e Importancia Para los Humanos. 2023. https://docentesdigitalestv.org/2023/02/02/la-cartografia-caracteristicas-e-importancia-para-los-humanos

23. Dávila, A. La Cartografía Temática. Geoportal IGM. Ecuador. 2018. https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/wp-content/uploads/filebase/art%C3%ADculos_t%C3%A9cnicos/cartografia-tematica.pdf

24. Galbán, EM. La cartografía en la Era Digital: Desarrollo y Perspectiva. Universidad Nacional de Luján. Argentina. 2018. https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/REDIUNLU_bc804bf616fbfd875935825e0afbfcc6

25. García, P. ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?. Geoinnova. 2021. https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/

26. Alonso Sarría, F. Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Murcia. España. 2015. https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf