South American Publishing

SAP Land and Architecture. 2026; 5:259
doi: 10.56294/la2026259

ORIGINAL

Municipal map model for the Dominican Republic, using drone-based digital photogrammetry and GIS. Case study: San José de Ocoa urban area

Modelo Cartográfico Municipal para República Dominicana, Utilizando Fotogrametría Digital VANT y Sistemas de Información Geográfica; caso: Casco Urbano del Municipio San José de Ocoa

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. Municipal map model for the Dominican Republic, using drone-based digital photogrammetry and GIS. Case study: San José de Ocoa urban area. SAP Land and Architecture. 2026; 5:259. https://doi.org/10.56294/la2026259

Publication History
Submitted: 29-12-2024
Revised: 01-05-2025
Accepted: 05-11-2025
Published: 01-01-2026

Corresponding Author
Pedro Enrique Sosa Veras

ABSTRACT

Updating urban cartography is essential for territorial development planning and management in the Dominican Republic, where municipalities lack Geographic Information Systems (GIS) that detail local productive components. To address this need, a municipal cartographic model was proposed using digital photogrammetry with a UAV and GIS, focusing on the municipality of San José de Ocoa. The study area was delimited using Google Earth satellite images and a flight was conducted with a Phantom 4 RTK drone, employing RTK/PPK techniques to ensure the accuracy of the geographic coordinates. GNSS observations were stored in RINEX 3,02 format for possible subsequent adjustments. Nine flights were conducted, obtaining 4 985 georeferenced photos with accuracies of less than 2 cm. Image processing was performed in three stages using Agisoft Metashape, generating digital terrain models and contour lines with Global Mapper. Subsequently, urban map elements, such as buildings and street axes, were vectorized using Civil 3D and orthophotos as reference. The result was a georeferenced plan including the footprints of buildings and bodies of water, exported in shapefile format. Finally, the cartography was validated by a walk through the municipality, updating the vectorized information with data from the UAV survey.

Keywords: Cartographic Mosaic; Photogrammetry; UAV (Unmanned Aerial Vehicle); GIS (Geographic Information System); Municipality.

RESUMEN

La actualización de la cartografía urbana es esencial para la planificación y gestión del desarrollo territorial en República Dominicana, donde los municipios carecen de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que detallen los componentes productivos locales. Para abordar esta necesidad, se propuso un modelo cartográfico municipal utilizando fotogrametría digital con un dron (VANT) y SIG, enfocado en el municipio de San José de Ocoa. Se delimitó el área de estudio a través de imágenes satelitales de Google Earth y se realizó un vuelo con el dron Phantom 4 RTK, empleando técnicas RTK/PPK para asegurar la precisión de las coordenadas geográficas. Se almacenaron observaciones GNSS en formato RINEX 3,02 para posibles ajustes posteriores. Se llevaron a cabo nueve vuelos, obteniendo 4 985 fotos georreferenciadas con precisiones menores a 2 cm. El procesamiento de imágenes se realizó en tres etapas usando Agisoft Metashape, generando modelos digitales del terreno y curvas de nivel con Global Mapper. Posteriormente, se vectorizaron elementos del mapa urbano, como construcciones y ejes de calles, utilizando Civil 3D y las ortofotos como referencia. El resultado fue un plano georreferenciado que incluye las huellas de construcciones y cuerpos de agua, exportado en formato shapefile. Finalmente, se validó la cartografía mediante un recorrido por el municipio, actualizando la información vectorizada con datos del levantamiento realizado con el VANT.

Palabras clave: Mosaico Cartográfico; Fotogrametría; VANT; SIG; Municipio.

© 2026; 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

El uso de la aerofotogrametría digital SFM (Structure From Motion) en el campo de la ingeniería y el diseño del espacio territorial, es una técnica que facilita la captura de la información geoespacial. La misma evolucionó desde la fotogrametría aérea que se realizaba en aviones a partir de la década del 50.[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 tomadas desde diferentes ángulos y posiciones. Esta técnica se basa en principios fotogramétricos y estereoscópicos, aprovechando las diferencias entre las imágenes para calcular la profundidad y la forma tridimensional de los objetos.

Un aspecto crucial de la Fotogrametría Digital SFM es la identificación y correspondencia de características visuales entre las imágenes, como esquinas o bordes, para luego calcular la posición tridimensional de puntos característicos en la escena y la posición y orientación de las cámaras utilizadas para capturar las imágenes. Esto se logra mediante algoritmos de triangulación y optimización.[2,3]

Una vez reconstruida la estructura tridimensional, se generan nubes de puntos densas que representan la superficie del objeto o paisaje, permitiendo la creación de modelos 3D precisos y detallados. Esta técnica se aplica en diversas áreas, como la generación de mapas topográficos, el seguimiento de cambios en el medio ambiente, la documentación y reconstrucción de sitios arqueológicos, la planificación urbana y el diseño de infraestructuras.[4]

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

Para implementar la triangulación estereoscópica, se emplean diversos algoritmos y métodos computacionales, como los algoritmos de correspondencia de características para identificar puntos correspondientes en las imágenes y los algoritmos de reconstrucción 3D para calcular las coordenadas tridimensionales de los puntos en la escena a partir de las coordenadas bidimensionales de los puntos correspondientes en las imágenes. La combinación de los softwares de los Sistemas de Información Geográfica SIG, con esta tecnología SFM, permite un mapeo relativamente rápido de la zona objeto de estudio incluyendo toda su tipología, como son relieve, vegetación, cursos fluviales, etc.[5]

En la actualidad en muchas partes del mundo, se está utilizando este recurso porque permite obtener las informaciones con precisión y notable economía de tiempo. A continuación, presentaremos varios ejemplos sobre el uso de las tecnologías.[6,7]

Los autores Rubén Sancho et al.[8] en su informe "Aplicación de la Fotogrametría con DRONES al Control Deformacional de Estructuras y Terreno" estudian la viabilidad del empleo de drones analizando la resolución, precisión y validación con otras técnicas. Presentan con detalle la técnica fotogramétrica Structure From Motion, usada para elaborar ortofotografías y modelos 3D precisos sin conocer previamente las posiciones y ángulos de incidencia. Usan además puntos de control precisos y sus drones tienen sistema integrado RTK. Lo que les garantiza alto grado de precisión. El ejemplo tomado es la monitorización de una presa arco-gravedad. Sus resultados muestran una precisión en deformaciones de ±2 mm para la estructura. Con esto se confirma que la fotogrametría con dron se puede aplicar al control deformacional de presas de hormigón.

Por su parte, Felipe Buil Pozuelo, M. et al.[9] en su estudio "Influencia de los Modelos 3D en la Determinación de Familias de Discontinuidades en Macizos Rocosos", 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.[10]

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 et al.[11] de la Universidad de Coruña, Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), A Coruña, España, 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 et al.[12], 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", 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 et al.[13] 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.

Importancia

La cartografía es crucial para la planificación y desarrollo sostenible de ciudades, pero en la República Dominicana, el 95 % de los ayuntamientos carecen de información cartográfica precisa y actualizada, lo que dificulta la toma de decisiones. La actualización de la cartografía urbana es vital, y un modelo que combine Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede mejorar la eficiencia en la recolección de datos. El Plan de Desarrollo Urbano de San José de Ocoa ilustra la necesidad de contar con una cartografía confiable para facilitar la identificación de áreas prioritarias y el diseño de políticas efectivas. Se propone que los ayuntamientos utilicen esta metodología para desarrollar su propia cartografía. Se destaca que el uso de UAV permite obtener datos geoespaciales de alta resolución, superando las limitaciones de técnicas tradicionales. Además, se sugiere que la República Dominicana adopte prácticas como las de Madrid, que actualiza su cartografía cada cuatro meses, proponiendo actualizaciones anuales en zonas urbanas de rápido crecimiento y cada dos años en áreas de desarrollo más lento.

Planteamiento del problema

La legislación de República Dominicana que toca los temas municipales y el propio desarrollo urbano, data unos 80 años, cuyo punto inicial lo representa la Ley 675 del 14-8-1944 Sobre Urbanización y Ornato Público, luego la Ley 3455 del 18-12-1952 Sobre Organización Municipal y la 3456 del 29-1-1953 Sobre Organización del Distrito de Santo Domingo, pasando por la 6232 del 25-2-1963 Sobre Planificación Urbana, hasta llegar a la más reciente 176-07 del 17-7-2007, Sobre el Distrito Nacional y los Municipios.

Hasta fecha reciente, prácticamente ningún municipio, excepto San José de Ocoa, contaba con una cartografía municipal completa que incluyera el inventario de todos los espacios urbanos, como las edificaciones por tipología de uso, las vías, los cursos fluviales, proyectos a desarrollar para modernización y potencialización municipal, entre otros.

El Instituto Geográfico Nacional José Hungría Morel (IGN) durante el segundo trimestre del año 2023 con su proyecto denominado Levantamiento de la Base Cartográfica 1:5 000 y 1:25 000 de la República Dominicana inició la puesta al público de una cartografía a una parte del territorio nacional, como son Monte Cristi, Dajabón, Santiago Rodríguez, Santiago, Valverde, Puerto Plata, Espaillat, La Vega, Monseñor Nouel, Sánchez Ramírez, Duarte, Hermanas Mirabal, María Trinidad Sánchez y Samaná. Los productos que se pueden descargar al momento de la escritura de esta investigación, que es el primer trimestre de 2024, son: la Ortofoto 1:5 000 y 1: 25 000, así como los modelos digitales del terreno MDT. A futuro se podrán obtener las hojas topográficas 1:5 000 y 1:25 000.

Esta cartografía se ha desarrollado en base a imágenes satelitales, no se ha hecho nada con VANT, como se ha podido escuchar. Aunque el IGN entregue la cartografía de Ocoa, nuestro diseño de la cartografía con el recurso VANT y la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se enfoca en que nuestro propósito es mantener la actualización de cada una de las cartografías municipales a nivel nacional, con las herramientas que usamos en nuestra investigación. Por ende, no hay conflictos de intereses ni acciones repetitivas que conlleven a duplicidad de esfuerzos por parte nuestra.

Nuestro proyecto procura que los municipios de República Dominicana con la instauración de un Sistema de Información Geográfica, sustentado en una base cartográfica actualizada con el recurso VANT, puedan avanzar a un nivel de respuesta que les permita atender temas como el desarrollo urbano, seguridad ciudadana, salud, recreación y otras cuestiones municipales, para salvar la brecha de que han sido objeto por razones históricas enmarcadas en el desarrollo de la urbe capitalina, que fueron dejando rezagadas las posibilidades de avance de las restantes ciudades de municipios cabeceras de las provincias del país.

En el modelo de la región latinoamericana de desarrollo, instaurado en las décadas que van desde 1940 hasta el año 2000, se caracterizan dos aspectos de un peso importante, a saber, primero: dependencia generalizada del sector agrícola, pero dominado por sistemas de mecanización arcaicos, en algunos casos cuasi inexistentes y consecuentemente poco productivos y segundo el crecimiento experimentado por estas ciudades por la migración del campo a la ciudad, donde 42 % vivía en zona urbana en 1950

pasando a un 76 % en 2010.[14]

De forma similar aconteció en nuestro país, pues unas dos décadas antes del 2000, la concentración cada vez mayor de la demografía en las urbes de las principales provincias sumada a la falta de mecanismos para el control de nuevas urbanizaciones, ha dejado virtualmente postrados a los gobiernos locales, en cuanto a la planificación y control de estos asentamientos.

Se evidencia ante estas realidades que los controles para desarrollo urbano, no han estado nunca articulados bajo un concepto de desarrollo integral de las ciudades del país. Esto podría obedecer, en parte, a que durante todo este tiempo no se ha podido contar con las herramientas adecuadas.

No ha existido una agenda operativa de crecimiento con ejecución real a largo plazo. Cada uno de estos gobiernos locales, es decir, alcaldías, "trabaja" en la medida de sus posibilidades políticas y económicas principalmente. Nuestra cartografía con SIG, puede también servir para otros temas municipales importantes, como las recaudaciones, que se pueden monitorear de forma permanente, para casos como el cobro de los arbitrios o tasas municipales que se manejan en cada localidad.

Temas de alto grado de importancia municipal es el del área verde, el cual se puede perfectamente monitorear con nuestra herramienta. Los ayuntamientos de República Dominicana, a pesar de encontrarnos en pleno siglo XXI, no cuentan con una cartografía base y un sistema de información geográfica (SIG), que sirva a los propósitos de desarrollo urbano que tienen como responsabilidad.

Objetivo

Crear un modelo cartográfico municipal para República Dominicana, utilizando fotogrametría digital VANT y Sistemas de Información Geográfica, caso: Casco urbano del municipio San José de Ocoa.

MÉTODO

En la presente investigación hemos abordado el método cuantitativo, debido a que la recolección de datos se ha basado en mediciones. Por ejemplo, para el vuelo del área objeto de estudio utilizamos el vehículo aéreo no tripulado (VANT) modelo Phantom 4 RTK de la marca DJI.

La técnica empleada para la ejecución de dicho vuelo fue la RTK/PPK de manera simultánea, para lo cual se estableció una conexión vía WIFI del VANT Phantom 4 RTK con el receptor Comnav N3 GNSS, previamente vinculado con la CORS FCOC (perteneciente a la Red FUNDCORSRD) para determinar las coordenadas georreferenciadas del punto base de cada vuelo.

El equipo receptor GNSS se configuró para almacenar las observaciones estáticas cada segundo en formato RINEX 3,02, Esto garantizó que, en caso de fallo en la conexión en tiempo real del VANT, los datos pudieran utilizarse para el Post Proceso Cinemático (PPK).[15,16,17]

Para realizar los ajustes de los Puntos de Control Terrestre (GCP) y verificar la precisión de las coordenadas del centro de las imágenes fotográficas se empleó el software TBC de la empresa TRIMBLE. Como resultado de los nueve vuelos se obtuvieron 4 985 fotos georreferenciadas, todas con precisiones inferiores a 2 cm.

El procesamiento de las imágenes fotográficas se llevó a cabo en tres etapas utilizando el software AGISOFT METASHAPE. A Partir de los Modelos Digitales del Terreno, obtenidos en el procesamiento de las fotografías, se generaron las curvas de nivel mediante el uso del software Global Mapper. Todo este proceso se enmarca dentro del método cuantitativo.

Técnica de Investigación

La técnica de investigación empleada en este trabajo puede clasificarse como descriptiva, dado que se basa en la medición. Esta característica se refleja en las actividades de campo, que abarcan desde la colocación y georreferenciación de los puntos de control terrestre (GCP) hasta la realización de los vuelos. Los ajustes de los GCP y la verificación de la precisión de las coordenadas del centro de las imágenes fotográficas GCP se llevaron a cabo utilizando el software TBC. Como resultado de los vuelos con el VANT, se obtuvieron un total de 4 985 fotos georreferenciadas.

El proceso de vectorización de las ortofotos georreferenciadas, que implica la identificación y trazado de elementos como construcciones, ejes de calles, cursos fluviales, es decir cañadas y ríos, se realizó con la participación de tres equipos independientes, utilizando simultáneamente el software Civil 3D mediante el cual insertaron las ortofotos que les permitieron realizar dibujos precisos sobre ellas.

Este proceso dio como resultado un plano georreferenciado que refleja con precisión las huellas de las construcciones, los ejes de calles, así como las cañadas y el río que bordean el casco urbano del municipio estudiado.

Uso de las Variables e Indicadores

Las variables que analizaremos en nuestra investigación serán simples, ya que, no precisamos de variables compuestas para desarrollarla. Y por las mismas razones no precisaremos de dimensiones en el cuadro demostrativo de las variables e indicadores que aparece más adelante.

Los indicadores se refieren a elementos específicos de la cartografía municipal de San José de Ocoa, es decir, características particulares que nos permiten medir o evaluar cada una de las variables de interés en nuestra investigación.

Los indicadores son elementos puntuales de la realidad que nos ayudan a medir o evaluar las variables de interés en nuestra investigación. Cada indicador proporciona una medida concreta que nos permite entender mejor los cambios y tendencias en el área de estudio.

Análisis de las Variables a Considerar en el Estudio

Al considerar la primera variable: Cartografía base de San José de Ocoa, ésta es del tipo dependiente porque está en función de los cambios que experimenten los componentes de esta cartografía, como la expansión de la urbanización del polígono que compone el casco urbano. La segunda variable es Tipología de Usos, es una variable dependiente, ya que está en función del potencial desarrollo económico del municipio, pues este factor movilizador de divisas marcará la tendencia de los usos, independientemente de la existencia del Plan de Ordenamiento Territorial (POT). La tercera variable, Daño a los Cursos Fluviales por Presencia de Humanos en sus Márgenes, es una variable dependiente, pues se haya en función de la explosión demográfica sobre estas áreas.

La cuarta variable, Conservación de las Vías, es una variable dependiente, pues está en función de la intervención que se realice a las vías.

Análisis de los Indicadores a Considerar en la Investigación

Tabla 1. Variables e indicadores

Variables	Indicadores
Cartografía base del municipio de San José de Ocoa	Superficie residual resultante de la superposición con la cartografía nueva realizada en la investigación.
Tipología de usos	Medición porcentual del incremento positivo de los usos, en especial los Usos Comerciales determinados por este estudio.
Daño a los cursos fluviales por presencia de humanos en sus márgenes	Resultado numérico del análisis comparativo del estado actual, con respecto al presentado en 2015.
Conservación de las Vías	Dato numérico obtenido del análisis del estado actual, respecto al presentado en el PDU SJO de 2015.

Los indicadores son la unidad de medida de la variable, entonces para la primera variable, Cartografía Municipal de San José de Ocoa, un indicador a probar para medirla es la superficie residual que resulta de la comparación de la cartografía actual con la anterior.

Por su parte, la variable dos, Tipología de Usos, tiene como indicador para probarla la medición porcentual del incremento positivo de los usos, en especial los usos comerciales determinados al realizar este estudio.

El indicador para probar la variable tres, Daño a los Cursos Fluviales por presencia de Humanos en sus Márgenes, es el resultado del análisis comparativo del estado actual, con respecto al de 2015.

Para medir la variable cuatro, Conservación de las Vías, el indicador para obtenerla es el resultado del análisis comparativo del estado actual con respecto al año 2015.

Explicación de la Metodología de Estudio

La metodología de esta investigación se compone de dos partes fundamentales:

Labor de Campo en la que se Ejecutaron las Siguientes Acciones

Colocación y georreferenciación de los puntos de control de tierra (GCP) y el Levantamiento del casco urbano del municipio cabecera San José de Ocoa, mediante el uso de la fotogrametría digital con el vehículo aéreo no tripulado VANT, o DRON cuyo significado es Aeronave que vuela sin tripulación humana a bordo, deriva del vocablo inglés “dron” que significa abejón, otro nombre en inglés es UAS, que es sistema aéreo no tripulado por las siglas en inglés de Unmanned Aerial System), o UAV (por Unmanned Aerial Vehicle), con el cual se capturan imágenes aéreas de alta resolución.

Labor de Oficina

Realizamos los ajustes en los GCP (Ground Control Points) y procesamos las imágenes fotográficas utilizando el software Agisoft Metashape mediante la técnica fotogramétrica digital SFM (Structure from Motion). Esto nos permite obtener modelos tridimensionales precisos del área de estudio. Además, vectorizamos la ortoimagen del casco urbano del municipio de San José de Ocoa utilizando el software AutoCAD Civil 3D.

Finalmente, integramos los datos obtenidos de la fotogrametría digital en un Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante el uso del software ARCGIS Pro.

Esto nos permite generar una cartografía actualizada y de alta calidad del casco urbano del municipio de San José de Ocoa. De estos dos grandes bloques tenemos siete etapas de ejecución, que se ven en la tabla 2.

Tabla 2. Etapas de ejecución

1	Estudio documental	Consiste en la revisión del inventario de documentos consignados en la bibliografía del proyecto. Esta actividad precede a las demás, ya que, constituye el punto inicial del trabajo.

2	Análisis de la información contenida en los documentos	Analizamos toda la documentación contenida en la bibliografía del proyecto, a fin de poder orientar hacia donde debía ir dirigida la atención, a las cuestiones que podrían ser relevantes en los cambios y evolución de la cartografía objeto de estudio que nos propusimos actualizar.
3	Instrumentos utilizados	Dado que aplicamos las herramientas tecnológicas como software de captura de datos y de procesamiento, los instrumentos utilizados fueron los softwares y hardwares respectivos. No se diseñaron otros instrumentos en la realización de las labores de campo, como los del tipo cuestionario y entrevistas. Se usó el recurso fotográfico.
4	Trabajo de Campo	Se realizó con el auxilio de un personal de apoyo de acuerdo con la muestra seleccionada del universo. El equipo VANT y los receptores satelitales GNSS RTK y el recurso fotográfico. Por otra parte, la comprobación del trabajo de campo fue realizada por la brigada que validó la cartografía.
5	Análisis Situacional y/o Diagnóstico	La interpretación y ponderación de los datos obtenidos en campo posibilitó la elaboración del diagnóstico situacional.
6	Elaboración del documento preliminar	Se refiere al borrador del informe de la investigación.
7	Formulación del documento definitivo del resultado de la investigación	Se trata del presente documento el cual incluye: mosaico cartográfico, modelos digitales del terreno y de superficie, Ortofoto, planos y fotografías.

Metodología Empleada en los Vuelos con VANT

Vuelos Sobre el Polígono Estudiado

Planificación de los Vuelos. Para la planificación de los vuelos sobre el casco urbano del municipio San José de Ocoa fue necesario delimitar el polígono objeto de estudio, lo cual hicimos con la ayuda de una imagen satelital de Google Earth, como puede observarse en la figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

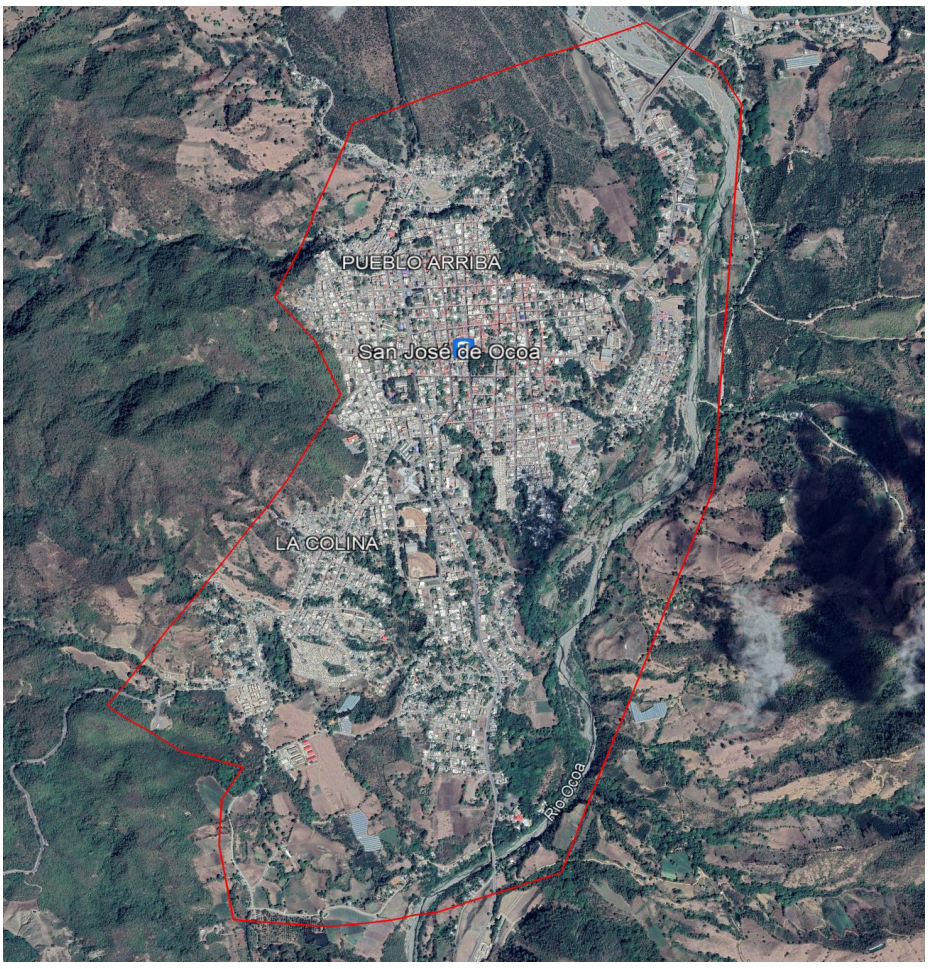

Figura 1. Polígono del casco urbano San José de Ocoa sobre imagen satelital de Google Earth de septiembre 2023

Tabla 3. Coordenadas UTM Zona 19N

Vert.	Este	Norte
1	341286,38	2049219,21
2	340810,39	2049047,64
3	340412,36	2049007,44
4	340051,50	2049041,03
5	340002,97	2049349,55
6	340014,80	2049536,93
7	340096,36	2049669,93
8	339864,61	2049737,24
9	339604,47	2049936,25
10	340293,92	2050856,81
11	340438,37	2051118,68
12	340478,97	2051188,56
13	340386,25	2051401,72
14	340244,97	2051573,01
15	340533,07	2052285,79
16	341633,66	2052704,29
17	341898.31	2052527,20
18	341991,22	2052367,03
19	341871,96	2050802,62

El área seleccionada para abarcar todo el casco urbano del municipio de San José de Ocoa tiene una extensión aproximada de 5,42 kilómetros cuadrados. La delimitación no siguió ningún criterio institucional en específico; sin embargo, establecimos los límites de la siguiente manera: al norte, el puente que conecta con el municipio de Sabana Larga; al este, el curso del Río Ocoa; al sur, el puente de entrada a la ciudad de San José de Ocoa; y al oeste, la línea de la falda de la montaña hasta el punto donde terminan las edificaciones.

El VANT utilizado para el vuelo del área de estudio fue el Phantom 4 RTK de la marca DJI, el cual consta de una cámara provista de un sensor CMOS de 1” con un disparador mecánico (Global Shuter) y una resolución de 20 Megapixeles.

Figura 2. VANT PHANTOM 4 RTK sobrevolando el casco urbano de Ocoa

https://doi.org/10.56294/la2026259

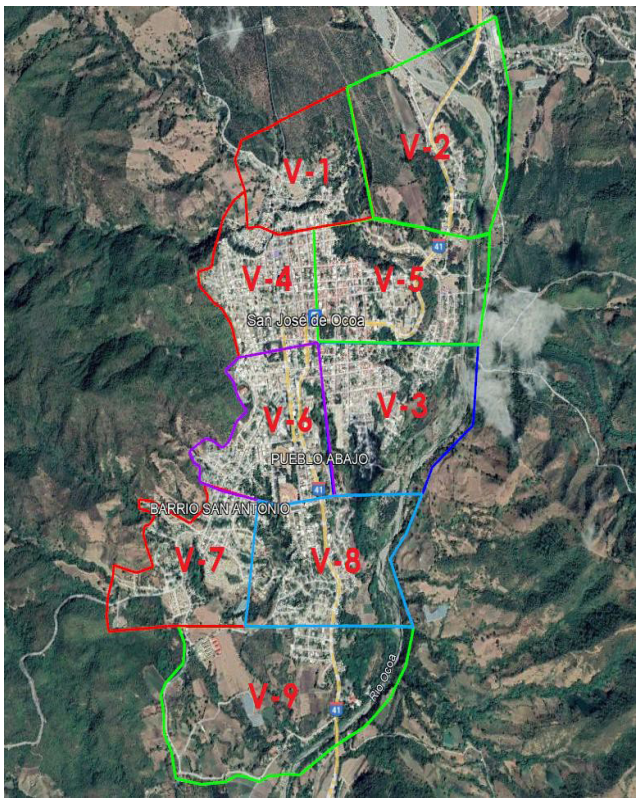

Figura 3. Planes de vuelo sobre el casco urbano de San José de Ocoa

El Phantom 4 RTK incluye un módulo RTK completamente integrado que proporciona información de posición a nivel centimétrico en tiempo real, para obtener una precisión excelente en la georreferenciación de la imagen. También guarda la información de observación por satélite para posprocesamiento cinemático mejor conocido como PPK (por sus siglas en inglés).

La herramienta de vuelo empleada fue la DJI GS RTK, una aplicación diseñada específicamente para integrarse con sistemas de posicionamiento RTK (Real-Time Kinematic). Ofrece una interfaz intuitiva que facilita la planificación y ejecución de vuelos precisos y eficientes para la captura de datos geoespaciales. Para tener un mejor control del VANT durante la ejecución de los vuelos dividimos el área de estudio en nueve planes de vuelo permitiéndonos tener el VANT a la vista durante toda la misión y que este no se alejara más de 1 km desde el punto de despegue. La altura de vuelo fue de 120 m con respecto al punto de despegue del VANT de esta forma obtendremos un GSD menor a 5 cm/pixel. La velocidad del VANT para todas las misiones fue fijada en 9,5 m/s y los solapes horizontal y vertical fueron 70 % y 80 % respectivamente con el objetivo de obtener un buen modelo estereoscópico.

Colocación y Georreferenciación de los Puntos de Control GCP

Los Puntos de Control de Tierra (GCP) proporcionan puntos de referencia para verificar la precisión de los resultados obtenidos en el proceso fotogramétrico. Comparando las coordenadas medidas en el terreno con las coordenadas estimadas a partir de las imágenes, es posible evaluar la calidad y la precisión del producto final.

Figura 4. Se realiza el levantamiento NTRIP Punto de Control de Tierra GCP

https://doi.org/10.56294/la2026259

El receptor satelital utilizado fue el Comnav N3 GNSS, capaz de rastrear las 4 constelaciones satelitales visibles desde la República Dominicana: GPS, GLONASS, GALILEO y BEIDU. La metodología de georreferenciación que utilizamos fue la NTRIP corrección celular conectados a la CORS FCOC perteneciente a la Red FUNDCORSRD la cual se encuentra ubicada en el casco urbano del municipio de San José de Ocoa. Se georreferenciaron un total de 27 puntos de control de tierra (GCP) los cuales se utilizaron solo como puntos de chequeo tal y como veremos más adelante.

Ejecución de los Planes de Vuelos

Previo a la ejecución de los planes de vuelo, se determinaron los posibles puntos de despegue, tomando en cuenta la elevación del terreno, de forma tal que se pudiera ejecutar la misión planificada sin poner en riesgo el VANT y garantizando que el GSD resultante sea menor de 5 cm/pixel. La técnica utilizada para la ejecución del vuelo fue la RTK/PPK de manera simultánea, para lo cual vinculamos vía WIFI el VANT Phantom 4 RTK con el equipo Comnav N3 GNSS el cual previamente conectamos con la CORS FCOC para determinar las coordenadas georreferenciadas del punto utilizado como base.

El receptor GNSS se configura para almacenar las observaciones estáticas cada segundo en formato RINEX 3,02. Esto se realiza en previsión de cualquier fallo en la conexión en tiempo real del VANT en caso de que ocurra un problema de conexión, estos datos serán utilizados para llevar a cabo el Post Proceso Cinemático, conocido como PPK (por sus siglas en inglés). Los trabajos de campo, que incluyeron la colocación y georreferenciación de los GCP, así como la ejecución de los vuelos, se realizaron los días 9, 17 y 22 de septiembre de 2023.

Estas actividades se llevaron a cabo con el propósito de abarcar completamente el casco urbano del Municipio de San José de Ocoa.

Figura 5. Pantalla del radio control del VANT durante ejecución plan de vuelo

Figura 6. Receptor GNSS en Punto Base en techo de la Escuela Altagracia Brito

Ajustes de los Puntos de Control de Tierra GCP

Para realizar los ajustes de los GCP y la verificación de precisiones de las coordenadas del centro de las imágenes fotográficas utilizamos el software TBC de la empresa TRIMBLE, cuyos reportes incluimos como parte de los anexos.

Cantidad de Fotos Georreferenciadas Obtenidas

Como resultado de los nueve vuelos se obtuvieron 4 985 fotos georreferenciadas, todas con precisiones menores a 2 cm, esta verificación la realizamos al cargar dichas fotos al Software de procesamiento de imágenes Agisoft Metashape.

En los vuelos realizados desde el techo de la Escuela Básica Altagracia Irma Brito Sánchez, para el procesamiento de las imágenes nos vimos precisados a utilizar la metodología PPK, pues nos equivocamos en campo al introducir de manera errónea la altura elipsoidal de la base, dicho error sólo es posible detectarlo al verificar en oficina los GCP, de ahí la importancia de la colocación de éstos y el registro de los RINEX en el receptor GNSS, para cuando ocurran estos casos hacer uso del método PPK para el geoetiquetado de las imágenes fotográficas con las coordenadas georreferenciadas corregidas.

Para el cálculo PPK utilizamos el software Redtoolbox, este programa permite introducir las imágenes fotográficas, los datos RINEX y los registros de tiempo de la toma de cada foto almacenados por el VANT, los datos RINEX almacenados por el equipo GNSS utilizado como base y las coordenadas geográficas del punto con su altura elipsoidal. Dicho software luego de realizar el emparejamiento de las fotos, realiza el cálculo corregido del centro de cada una de las imágenes fotográficas.

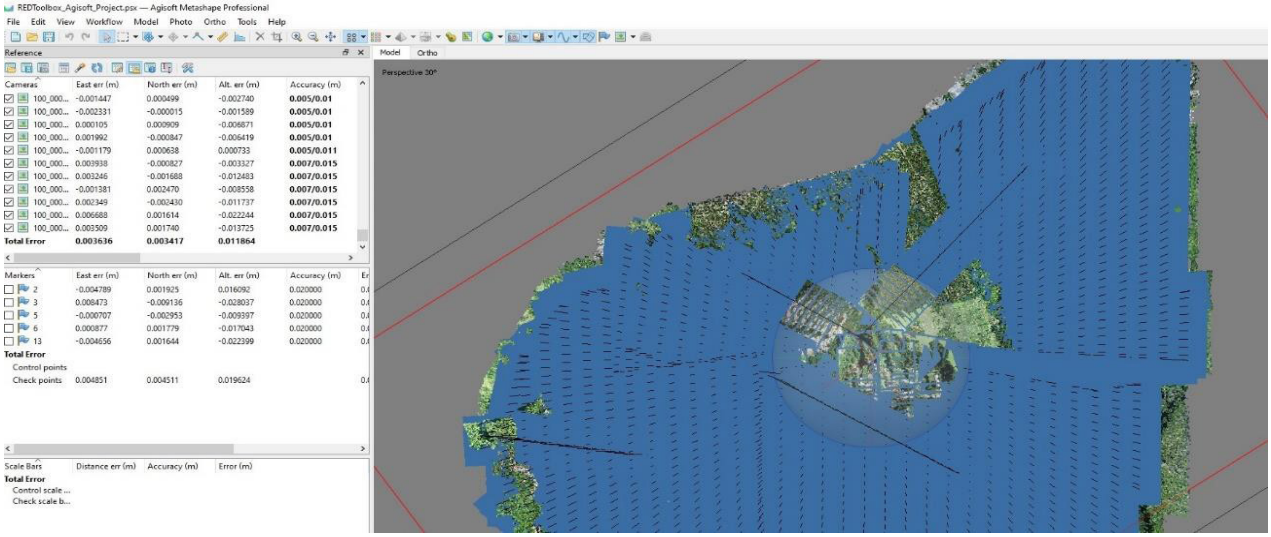

Figura 7. Interface del Software Agisoft Metashape durante el procesamiento de las fotografías

Procesamiento, Generación de Curvas y Vectorización

Procesamiento de Fotografías

Utilizando el Software Agisoft Metashape procedimos a realizar el procesamiento de las imágenes fotográficas, dada la cantidad de fotos decidimos dividir el procesamiento en tres (3) partes, pues procesar las 4,985 fotos en un solo proyecto demandaría de un computador con mayores capacidades de procesamiento del que disponemos. Las especificaciones del computador utilizado son las siguientes: AMD Ryzen 9 5900X 12-Core Processor 3,70 GHz. 64 GB RAM. Tarjeta de video GEFORCE RTX 2080.

Resultados Resumidos Obtenidos de Cada uno de los Procesos

Primer Procesamiento

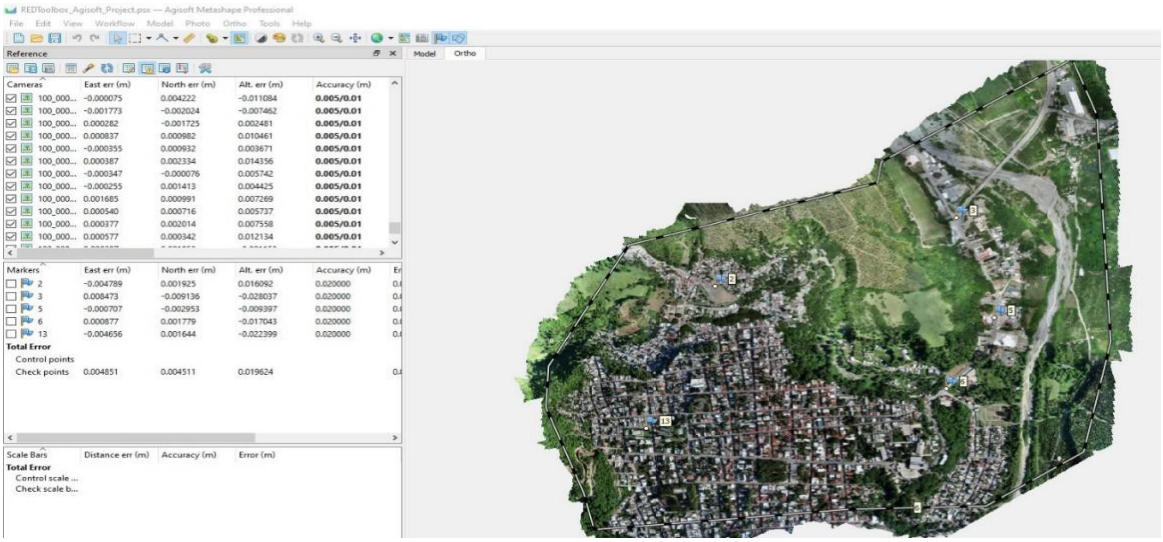

Figura 8. Interface del Software Agisoft Metashape mostrando Puntos de Control de Tierra y sus errores resultantes en el primer procesamiento

https://doi.org/10.56294/la2026259

Cantidad de fotos procesadas… ..... 1 966 fotos
Tiempo de procesamiento Mapa de Profundidad..... 2 horas 19 minutos
Tiempo de procesamiento Nube densa..... 5 horas 7 minutos
Tiempo de procesamiento Clasificación Puntos de Terreno…..... 1 horas 5 minutos
Tiempo de procesamiento Modelo Digital de Superficie..... 14 minutos 12 segundos
Tiempo de procesamiento Modelo Digital de Terreno..... 15 minutos 24 segundos
Tiempo de procesamiento Ortofoto con un GSD de 3,61cm/pix..... 1 hora 48 minutos
El GSD de los MDT y MDS fue de 7,23 cm/pixel. Para este procesamiento se utilizaron 5.
GCP sólo como puntos de chequeo arrojando los resultados siguientes:

Tabla 4. Coordenadas UTM de los Puntos de Control de Tierra GCP en el primer procesamiento

GCP	Este	Norte	Elevación
M2	340818,399	2052045,062	460,164
M3	341602,428	2052316,919	436,875
M5	341726,521	2051918,002	427,238
M6	341570,024	2051633,437	432,894
M13	340596,588	2051476,495	490,198

Errores al asignar los Puntos de control de Tierra GCP a un máximo de 10 fotografías:

Tabla 5. Errores del Modelo Digital al asignar Puntos de Control de Tierra GCP a 10 fotografías en el primer procesamiento

GCP	Error Este	Error Norte	Error Elevación
M2	-0,004	0,003	0,016
M3	0,009	-0,008	-0,028
M5	-0,000	-0,003	-0,009
M6	0,001	0,002	-0,017
M13	-0,004	0,002	-0,023
Error medio	0,005	0,004	0,020
Nota: RMS = 0,021			

Segundo Procesamiento

Cantidad de fotos procesadas….....1,339 fotos
Tiempo de procesamiento Mapa de Profundidad.....1 horas 25 minutos
Tiempo de procesamiento Nube densa.....3 horas 44 minutos
Tiempo de procesamiento Clasificación Puntos de Terreno.....40 minutos 10 segundos
Tiempo de procesamiento Modelo Digital de Superficie.....7 minutos 27 segundos
Tiempo de procesamiento Modelo Digital de Terreno….....9 minutos 20 segundos
Tiempo de procesamiento Ortofoto con un GSD de 3,91cm/pix.....50 minutos 11 segundos
El GSD de los MDT y MDS fue de 7,83 cm/pix\
Para este procesamiento se utilizaron 5 GCP solo como puntos de chequeos arrojando los resultados siguientes:

Tabla 6. Coordenadas UTM de los Puntos de Control de Tierra GCP en el segundo procesamiento

GCP	Este	Norte	Elevación
2	340679,354	2050699,775	459,532
3	340784,246	2051003,508	467,571
7	340333,356	2050637,132	479,616
M9	340854,714	2050794,822	459,254
100	341351,077	2050935,447	455,623

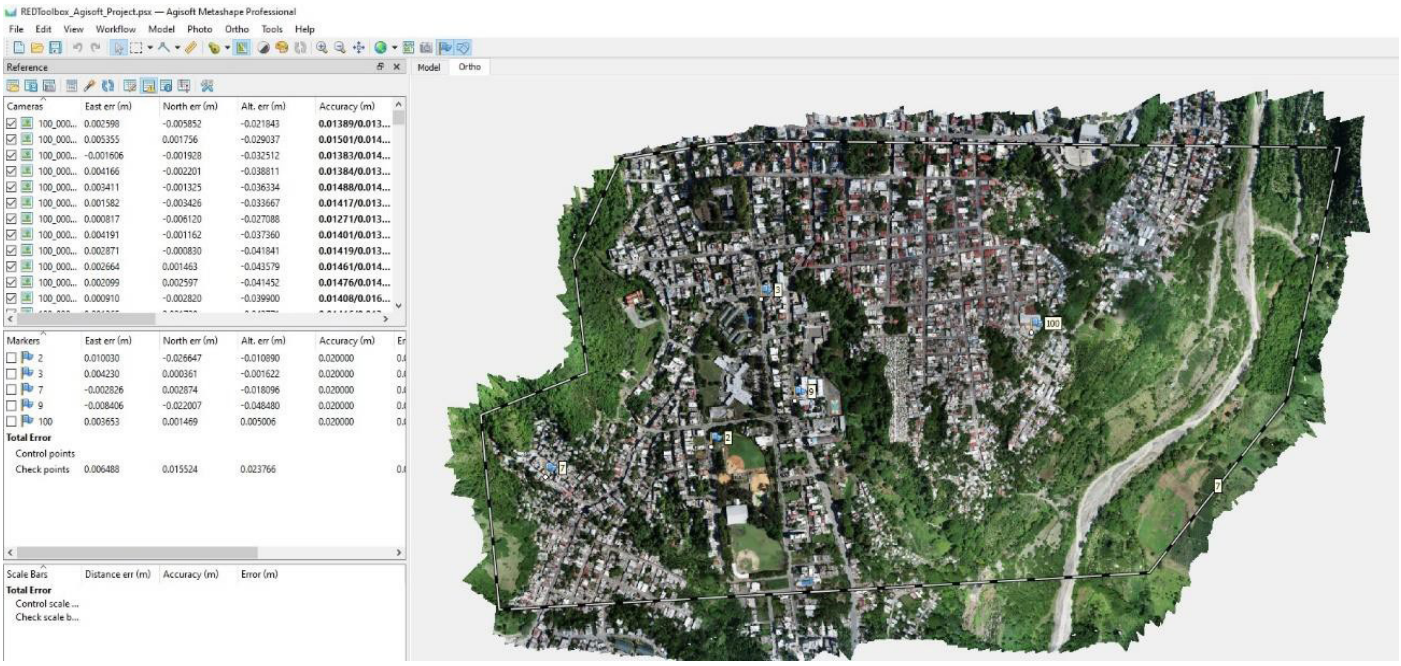

Figura 9. Interface del Software Agisoft Metashape mostrando Puntos de Control de Tierra y sus errores resultantes en el segundo procesamiento

Tabla 7. Errores del Modelo Digital al asignar Puntos de Control de Tierra GCP a 10 fotografías en el segundo procesamiento

GCP	Error Este	Error Norte	Error Elevación
2	0,011	-0,027	-0,011
3	0,004	-0,000	-0,002
7	-0,002	-0,003	-0,018
M9	-0,008	-0,022	-0,048
100	0,005	0,001	0,006
Error medio	0,007	0,016	0,024
Nota: RMS = 0,029			

Tercer procesamiento

Cantidad de fotos procesadas.....1,956 fotos
Tiempo de procesamiento Mapa de Profundidad.....1 hora 46 minutos
Tiempo de procesamiento Nube densa.....4 horas 09 minutos
Tiempo de procesamiento Clasificación Puntos de Terreno.....1 hora 24 minutos
Tiempo de procesamiento Modelo Digital de Superficie.....15 minutos 1 segundo
Tiempo de procesamiento Modelo Digital de Terreno.....16 minutos 34 segundos
Tiempo de procesamiento Ortofoto con un GSD de 3,04 cm/pix.....1 hora 35 minutos
El GSD de los MDT y MDS fue de 6,07 cm/pix
Para este procesamiento se utilizaron 6 GCP solo como puntos de chequeos arrojando los resultados siguientes:

Tabla 8. Coordenadas UTM de los Puntos de Control de Tierra GCP en el tercer procesamiento

GCP	Este	Norte	Elevación
4	340251,640	2049746,815	454,530
5	340041,388	2049980,366	471,360
6	340265,629	2050216,685	471,790
M10	341025,798	2049849,949	412,379
M11	340973,008	2049308,782	393,814
M15	340255,079	2050304,634	476,102

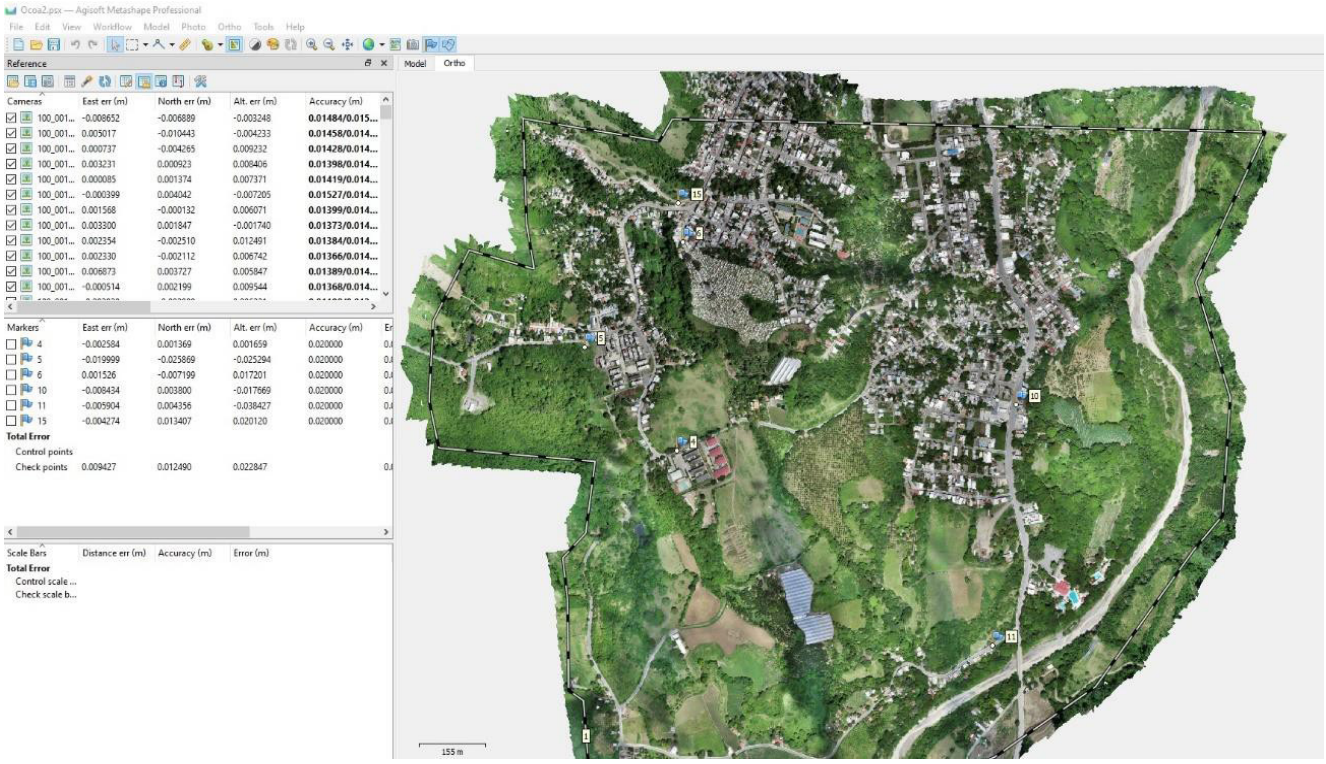

Figura 10. Interface del Software Agisoft Metashape mostrando Puntos de Control de Tierra y sus errores resultantes en el tercer procesamiento
Nota: Aunque los puntos de control de tierra GCP, no se aprecian claramente en la imagen impresa del documento, éstos y cualquier otro detalle pueden verse con precisión y claridad haciendo un aumento (zoom) de la visual de la imagen del formato digital en cada uno de los casos

Tabla 9. Errores del Modelo Digital al asignar Puntos de Control de Tierra GCP a 10 fotografías en el tercer procesamiento

GCP	Error Este	Error Norte	Error Elevación
4	- 0,012	0,001	0,002
5	-0,013	-0,023	-0,025
6	0,002	-0,007	0,017
M10	-0,008	0,004	-0,018
M11	-0,005	0,005	-0,039
M15	-0,004	0,013	0,020
Error medio	0,007	0,012	0,023
Nota: RMS = 0,027			

Como resultado de los procesamientos de las imágenes obtuvimos los Modelos Digitales de Superficie (DSM), los Modelos Digitales del Terreno (DTM) y las ortofotos georreferenciadas de toda el área de interés.

Generación de Curvas de Nivel Casco urbano San José de Ocoa

Partiendo de los Modelos Digitales del Terreno, obtenidos del procesamiento de las imágenes fotográficas procedimos a generar las curvas de nivel, para ello utilizamos el software Global Mapper, software que se utiliza para el análisis y procesamiento de modelos digitales obtenidos por levantamientos Fotogramétricos o Lidar.

Las curvas de nivel fueron generadas con un intervalo de 2 m dada la topografía accidentada del área de estudio. Este proceso permitió capturar con precisión las variaciones en la elevación del terreno, brindando información detallada sobre la configuración topográfica del casco urbano. Una vez generado el plano de curvas procedimos a exportarlo en formato shapefile, para poder cargarlo como una de las capas que conformaran el Sistema de Información Geográfico de la cartografía del casco urbano del municipio de San José de Ocoa. Esta elección de formato aseguró la compatibilidad del conjunto de datos con el Sistema de Información Geográfica (SIG) destinado a la cartografía del casco urbano del municipio de San José de Ocoa. La inclusión de estas curvas en el SIG enriquece la representación cartográfica al proporcionar una capa detallada y esencial para el análisis topográfico del área.

Este proceso de generación de curvas de nivel, respaldado por tecnologías especializadas y un enfoque preciso en la topografía local, constituye un componente crucial en la construcción de un mapa cartográfico integral y detallado del casco urbano de San José de Ocoa.

https://doi.org/10.56294/la2026259

Vectorización de las Ortofotos

Para llevar a cabo la creación del mapa cartográfico del casco urbano del municipio de San José de Ocoa, se realizó un proceso de vectorización de las ortofotos georreferenciadas. Este proceso implicó la identificación y trazado de distintos elementos cruciales, tales como construcciones, ejes de calles, así como los cursos de cañadas y ríos.

Se implementaron tres equipos independientes de vectorización, los cuales utilizaron el software Civil 3D. Este programa permitió la inserción de ortofotos para realizar dibujos precisos sobre ellas. Cada equipo se encargó de vectorizar de manera exhaustiva los elementos mencionados, aprovechando las herramientas avanzadas que proporciona el software.

Posteriormente, se llevó a cabo la consolidación de los resultados obtenidos por cada equipo. Este proceso de combinación dio como resultado un plano georreferenciado que refleja con precisión las huellas de las construcciones, los ejes de calles, así como las cañadas y el río que bordea el casco urbano del municipio de San José de Ocoa.

El siguiente paso consistió en exportar este plano en formato shapefile, asegurando así su compatibilidad e integración efectiva con el Sistema de Información Geográfica (SIG) previamente establecido para el presente estudio. La utilización de esta tecnología no solo garantiza la interoperabilidad de los datos, sino que también facilita su análisis y gestión dentro del contexto geoespacial del área de estudio. Este enfoque de trabajo robusto y sistematizado contribuye significativamente a la elaboración de mapas cartográficos precisos y de calidad para el municipio de San José de Ocoa.

CONCLUSIONES

Se creó un mosaico cartográfico digital para el casco urbano de San José de Ocoa, utilizando fotogrametría digital VANT y Sistemas de Información Geográfica (SIG), como todos los específicos de desarrollo urbano.

La integración de tecnologías avanzadas, como ortoimágenes de alta resolución, modelos de elevación digital, imágenes satelitales, bases de datos geoespaciales, tecnologías de posicionamiento global (GPS) y datos parcelarios catastrales, ha sido esencial para la generación de un producto cartográfico robusto y detallado.

La información cartográfica generada tiene aplicaciones prácticas en la planificación urbana, la defensa civil ante desastres y la gestión de recursos naturales, también constituye un elemento significativo para el desarrollo sostenible de la región.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.
Curación de datos: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.
Análisis formal: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.
Redacción – borrador original: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.
Redacción – revisión y edición: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

2. 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.

3. 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.

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

5. 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

6. 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.

7. 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.

8. Gómez Zurdo, Rubén Sancho et al. Aplicación de la Fotogrametría con Drones al control deformacional de estructuras y terreno. 2021. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/169/1/012003/meta

9. 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.

10. 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

11. 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

12. 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.

13. Chaudhry, Muhammad Hamid et al. Geoformation Faculty of Built Environment & Surveying, Universiti Teknologi Malaysia. 2020. https://www.mdpi.com/2220-9964/9/11/656

14. CEPAL Perspectivas de Urbanización Mundial: Revisión 2010. https://www.cepal.org/notas/73/Titulares2#:~:text=Am%C3%A9rica%20Latina%20es%20la%20regi%C3%B3n%20m%C3%A1s%20urbanizada%20del%20mundo%20en%20desarrollo

15. 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/

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=S2007-24222017000400157s.f.

17. 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