

Creation of the Geographic Information System for the urban center of the municipality of San José de Ocoa using Digital Photogrammetry (UAV) and Geographic Information Systems

Creación del Sistema de Información Geográfica casco urbano del municipio San José de Ocoa utilizando Fotogrametría Digital VANT y Sistemas de Información Geográfica

Juan Manuel Sosa¹, Pedro Enrique Sosa Veras¹  , Eva Mejía¹

¹Facultad 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. Creation of the Geographic Information System for the urban center of the municipality of San José de Ocoa using Digital Photogrammetry (UAV) and Geographic Information Systems. SAP Land and Architecture. 2026; 5:285. <https://doi.org/10.56294/la2026285>

Publication History

Submitted: 06-01-2025

Revised: 10-04-2025

Accepted: 01-07-2025

Published: 01-01-2026

Corresponding Author

Pedro Enrique Sosa Veras 

ABSTRACT

The research focused on creating a Geographic Information System (GIS) for the municipality of San José de Ocoa, Dominican Republic, using digital photogrammetry with drones. The study area was delimited using Google Earth satellite images, and 4 985 georeferenced photos with accuracies of less than 2 cm were obtained using drones. Image processing was carried out in three stages using Agisoft Metashape, generating digital terrain models and contour lines. Urban elements such as buildings and streets were subsequently vectorized using Civil 3D and orthophotos, resulting in a georeferenced plan in shapefile format. The cartography was validated through a walking tour of the municipality, updating the information with data from the UAV survey. The GIS incorporated various layers, including satellite orthoimages from 2013 and 2023, digital models, and shapefiles of buildings and roads. The WGS 1984 datum and the UTM projection system, Zone 19 N, were used with ArcGIS Pro and ArcGIS Online software. The results showed a significant expansion of the urban area between 2015 and 2023, with a 376,97 % increase in educational use and a 245,20 % increase in occupation of risk areas. The research generated a complete GIS, an interactive web application, and a 1:5 000 scale cartographic map. It was concluded that the methodology is replicable at the national level, optimizing territorial management in the municipalities of the Dominican Republic.

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

RESUMEN

La investigación se centró en crear un Sistema de Información Geográfica (SIG) para el municipio de San José de Ocoa, República Dominicana, utilizando fotogrametría digital con drones. Se delimitó el área de estudio mediante imágenes satelitales de Google Earth y se obtuvieron 4 985 fotos georreferenciadas con precisiones menores a 2 cm mediante drones. El procesamiento de las imágenes se llevó a cabo en tres etapas con Agisoft Metashape, generando modelos digitales del terreno y curvas de nivel. Posteriormente, se vectorizaron elementos urbanos como edificios y calles utilizando Civil 3D y ortofotos, resultando en un plano georreferenciado en formato shapefile. La cartografía fue validada mediante un recorrido a pie por el municipio, actualizando la información con los datos del levantamiento del VANT. El SIG incorporó diversas capas, incluyendo ortoimágenes satelitales de 2013 y 2023, modelos digitales y shapefiles de construcciones y vías. Se utilizó el Datum WGS 1984 y el sistema de proyección UTM, Zona 19 N, con los softwares ArcGIS Pro y ArcGIS Online. Los resultados mostraron una expansión significativa del área urbana entre 2015 y 2023, con un aumento del 376,97 % en uso educacional y del 245,20 % en la ocupación de zonas de riesgo. La investigación generó un SIG completo, una aplicación web interactiva y un mapa cartográfico a escala 1:5 000. Se concluyó que la metodología es replicable a nivel nacional, optimizando la gestión territorial en los municipios de la República Dominicana.

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

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.^(2,3) 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.⁽⁴⁾

El Laboratorio Urbano de Diseño, 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*”,⁽⁵⁾ 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.⁽⁵⁾

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,⁽⁶⁾ 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.^(7,8,9)

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.⁶

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 “*clicks*” 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.^(10,11,12) 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.⁽¹³⁾

El Plan de Desarrollo Urbano de San José de Ocoa es un caso concreto que representa los desafíos comunes en la gestión urbana y la necesidad de contar con una cartografía base precisa y actualizada. El estudio de este caso específico permitirá evaluar la efectividad del modelo de flujo de trabajo propuesto y su aplicabilidad en otros municipios de República Dominicana.

Al aplicar la fotogrametría digital con VANT y los SIG en el caso del Plan de Desarrollo Urbano de San José de Ocoa, se espera obtener información actualizada y precisa sobre la topografía, la infraestructura existente, las áreas verdes, las vías de acceso, las zonas de riesgo, entre otros elementos relevantes para la planificación urbana. Esta información permitirá a los responsables de la toma de decisiones en San José de Ocoa contar con una base cartográfica confiable y actualizada, lo que facilitará la identificación de áreas de intervención prioritaria, el diseño de políticas públicas más efectivas y la implementación de proyectos de desarrollo sostenible.⁽¹⁴⁾

Hay que destacar que los ayuntamientos de nuestro país de manera autónoma pueden tomar como base este trabajo, para desarrollar su propia cartografía, con la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El uso de UAV permite obtener datos geospaciales de alta resolución y cobertura en áreas urbanas, superando las limitaciones de las técnicas tradicionales de levantamiento topográfico.

Por otro lado, los SIG proporcionan herramientas para el procesamiento, análisis y visualización de los datos cartográficos, facilitando la toma de decisiones basadas en información actualizada y precisa.

Luego de haber transcurrido unos 9 años desde que se realizó la cartografía base del municipio San José de Ocoa, dentro de los trabajos del Plan de Desarrollo Urbano, es prioritario que se revise y actualice esta información, con el fin de mostrar la evolución de la mancha urbana, aprovechando estas herramientas de mapeo.

Objetivo

Crear un Sistema de Información Geográfica para el casco urbano del municipio San José de Ocoa

MÉTODO

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

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.⁽¹⁵⁾

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.

La exportación de este plano en formato shapefile, con su posterior integración al Sistema de Información Geográfica (SIG) previamente establecido para el estudio, garantiza la interoperabilidad de los datos y facilita su interpretación, análisis y gestión dentro del contexto geoespacial del área de estudio. Este proceso ha generado un producto sistematizado y robusto para la elaboración de mapas cartográficos precisos y de calidad del municipio San José de Ocoa.

Hipótesis

La cartografía del municipio San José de Ocoa, ha experimentado cambios importantes en el período 2015-2023, en cuanto a la expansión de la mancha urbana.

La ocupación de los cursos fluviales por parte de personas que han edificado sus viviendas ahí, es superior en dimensiones a la observada 8 años atrás.

El uso de tecnologías de fotogrametría digital con VANT y SIG en el diseño de un mosaico cartográfico municipal permitirá obtener informaciones precisas, actualizadas y de mayor calidad, mejorando así la toma de decisiones del gobierno local en el desarrollo de sus planes urbanos y gestión del territorio de San José de Ocoa.

La conservación de las vías en cuanto a su estado físico de consolidación, deterioro y/o intervención, no ha experimentado cambios desde 2015.

Explicaciones Sobre el 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.

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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Creación del Sistema de Información Geográfica casco urbano del municipio San José de Ocoa

El Sistema de Información Geográfica (SIG) para el casco urbano del municipio de San José de Ocoa es un componente esencial en el desarrollo de un enfoque integral para el análisis espacial y la toma de decisiones. Un SIG se define como un conjunto de herramientas que integra diversos componentes, permitiendo el almacenamiento, organización, manipulación, modificación, análisis y difusión de grandes conjuntos de datos geospaciales del mundo real. Este enfoque no solo facilita la gestión eficiente de la información, sino que también incorpora aspectos culturales, sociales, económicos y ambientales, enriqueciendo así el proceso de toma de decisiones.

La georreferenciación emerge como el elemento central en un SIG, ya que todos sus componentes (puntos, líneas, polígonos, imágenes Raster) deben estar vinculados a un marco de referencia común. En el contexto de la República Dominicana, este marco de referencia se define mediante el Datum WGS 1984 y el Sistema de Proyección Cartográfico UTM, siendo la Zona 19 N la correspondiente al país.

En la actualidad, dos de los softwares más destacados en el ámbito de los SIG son ArcGIS Pro y QGIS.

QGIS, un software de código abierto, ofrece una solución libre diseñada para diversas plataformas, con más de 20 años de experiencia y una creciente adopción mundial debido a su gratuidad, formato de código abierto y facilidad de aprendizaje.

ArcGIS Pro, desarrollado por la empresa ESRI, es un software de escritorio líder en el mercado, reconocido por su capacidad para crear y trabajar con datos geospaciales en múltiples formatos. La empresa ESRI también ofrece ArcGIS Online, una poderosa herramienta basada en la nube para la creación y compartición de mapas web interactivos. La estructura educacional de formación de ESRI ha contribuido a consolidar su posición como líder en el mundo geoespacial.

En el marco de este trabajo, se optó por utilizar los softwares ArcGIS Pro y ArcGIS Online, aprovechando la licencia educativa con que cuenta la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), a la cual pertenecemos con orgullo como parte de su cuerpo docente. Esta elección se basa en la robustez y constante desarrollo de estos programas, respaldando así la calidad y precisión de nuestro Sistema de Información Geográfica para el casco urbano de San José de Ocoa.

Capas o Layers que Integran el SIG Creado.

- Ortoimagen satelital del polígono que abarca el casco urbano del municipio de San José de Ocoa del año 2013 con un GSD resampleado de 0,50 m, fue obtenida de la empresa DigitalGlobe: Satélite GeoEye-1, sensor óptico, multiespectral y pancromático, resolución pancromática 0,41 m, resolución Multiespectral: 1,65 m, dicha imagen viene de una composición de bandas RGB que representa el color verdadero y fue la utilizada por el Ing. Pedro E. Sosa Veras para la elaboración del Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de San Jose de Ocoa en el 2015.
- Ortofoto georreferenciada resultante del vuelo fotogramétrico realizado por nosotros para el presente trabajo de

investigación en septiembre del año 2023 con un GSD de 0,05 m.

- Modelo digital del terreno y de superficie, obtenidos del procesamiento de las imágenes del vuelo fotogramétrico detallado en punto anterior con un GSD de 0,30 m.
- Shapefile de polígonos de construcciones vectorizados sobre la Ortoimagen 2023.
- Shapefile de ejes de calles, cañadas y el Río Ocoa obtenidos de la Ortoimagen 2023.
- Shapefile parcelas catastrales histórica y posicionales georreferenciadas, disponibles en la Oficina Virtual de Registro Inmobiliario al mes de julio del año 2023.
- Los planos en formato .PDF y AutoCAD, derivados del Plan de Desarrollo Urbano del municipio de San José de Ocoa en 2015, han sido refinados y mejorados para una integración más eficiente en la base de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG). Es esencial señalar que, para incorporar estos planos a la base de datos del SIG, fue necesario llevar a cabo un proceso de georreferenciación. Esta tarea específica fue realizada utilizando el software Global Mapper y la imagen satelital originalmente empleada para la vectorización de los planos del mencionado Plan de Desarrollo Urbano. El plano georreferenciado obtenido se exportó en formato shapefile con el propósito de integrarlo de manera eficiente como una capa o layer dentro del Sistema de Información Geográfica del casco urbano del municipio de San José de Ocoa. Esta acción facilita la comparación directa entre dos momentos temporales distintos, específicamente los planos correspondientes a los años 2015 y 2023.

La finalidad de las operaciones descritas anteriormente es llevar a cabo un análisis visual detallado, de los cambios experimentados en el casco urbano del municipio objeto de nuestro estudio, a lo largo del tiempo. Al integrar estos dos planos en el sistema de información geográfica, se establece una base sólida para evaluar y contrastar los elementos urbanos, las infraestructuras y cualquier otra transformación que haya tenido lugar durante el periodo comprendido entre 2015 y 2023.

Este enfoque comparativo permitirá identificar de manera efectiva patrones, evoluciones y tendencias urbanas, brindando así información valiosa para la toma de decisiones urbanísticas y el desarrollo sostenible del municipio de San José de Ocoa.

Shapefile de provincias y municipios de la República Dominicana, el origen de esta capa es de la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE).

Generación de Curvas de Nivel para Integrarlas al Mapa Cartográfico del Casco Urbano del Municipio San José de Ocoa

A partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) obtenido mediante el procesamiento de las imágenes fotográficas, empleamos las herramientas de geoprocésamiento del software ArcGIS Pro para generar las curvas de nivel que serán integradas en el mapa cartográfico del casco urbano de San José de Ocoa.

La elección de la equidistancia entre curvas, establecida en 2 metros, se fundamenta en la peculiar topografía del casco urbano, que se extiende en las laderas de la montaña y está atravesado por 4 cañadas o arroyos, además de encontrarse a orillas del río Ocoa.

Es importante resaltar que la elección de la equidistancia en este contexto está directamente relacionada con la escala final del mapa cartográfico que estamos desarrollando en el marco de este estudio, la cual será de 1:5 000. La decisión de esta escala se basa en la consulta de los mapas cartográficos municipales elaborados por el Instituto Geográfico Nacional José Hungría Morel (IGN). Sin embargo, gracias a la excepcional calidad de la Ortoimagen que hemos generado, con una notable resolución (GSD) de 0,05 metros, podemos producir planos a escalas aún más detalladas.

Esta resolución superior nos permite garantizar un nivel óptimo de detalle y claridad en la representación final. Asimismo, posibilita la generación de planos a escalas más pequeñas, consolidando un valioso conjunto de información geoespacial. Estos planos resultan fundamentales para diversos propósitos, desde la planificación urbana hasta análisis geográficos detallados del casco urbano de San José de Ocoa. En este sentido, nuestra capacidad para generar planos a escalas más pequeñas añade un nivel de precisión que enriquece significativamente la utilidad de la información geográfica para una variedad de aplicaciones.

Generación de la Tabla de Atributos para la Capa de Edificaciones y sus Usos en el Casco Urbano del Municipio San José de Ocoa

Como parte integral del Sistema de Información Geográfica (SIG) objeto del presente estudio, tras definir la capa que abarca todas las edificaciones y construcciones en el casco urbano del municipio de San José de Ocoa, procedimos a la creación de una tabla de atributos exhaustiva.

Enfocamos nuestra atención en detallar el uso específico de cada uno de los polígonos, que se clasifican en diversas categorías, tales como:

Tabla 1. Atributos de los polígonos por categorías de la capa edificaciones y construcciones del casco urbano	
Comerciales	Locales y establecimientos comerciales.
Deportivos	Áreas destinadas a actividades deportivas.
Educacionales	Instituciones educativas y centros de formación.
Equipamientos Médicos	Instalaciones relacionadas con servicios de salud.
Habitacionales	Residencias y viviendas.
Institucionales	Espacios destinados a entidades públicas y privadas.
Religiosos	Lugares de culto y actividades religiosas.

Adicionalmente, proporcionamos información detallada sobre el número de niveles de cada construcción, añadiendo una dimensión vertical que enriquece la representación tridimensional del entorno urbano. Asimismo, incluimos nombres significativos de instituciones gubernamentales y municipales que contribuyen a la identificación y contextualización de la información geoespacial.

Esta tabla de atributos constituye un componente esencial del Sistema de Información Geográfica, fortaleciendo la capacidad del estudio para analizar y gestionar de manera integral la diversidad de usos en el tejido urbano de San José de Ocoa.

Levantamiento de Información y Digitalización en la Creación del Sistema de Información Geográfica del Casco Urbano

En el proceso de recopilación de los datos mencionados anteriormente, implementamos la impresión de planos a una escala detallada de 1: 1 000 del casco urbano. Acompañados por personal auxiliar debidamente capacitado, llevamos a cabo una meticulosa exploración de cada rincón del polígono central seleccionado para la creación del Sistema de Información Geográfica (SIG) del casco urbano del municipio, como parte integral del presente estudio.

Las observaciones y datos recolectados en el terreno fueron posteriormente sometidos a un proceso de digitalización. Este paso es esencial para alimentar la tabla de atributos que forma la columna vertebral del SIG. Cabe resaltar que el software ArcGIS Pro proporciona herramientas digitales avanzadas, las cuales fueron empleadas para facilitar la captura automatizada de datos de campo. Esta tecnología no solo agiliza el proceso, sino que también mejora la precisión y calidad de la información incorporada al SIG.

Es importante subrayar que las herramientas digitales del ArcGIS Pro no sólo fueron valiosas en la etapa de creación del SIG, sino que también ofrecen una solución eficaz para el mantenimiento y la actualización continua del sistema. Esta capacidad automatizada garantiza la vigencia y exactitud del Sistema de Información Geográfica generado por nuestro equipo, consolidando su utilidad a lo largo del tiempo.

Productos Resultantes de la Investigación Actual

- Sistema de Información Geográfica (SIG) del casco urbano del municipio: El desarrollo de este SIG representa una valiosa herramienta para la planificación y gestión del territorio de la oficina de ordenamiento urbano del ayuntamiento del municipio de San José de Ocoa. Nuestro equipo se pone a disposición para la instalación del sistema y la capacitación del personal en su uso y mantenimiento. Este SIG proporciona una visión integral y detallada del entorno urbano, facilitando la toma de decisiones informadas y estratégicas en el ámbito municipal.
- Aplicación informática (APP) de la cartografía municipal del casco urbano del municipio de San José de Ocoa. Accesible a través del enlace: <https://experience.arcgis.com/experience/95eb46522bea4943a895054fe3886cbd>.
- Mapa Cartográfico Municipal del Casco urbano de San José de Ocoa a Escala 1:5 000 en Formato de Impresión PDF: Les presentamos el enlace para entrar al Mapa Cartográfico Municipal del Casco urbano de San José de Ocoa, elaborado con una escala detallada de 1:5 000. Disponible en formato PDF, en el siguiente enlace: https://drive.google.com/file/d/1IUUg0EWpVj1lx49aL_nBBF9ogOcN4nfb/view?usp=drive_link.

Esta APP interactiva se presenta como una herramienta extraordinaria que permite a los usuarios realizar búsquedas, consultas y análisis geoespaciales del casco urbano de San José de Ocoa. Disponible en computadoras, tabletas o dispositivos móviles a través de la web, ofrece diversas funcionalidades, tales como:

- Medición de distancias y superficies.
- Comparación visual de los cambios experimentados en el casco urbano entre los años 2015 y 2023.
- Impresión de planos personalizados.
- Activación o desactivación de capas del mapa para una visualización personalizada.
- Cambio del mapa base según las necesidades del usuario.
- Visualización de leyendas de mapas para una comprensión detallada.

Estas herramientas no sólo representan el fruto de la investigación actual, sino que también ofrecen recursos significativos para los profesionales de la ciencia de la medición, la comunidad, autoridades municipales y cualquier persona interesada en explorar y comprender la dinámica geoespacial del casco urbano del municipio de San José de Ocoa.

Este mapa brinda una representación cartográfica precisa y detallada del entorno urbano, destacando elementos significativos y ofreciendo una visión clara del tejido urbano. La escala 1:5 000 proporciona un equilibrio óptimo entre la información detallada y la cobertura geográfica, siendo una herramienta valiosa para diversos fines, desde análisis urbanos hasta la planificación de proyectos locales. Este recurso está disponible para su descarga y consulta, facilitando el acceso a información geoespacial clave para residentes, investigadores y planificadores urbanos interesados en el desarrollo y la gestión del casco urbano de San José de Ocoa.

Imágenes de los Diferentes Productos del APP Interactivo del SIG

Implementamos un SIG integral para el casco urbano de San José de Ocoa utilizando ArcGIS Pro y Fotogrametría Digital con VANT (Vehículos Aéreos No Tripulados), con la supervisión de la maestra Eva Mejía. Este SIG incluye capas como: ortoimágenes, modelos digitales del terreno, y shapefiles de construcciones, ejes de calles y ríos, además de las informaciones catastrales disponibles al momento en los archivos de la Jurisdicción Inmobiliaria.

En Cuanto a la Generación de Curvas de Nivel

La generación de curvas de nivel con una equidistancia de 2 metros, basada en el Modelo Digital del Terreno, enriquece el mapa cartográfico, adaptándose a la topografía local. Además, creamos una tabla de atributos detallada para las edificaciones, clasificándolas por usos específicos.

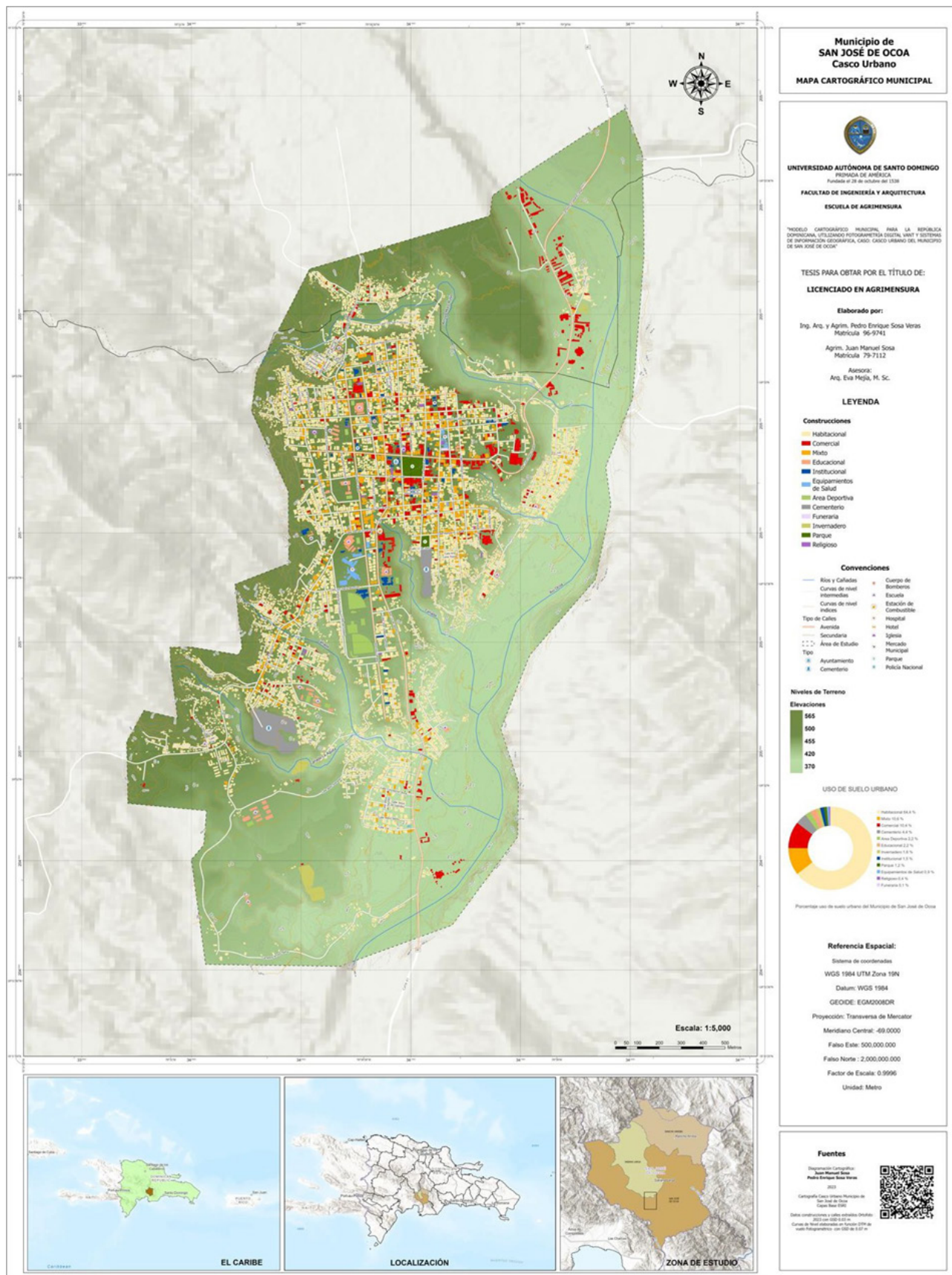


Figura 1. Mapa Cartográfico Municipal del Casco urbano de San José de Ocoa

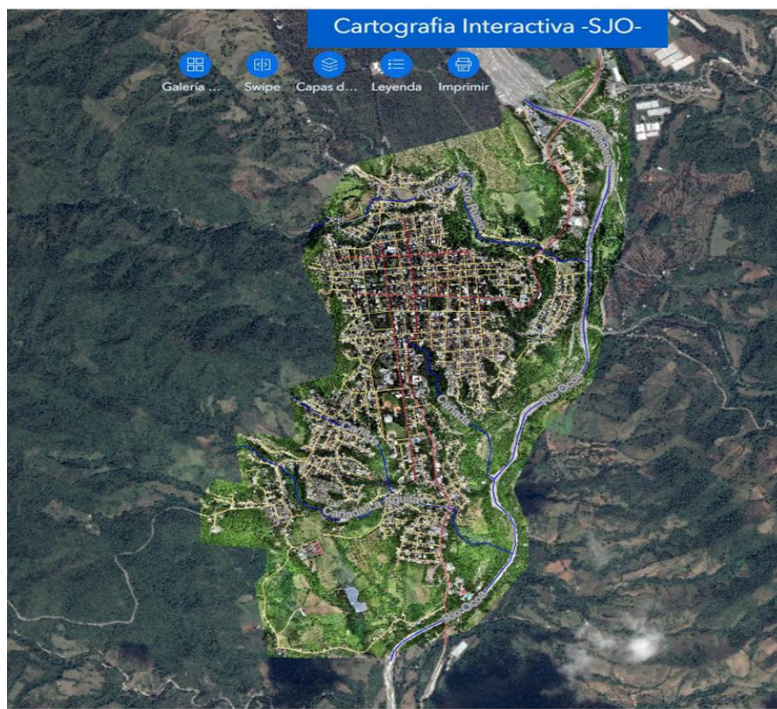


Figura 2. Captura del APP que muestra la Cartografía interactiva San José de Ocoa

Cartografía Interactiva SJO - Curvas de Nivel

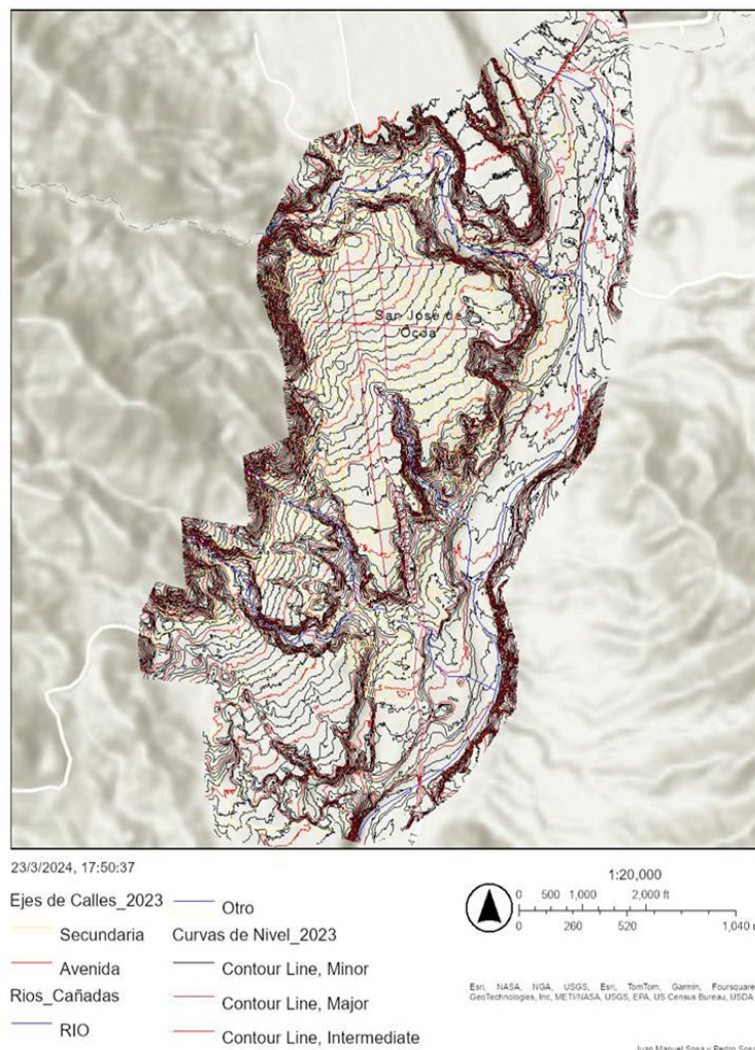


Figura 3. Impresión desde la APP del plano de curvas de nivel del casco urbano de San José de Ocoa

En Relación a las Capas

El levantamiento de información en el terreno, seguido de la digitalización, alimenta la tabla de atributos y asegura la vigencia del SIG.

Las capas que conforman el SIG abarcan ortoimágenes, modelos digitales del terreno, shapefiles de construcciones, ejes de calles y ríos, así como planos georreferenciados obtenidos mediante Fotogrametría Digital con VANT.

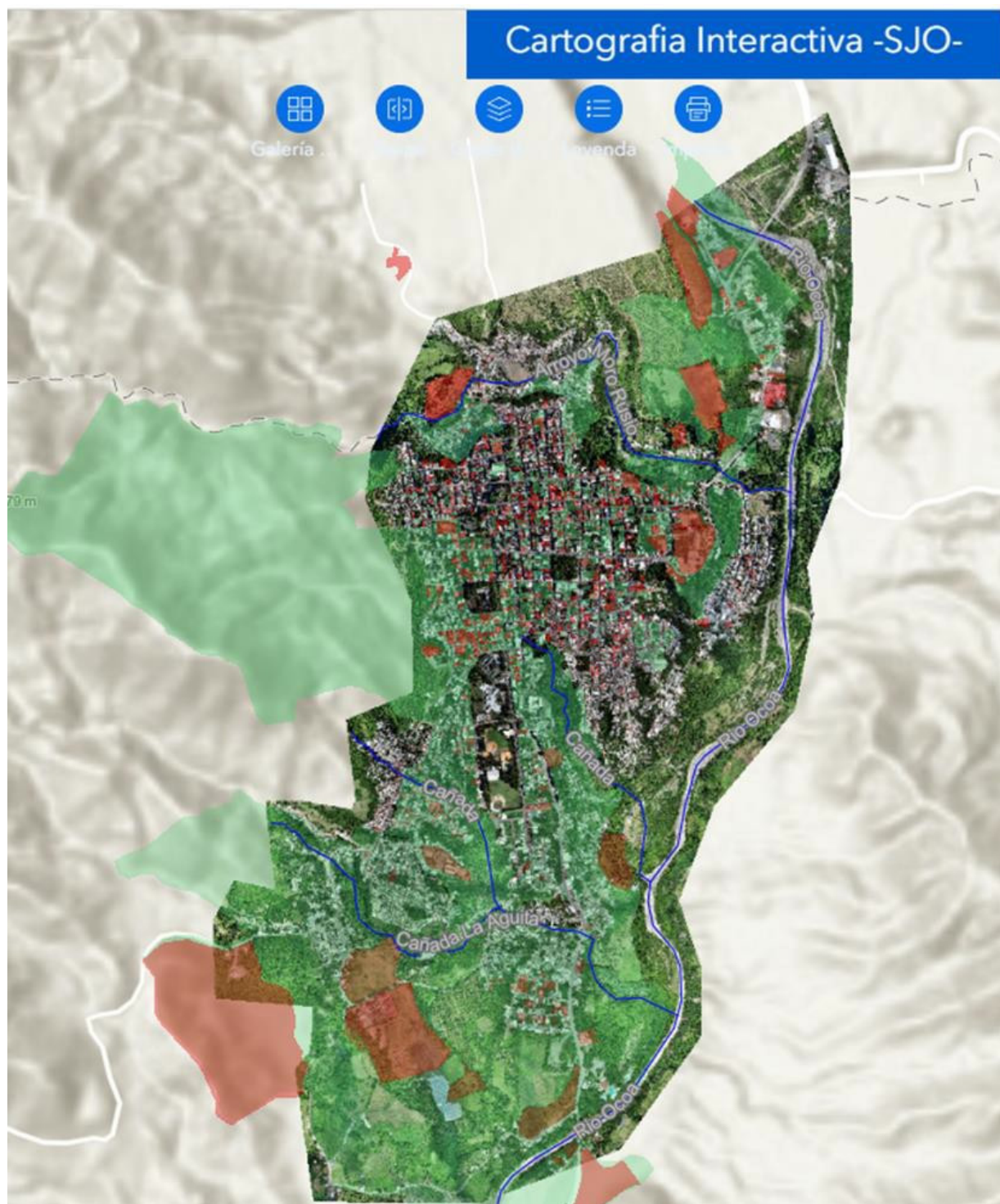


Figura 4. Visualización en la APP de Parcelas históricas y posicionales

En lo Referente a la Ortofoto y Entorno Urbano

Los productos resultantes de este proyecto incluyen un SIG, una Aplicación para dispositivos móviles (APP) del Sistema de Información Geográfica (SIG) y un mapa impreso a escala 1:5 000.

Estos recursos son herramientas esenciales para la planificación y toma de decisiones en el ámbito municipal, proporcionando una visión detallada y actualizada del entorno urbano de San José de Ocoa.

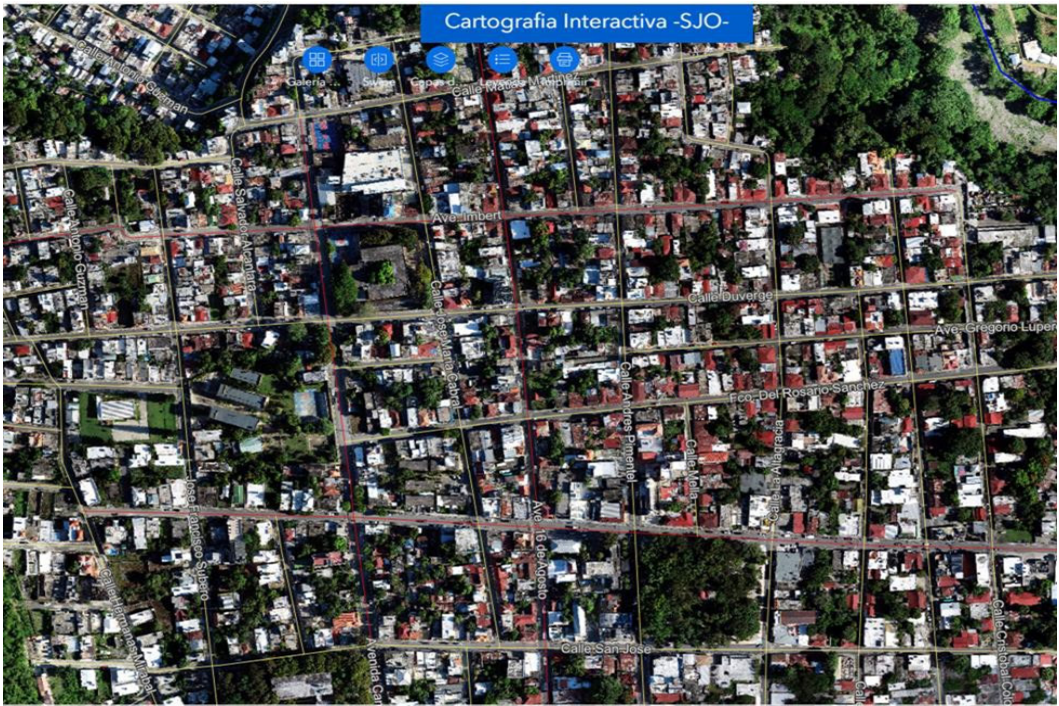


Figura 5. Visualización en la APP de calles y Ortofotodel casco urbano de San José de Ocoa

Comprobación de la Cartografía

Comprobación de la cartografía mediante el uso de un personal que recorrió el municipio por toda el área cartografiada, provistos de los planos, validando y/o actualizando la información vectorizada de la cartografía generada con las informaciones del levantamiento con el VANT.

La cartografía del municipio San José de Ocoa, ha experimentado cambios importantes en el período 2015-2023, en cuanto a la expansión de la mancha urbana.

Al analizar la evolución de la mancha del casco urbano del municipio San José de Ocoa desde el año 2015 hasta diciembre de 2023, se puede observar una expansión generada por el incremento de la superficie construida de los tipos de usos de suelo, las evidencias se pueden ver en el mapa cartográfico, mientras que la cuantificación del fenómeno la mostramos en la tabla comparativa de usos de suelo (tabla 2), para los años 2015 versus 2023:

Tabla 2. Usos de suelo destinados comparativo 2015-2023			
Usos de suelo destinados a	Año 2015 (m²)	Año 2023 (m²)	Incremento porcentual
Área deportiva	18,353	18,989	3,47 %
Cementerio	31,802	37,361	17,48 %
Comercial y Mixtos	115,842	177,544	53,26 %
Educacional	3,956	18,869	376,97 %
Equipamientos de salud	4,632	7,529	62,54 %
Habitacional	361,733	544,433	50,51 %
Institucional	9,307	12,252	31,64 %
Religioso	3,015	3,716	23,25 %

La corroboración de estos resultados respalda la premisa inicial de la hipótesis, confirmando que, en efecto, ha habido cambios en la expansión de la mancha urbana en el municipio San José de Ocoa durante el período estudiado. Esta confirmación aporta solidez a la hipótesis planteada, ratificando su validez.

Para obtener una comprensión más detallada y visualizar estos cambios, se recomienda explorar la APP creada por este trabajo de investigación, disponible en: <https://experience.arcgis.com/experience/95eb46522bea4943a895054fe3886cbd>

La construcción de edificaciones en zonas de riesgo en las inmediaciones de las cañadas, muestra la evolución de este fenómeno, habiéndose incrementado en 2023, en comparación con lo registrado en el año 2015, en el Plan de Desarrollo Urbano de San José de Ocoa.

De acuerdo a los registros del Plan de Desarrollo Urbano de San José de Ocoa del año 2015, la ocupación por construcciones en la zona de riesgo 30 metros de longitud medida desde el centro de las cañadas (como lo establece la Ley 64-00), era de 22,530 metros cuadrados. Para diciembre del 2023 fecha en que se concluyó el trabajo de campo de la presente investigación, esta superficie había aumentado hasta alcanzar 55 242,85 metros cuadrados, lo que representa un incremento total de 32 712,85 metros cuadrados y un

valor porcentual de 245,20 %. A continuación, la tabla 3 analiza el comportamiento de los dos usos más relevantes, en la referida ocupación por Usos de Suelo Destinados.

En Relación a las Edificaciones y Cursos Fluviales



Figura 6. Impresión de plano de edificaciones y cursos fluviales desde la APP interactiva

En Cuanto al Uso de la Herramienta Swipe (Deslizar)

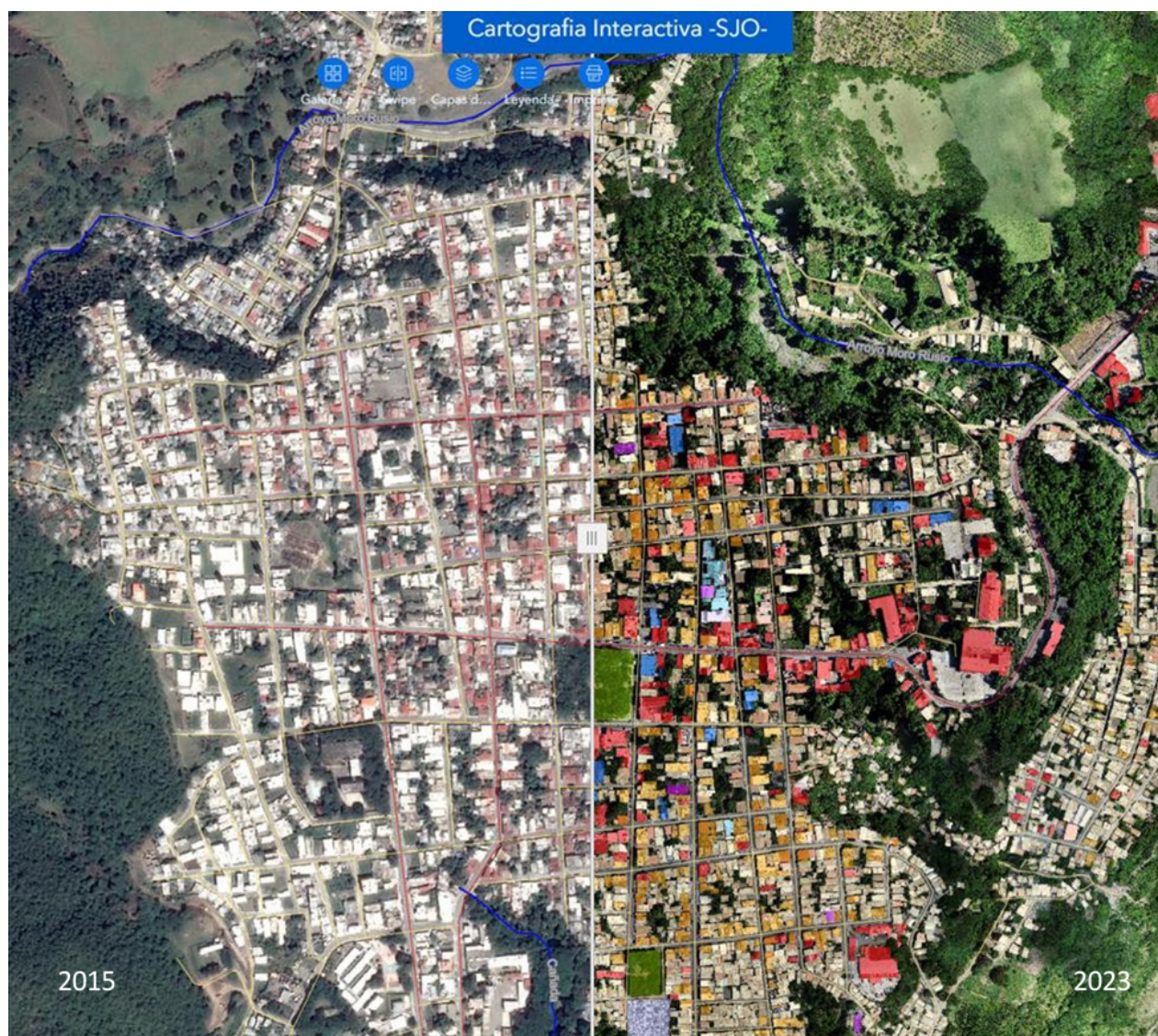


Figura 7. Herramienta Swipe, se desliza el cursor sobre la cartografía 2015 y 2023, para hacer comparaciones

Tabla 3. Usos de suelo destinados comparativo 2015-2023			
Usos de suelo destinados a	Año 2015 (m ²)	Año 2023 (m ²)	Incremento porcentual
Comercial	4 796	6 000	25,10 %
Habitacional	17 601	43 790	248,79 %

Estos datos respaldan la validez de la hipótesis planteada, demostrando que la ocupación en la zona de riesgo de las cañadas ha crecido en el lapso de los últimos 8 años.

Podemos decir que las evidencias proporcionadas por los resultados de la comparación de las áreas ocupadas, respalda la asunción de la hipótesis, confirmándose su veracidad.

El uso de tecnologías de fotogrametría digital con vehículo aéreo no tripulado (VANT) y sistema de información geográfica (SIG) en el diseño de un mosaico cartográfico municipal permitirá obtener informaciones precisas, actualizadas y de mayor calidad, mejorando así la toma de decisiones del gobierno local en el desarrollo de sus planes urbanos y gestión del territorio de San José de Ocoa.

Con las herramientas e informaciones tales como, orto imágenes de alta resolución, modelos de elevación digital, imágenes satelitales, bases de datos geospaciales, tecnologías de posicionamiento global (GPS) y datos parcelarios catastrales, que desarrollamos en este trabajo de investigación y el sistema de información geográfica que diseñamos conjuntamente, el gobierno local podrá aumentar su capacidad de respuesta, lo que a la vez potenciará la toma de decisiones en materia de planificación, defensa civil ante desastres, evaluación de riesgos naturales, gestión de recursos naturales y ordenamiento territorial, que son elementos cruciales para el desarrollo sostenible de la región.

Estos recursos son fundamentales para la creación y alimentación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que se ha

desarrollado conjuntamente con el Mapa Cartográfico como objetivo general de esta tesis. El SIG actúa como una plataforma integral que permite la recopilación, almacenamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales, facilitando la toma de decisiones informadas en diversas áreas. Al poner a disposición del gobierno local de San José de Ocoa este SIG, previamente entrenando al personal encargado en su uso, se ha proporcionado una herramienta valiosa para abordar desafíos específicos en la gestión del territorio. La capacidad de visualizar información geográfica en un entorno digital permite una toma de decisiones más eficiente y estratégica.

En el desarrollo de esta investigación, se ha evidenciado que la asunción de la hipótesis fue correcta. La implementación y utilización del SIG ha arrojado resultados positivos y tangibles, demostrando de manera satisfactoria su eficacia en la planificación territorial, la respuesta a desastres naturales y la gestión de recursos. Estos hallazgos respaldan la relevancia y utilidad del enfoque propuesto, destacando la importancia de la tecnología geoespacial como un componente clave en el desarrollo y la toma de decisiones a nivel local.

El crecimiento de la trama vial, así como la conservación de las vías en cuanto a su estado físico de consolidación, deterioro y/o intervención, ha experimentado cambios desde 2015.

Un análisis comparativo para los años 2015-2023 muestra un incremento en la red vial completa, lo que incluye vías consolidadas, intervenidas y no intervenidas, a continuación, cuantificamos este fenómeno.

Tabla 4. Usos de suelo crecimiento en vías comparativo 2015-2023

Longitud total de vías en 2015	52 775
Longitud total de vías en 2023	56 991,46
Incremento total experimentado en el periodo	4 215,74
Variación porcentual	8 %

Este dato respalda que la trama vial ha experimentado un crecimiento cuantificable, lo que incluye también la evolución de su estado de consolidación.

CONCLUSIONES

La implementación y utilización del SIG ha arrojado resultados positivos y tangibles. La metodología desarrollada no se limita al caso específico de San José de Ocoa; es replicable a nivel nacional. La combinación de fotogrametría digital mediante VANT y SIG puede ser aplicada en todos los municipios de la República Dominicana.

Además de la creación de mapas, la metodología permite la actualización continua de las bases cartográficas municipales. La replicabilidad de esta metodología promueve la optimización de recursos, distribuyendo la inversión inicial en tecnologías entre múltiples municipios y permitiendo una gestión más efectiva de los recursos gubernamentales. Este trabajo ha sentado las bases para una metodología robusta y replicable que puede ser implementada en todo el país, lo que resulta en una herramienta integral para el desarrollo y la gestión territorial de cada municipio de la República Dominicana.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

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.

Investigación: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

Metodología: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

Administración del proyecto: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

Recursos: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

Software: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

Supervisión: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

Validación: Juan Manuel Sosa, Pedro Enrique Sosa Veras, Eva Mejía.

Visualización: 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_temal.pdf.s.f.

2. García Vines 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. 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=trues.f.
5. Urban Design Lab. GIS as a tool for Urban Planning. 2022. <https://urbandesignlab.in/gis-as-a-tool-for-urban-planning/s.f>.
6. 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.12886s.f>.
7. I aerocol. ¿Fotogrametría con Drones? Estos son los Mejores Drones. Colombia. 2021. <https://iaerocol.co/blog/fotogrametria-con-drones-los-mejores-drones-aqui/s.f>.
8. 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>.
9. 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>.
10. Aguirre Sánchez, C. Geodesia. 2023. <https://www.slideshare.net/slideshow/geodesiapptx-255580353/255580353s.f>.
11. Alonso Sarría, F. Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Murcia. España. 2015. <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf.s.f>.
12. 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%20desarrollos.f>.
13. Acosta, Guillermo et al. El Empleo de Fotogrametría 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=6880003s.f>.
14. 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.s.f.
15. 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.