UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Influencia de la implementación de un sistema de información geográfica en la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025

Asesor:

Mg. Roldan Juarez, Americo

Autor:

Contreras Huamantica, Frank Richard

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2026

Acta de sustentación

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 035

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los ocho (08) días del mes de julio del 2026, siendo las 09:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0540-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente	:	Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel
Dictaminante	:	Mag. CORNEJO ROSALES, Horacio Fernando Antonio Hassan
Replicante	:	Ph.D. VÁSQUEZ RAMÍREZ, Abbon Alex

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: ***Influencia de la implementación de un sistema de información geográfica en la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025.***

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: CONTRERAS HUAMANTICA, Frank Richard

Para optar el Tituló Profesional de:
Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐:

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller	Nota	Detalle (**)
Br. CONTRERAS HUAMANTICA, Frank Richard	13	APROBADO

Siendo las 10:23 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

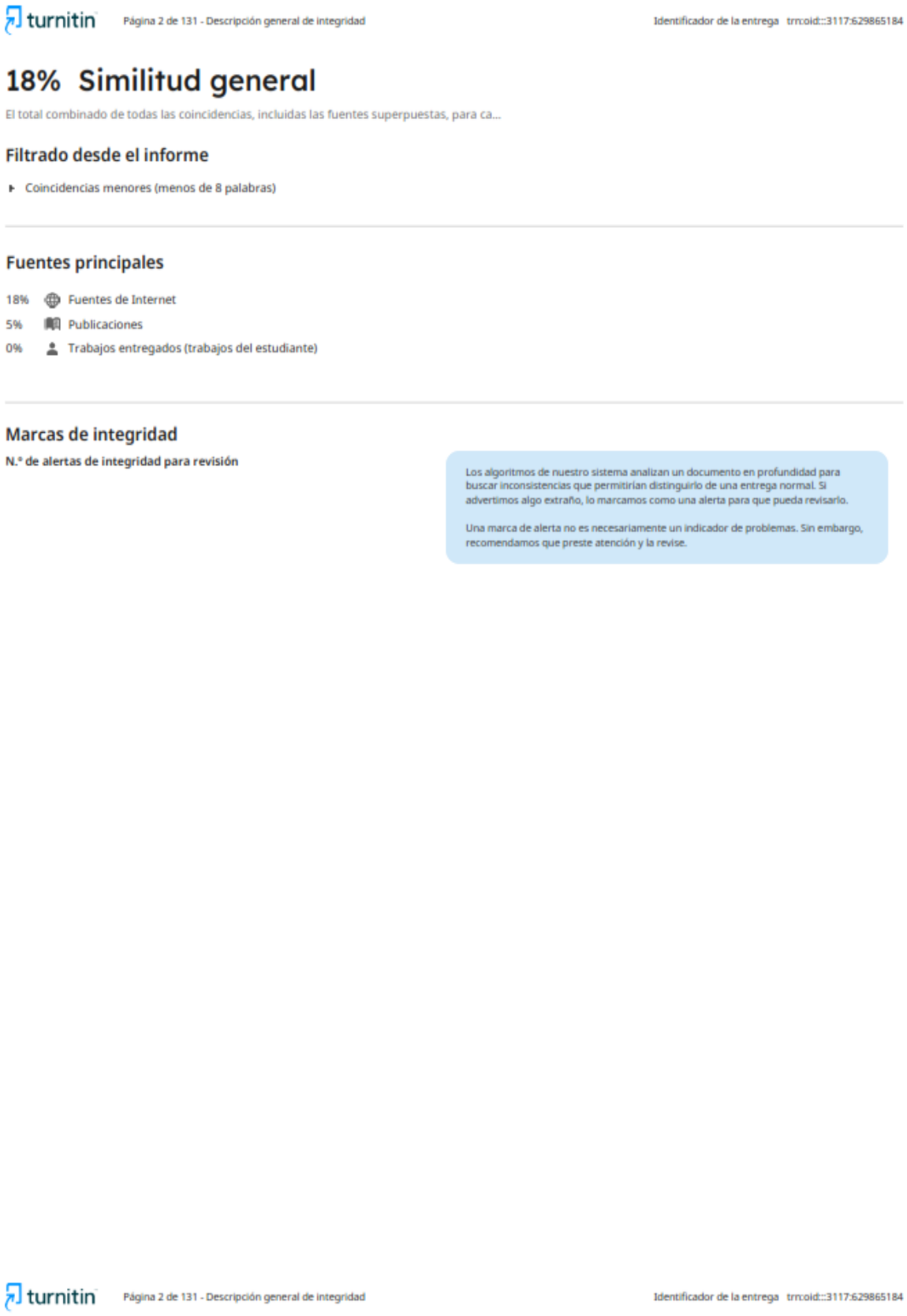
Presidente: Mag. MALDONADO MENDIVIL, Ángel (.....)

Dictaminante: Mag. CORNEJO ROSALES, Horacio Fernando Antonio Hassan (.....)

Replicante: Ph.D. VÁSQUEZ RAMÍREZ, Abbon Alex (.....)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y nombres	**:**	Contreras Huamantica, Frank Richard
Tipo de documento de identidad	**:**	DNI
Numero de documento de identidad	**:**	72894218
URL ORCID	**:**	https://orcid.org/0009-0008-9349-2302
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	**:**	Roldan Juarez, Americo
Tipo de documento de identidad	**:**	DNI
Numero de documento de identidad	**:**	45043748
URL ORCID	**:**	https://orcid.org/0000-0001-7796-7947
Datos de la investigación		
Facultad	**:**	Ingeniería
Escuela profesional	**:**	Ingeniería civil
Línea de investigación	**:**	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	**:**	10 meses
Fuente de financiamiento	**:**	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	**:**	18 % con deposito
URL OCDE	**:**	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mis padres y a mi hermano, por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba de mis capacidades.

A mis amigos, por comprender mis ausencias y por brindarme su apoyo durante este proceso académico.

Y a mí mismo, por no rendirme ante las dificultades y por perseverar en cada etapa de mi formación profesional hasta alcanzar esta meta.

Agradecimientos

A mi universidad, por brindarme los conocimientos y herramientas que contribuyeron a mi formación profesional y por enseñarme el valor de la perseverancia en la búsqueda del conocimiento.

A mi asesor, por su orientación, paciencia y apoyo constante durante el desarrollo de esta tesis.

A mis amigos, por la experiencia compartida, su comprensión y sus palabras de aliento en los momentos más exigentes de este proceso.

Resumen

La presente tesis evaluó la influencia de la implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la gestión del catastro urbano del distrito de Chacoche (Abancay, Apurímac, 2025). Ante la carencia de cartografía georreferenciada actualizada, se desarrolló una metodología aplicada de nivel explicativo con diseño no experimental.

Para la generación de la cartografía base, se combinaron métodos directos e indirectos. Mediante un receptor GNSS diferencial enlazado a la estación ERP-AP02 del IGN, se estructuró un punto geodésico de orden "C". Asimismo, se ejecutó un levantamiento aerofotogramétrico con un dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro a 105 m de altitud (398 imágenes), obteniendo un ortomosaico de 0.827 km^2 con resolución espacial de 3.21 cm/píxel y un error de reproyección de 1.08 píxeles.

A partir de estos insumos, se implementó una geodatabase en ArcGIS Pro estructurada en 5 capas vectoriales, aplicando reglas topológicas que garantizaron la ausencia de vacíos y superposiciones. Se vectorizaron y delimitaron 175 predios urbanos distribuidos en 30 manzanas, calculando de forma automatizada sus áreas, perímetros y asignando un código catastral único a cada unidad.

Los resultados evidenciaron que la integración del SIG optimizó la precisión posicional, redujo los tiempos de consulta de horas a segundos y centralizó la información predial, demostrando una influencia favorable en la organización, disponibilidad y toma de decisiones para la administración territorial municipal.

Palabras clave: Sistema de información geográfica, catastro urbano, base de datos catastral, drone.

Abstract

This thesis evaluated the influence of implementing a Geographic Information System (GIS) on urban cadastre management in the district of Chacoche (Abancay, Apurímac, 2025). Due to the lack of updated georeferenced cartography, an applied, explanatory-level methodology with a non-experimental design was developed.

To generate the base cartography, direct and indirect methods were combined. A "C" order geodetic point was established using a differential GNSS receiver linked to the IGN's ERP-AP02 station. Additionally, an aerial photogrammetric survey was conducted using a DJI Mavic 3 Enterprise Pro drone at a flight altitude of 105 m (capturing 398 images), producing an orthomosaic covering 0.827 km^2 with a spatial resolution of 3.21 cm/pixel and a reprojection error of 1.08 pixels.

Based on these inputs, a geodatabase structured into 5 vector layers was implemented in ArcGIS Pro, applying topological rules to ensure the absence of gaps and overlaps. A total of 175 urban parcels across 30 blocks were vectorized and delineated, with automated calculations for areas and perimeters, as well as the assignment of a unique cadastral code to each unit.

The results demonstrated that GIS integration optimized positional accuracy, reduced query response times from hours to seconds, and centralized land information, showing a favorable influence on organization, availability, and decision-making for municipal land administration.

Keywords: Geographic Information System, urban cadastre, cadastral database, drone.

Índice general

Portada ..... **i**

Acta de sustentación ..... **ii**

Reporte de similitud ..... **iii**

Metadatos ..... **iv**

Dedicatoria ..... **v**

Agradecimientos ..... **vi**

Resumen ..... **vii**

Abstract ..... **viii**

Índice general ..... **ix**

Índice de figuras ..... **xiii**

Índice de tablas ..... **xv**

Índice de Anexos ..... **xvii**

I. Introducción **18**

II. Planteamiento del problema **19**

2.1 Descripción y formulación del problema 19

Problema General 22

Problemas específicos 22

2.2. Objetivos 22

2.2.1. Objetivo general 22

2.2.2. Objetivos específicos 22

2.3. Justificación e importancia 22

2.4. Hipótesis 23

2.5. Variables 24

III. Marco teórico 25

3.1. Antecedentes 25

3.2. Bases teóricas 29

3.2.1. Sistema de Información Geográfica 29

3.2.2. Gestión del Catastro Urbano 35

3.3. Definición de términos 40

3.3.1. Levantamiento topográfico de alta precisión 40

3.3.2. Georreferenciación 40

3.3.3. Cartografía catastral 41

3.3.4. Sistema de Coordenadas Geográficas 41

3.3.5. Datum Geodésico 41

3.3.6. Modelo Digital de Elevación (MDE) 41

3.3.7. Precisión Catastral 42

3.3.8. Fotogrametría 42

3.3.9. Sistema de Información Geográfica (SIG) 42

3.3.10. Geodatabase (Base de Datos Geoespacial) 43

3.3.11. Catastro Urbano 43

3.3.12. Ortomosaico 44

IV. Metodología 45

4.1. Tipo y nivel de investigación 45

Tipo de investigación 45

Nivel de investigación 45

4.2. Ámbito temporal y espacial 45

Temporal 45

4.3. Población y muestra 47

4.4. Instrumentos 48

4.4.1. Dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro 48

4.4.2. Receptor GNSS Diferencial CHCNAV i73 48

4.5. Procedimientos 49

4.5.1. Reconocimiento preliminar del área de estudio 49

4.5.2. Gestión y recopilación de información catastral existente: 50

4.5.3. Autorización y planificación del levantamiento aéreo con dron 50

4.5.4. Verificación y levantamiento de información en campo 50

4.6. Análisis de datos 56

4.6.1 Levantamiento de cartografía base mediante método directo 56

4.6.2 Levantamiento de cartografía base mediante método indirecto 57

4.6.3. Obtención de coordenadas 58

4.6.4 Informe final de procesamiento de obtención de ortofoto 62

4.6.5. Implementación de datos geoespacial (geodatabase) 69

4.7. Consideraciones éticas 76

V. Resultados y discusión. 77

5.1. Resultados..... 77

5.1.1. Resultados objetivo general (Variable Independiente)..... 77

5.1.2. Resultados objetivos específicos (Variable dependiente) 81

5.2. Discusiones..... 86

VI. Conclusiones..... 89

VII. Recomendaciones..... 93

VIII. Referencias..... 98

IX. Anexos..... ¡Error! Marcador no definido.

Índice de figuras

Figura 1 Atributos de informacion de gestion catastral.....38

Figura 2 Dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro 48

Figura 3 Receptor GNSS Diferencial CHCNAV i73 49

Figura 4 Aplicativo DJI Pilot 51

Figura 5 Configuración de trayectoria.....51

Figura 6 Imágenes obtenidas mediante el dron 52

Figura 7 Imágenes obtenidas mediante el dron 53

Figura 8 Conversión de coordenadas 53

Figura 9 Orientacion de imagenes.....54

Figura 10 Nube de puntos densa 54

Figura 11 Modelo digital.....55

Figura 12 Figura ortomosaica general.....55

Figura 13 Se muestra la imagen posterior y frontal de la antena GNSS 56

Figura 14 Se muestra la imagen del Dron DJI Mavic 3 Enterprise y GNSS CHCNAV i73.....57

Figura 15 Estimación de calidad del procesamiento fotogramétrico 57

Figura 16 La línea base y/o ajuste de red generado por el software de procesamiento .59

Figura 17 La línea base y/o ajuste de red generado por el software de procesamiento .59

Figura 18 Transformación de la altura inclinada a la vertical.....60

Figura 19 Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes 62

Figura 20 Gráfico de residuales para M3M (12.29 mm).....63

Figura 21 Posiciones de cámaras y estimadores de error.....64

Figura 22 Posiciones de cámaras y estimadores de error.....65

Figura 23 Información de la Geodatabase.....70

Figura 24. Vectorización de manzanas.....72

Figura 25 Vectorización de lotes en la ortofoto 73

Figura 26 Vectorización de lotes.....74

Figura 27 Información exportada al CAD.....74

Índice de tablas

Tabla 1. Funciones basicas de la gestion de informacion catastral 37

Tabla 2 Datos descriptivos del lugar de estudio 46

Tabla 3 Registro de observación GNSS del punto geodésico orden "C" (Norma Técnica Geodésica – IGN) 58

Tabla 4 Resultados procesamiento 61

Tabla 5 Especificaciones técnicas de la cámara utilizada en el levantamiento con dron 62

Tabla 6 Coeficientes de calibración y matriz de correlación.....64

Tabla 7 Errores medios de las posiciones de cámaras. X-Este, Y-Norte, Z-Altitud 65

Tabla 8 Parámetros de calidad del modelo digital de elevaciones (MDE).....66

Tabla 9 Nube de puntos 66

Tabla 10 Nube de puntos densa 67

Tabla 11 Modelo digital de elevaciones 68

Tabla 12 Características del ortomosaico 69

Tabla 14 Información catastral urbano 71

Tabla 15 Resultado obtenido mediante metodo directo punto geodesico 77

Tabla 16 Resultados obtenidos mediante método indirecto 77

Tabla 17 Resultados obtenidos mediante método indirecto 78

Tabla 18 Resultados de registros de predios.....79

Tabla 19 Resultados de la delimitación de lotes.....81

Tabla 20 Dimensión: Precisión catastral-Comparativa de la situación antes y después de la implementación del SIG 82

Tabla 21 Resultados de organización de registros.....83

Tabla 22 Resultados de acceso a información predial.....84

Tabla 23 Resultados de actualización de datos.....84

Tabla 24 Resultados de consulta de información espacial 85

Tabla 25 Dimensión: Gestión de informacion catastral-Comparativa de la situación antes y después de la implementación del SIG.....85

Tabla 26 Resumen de influencia del SIG 86

Índice de Anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 2 Operacionalizacion de variables ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 3 Diario de observación llenado en campo..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 4 Formulario de información de la estación base utilizada**¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 5 Descripción monográfica del punto geodésico**¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 6 Resumen de cuadro de lotes ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 7 Plazo de lotización..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 8 Documento de solicitud de información y permiso para realizar el trabajo de investigación..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 9 Panel fotográfico..... **¡Error! Marcador no definido.**

I. Introducción

El catastro urbano es una herramienta esencial para la gestión del territorio, ya que permite contar con información precisa y georreferenciada sobre los predios y las características físicas de una ciudad, facilitando la planificación urbana y la toma de decisiones a nivel municipal. No obstante, en el distrito de Chacoche, provincia de Abancay, el crecimiento urbano ha generado la necesidad de actualizar el catastro urbano con información más confiable. Los levantamientos anteriores no siempre alcanzan los niveles de precisión requeridos, lo que ocasiona errores en la delimitación predial y dificultades en la integración de la información territorial en un Sistema de Información Geográfica.

Ante esta problemática, el uso de tecnologías como los drones y el GPS diferencial permite realizar levantamientos topográficos de alta precisión, obteniendo imágenes y datos geoespaciales con mayor exactitud. La incorporación de esta información en un Sistema de Información Geográfica mejora la organización, el análisis y la visualización del catastro urbano, convirtiéndose en una herramienta clave para la gestión territorial. Por ello, la presente tesis realizo el levantamiento topográfico de alta precisión en la implementación de un Sistema de Información Geográfica aplicado al catastro urbano del distrito de Chacoche, Abancay – Apurímac, demostrando la importancia del uso de tecnologías geoespaciales modernas para mejorar la calidad y precisión de la información catastral.

El trabajo adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y no experimental, empleando el método hipotético - deductivo y un nivel explicativo. La tesis se estructuró en nueve capítulos, que incluyen: la caracterización del problema, los objetivos, la justificación y la hipótesis; así como un marco teórico robusto que abarca antecedentes, fundamentos normativos y conceptos técnicos clave.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

En las últimas dos décadas, la revolución geoespacial ha transformado radicalmente las metodologías de gestión territorial a nivel global. Autores como Navarro et al. (2022) documentan cómo la integración de tecnologías como los Sistemas de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) y la fotogrametría con drones ha reducido en más del 70% los tiempos y costos de levantamiento catastral en zonas de topografía compleja. Sin embargo, como señala Rojas (2023) en su estudio sobre municipios andinos peruanos, existe una "paradoja tecnológica": mientras el acceso a estas herramientas se ha democratizado, su implementación efectiva en contextos altoandinos sigue siendo marginal, perpetuando modelos de gestión territorial basados en cartografía análoga y metodologías obsoletas.

El Banco Mundial (2018) destaca que los países que han modernizado sus catastros mediante SIG y tecnologías GNSS han logrado aumentar en un 40% la recaudación fiscal local y optimizar la gestión urbana. El catastro urbano es un componente esencial para la planificación y gestión del desarrollo territorial. Sin embargo, en muchas municipalidades del Perú, su actualización es lenta, imprecisa o inexistente, debido a la carencia de tecnologías de levantamiento geoespacial modernas. Esta situación es particularmente crítica en zonas altoandinas como Chacoche, donde las condiciones topográficas demandan métodos de alta precisión para un mapeo exacto del territorio.

El distrito de Chacoche, enclavado en la región Apurímac a más de 3,200 msnm, presenta características geo-morfológicas que exigen aproximaciones técnicas específicas. Según Gutiérrez (2021), las pendientes pronunciadas, la fragmentación parcelaria y la presencia de microrelieves generan distorsiones significativas cuando se

utilizan métodos topográficos convencionales. Esta realidad es corroborada por Paredes et al. (2022), quienes en su investigación sobre catastro rural en Cusco demostraron que los errores acumulativos en mediciones con cinta y teodolito pueden superar el 15% en terrenos con pendientes mayores a 30°, comprometiendo la validez jurídica y técnica del registro catastral.

La problemática se agudiza cuando se analiza el componente tecnológico-institucional. Silva y Mendoza (2020) identifican tres barreras críticas en municipios andinos: primero la dependencia de consultorías externas esporádicas que generan discontinuidad en la actualización de datos, segundo, los formatos de almacenamiento dispersos e incompatibles (desde planos en papel hasta archivos CAD sin georreferenciar), y tercero, la falta de personal capacitado en el mantenimiento de sistemas geoespaciales. Esta situación genera lo que Torres (2023) denomina "islas de información" - conjuntos de datos aislados, desactualizados y con niveles de precisión heterogéneos que imposibilitan una gestión integral del territorio.

En el caso específico del catastro urbano de Chacoche, el diagnóstico preliminar revela múltiples capas de complejidad. Por un lado, como documenta Quispe (2022) en su análisis de catastros municipales en Apurímac, existe una superposición de sistemas: mientras algunas manzanas cuentan con mediciones relativamente recientes (aunque con metodologías convencionales), otras dependen de planos de loteo de los años 80 que nunca fueron actualizados, y un porcentaje significativo carece de cualquier registro formal. Esta heterogeneidad, según Vega et al. (2023), genera consecuencias concretas: subvaluación de predios que deberían tributar más, sobrevaluación de terrenos marginales, conflictos de linderos recurrentes, y limitaciones severas para la planificación urbana ante fenómenos como el crecimiento poblacional o la gestión de riesgos.

La incorporación de drones con cámaras multiespectrales y sensores LiDAR,

combinada con levantamientos DGPS de alta precisión, representa según Castro (2024) un punto de inflexión para municipios con características como Chacoche. Su investigación comparativa en cinco distritos andinos demostró que esta combinación tecnológica reduce el margen de error altimétrico a menos de 5 cm y el planimétrico a menos de 10 cm, cumpliendo con los estándares catastrales del Instituto Geográfico Nacional. Más aún, Fernández (2023) destaca cómo la integración nativa de estos datos en plataformas SIG como QGIS o ArcGIS permite no solo actualizar el catastro, sino generar modelos digitales del terreno (MDT) que facilitan análisis de drenaje, riesgos de deslizamiento y optimización de redes de servicios.

Sin embargo, la mera adquisición de equipamiento no garantiza el éxito. Ríos (2024) advierte sobre lo que denomina "implementación superficial": municipios que invierten en tecnología sin desarrollar capacidades locales de procesamiento, mantenimiento y actualización continua. Esta advertencia es particularmente relevante para Chacoche, donde según datos del INEI (2023), solo el 28% del personal técnico municipal ha recibido capacitación en herramientas geoespaciales en los últimos cinco años.

En el caso del distrito de Chacoche, ubicado en la región de Apurímac, se ha identificado la ausencia de un catastro moderno que permita sustentar decisiones sobre uso del suelo, tributos municipales y servicios urbanos. De acuerdo con el Instituto Catastral de Lima (2020), más del 60% de los municipios del interior del país carecen de bases georreferenciadas actualizadas, lo cual limita el desarrollo sostenible local. Este vacío evidencia la necesidad urgente de incorporar tecnologías como el levantamiento topográfico de alta precisión para generar datos confiables.

Esta tesis busca, analizar cómo la calidad de los datos de entrada determina la funcionalidad del SIG como herramienta de gestión catastral continua. Por tanto, en el

contexto del distrito de Chacoche, surge la necesidad de investigar cómo el levantamiento topográfico de alta precisión puede influir en la implementación efectiva de un SIG orientado al catastro urbano.

Problema General

- PG: ¿De qué manera influye la implementación de un Sistema de Información Geográfica en la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025?

Problemas específicos

- PE1: ¿Cómo influye la cartografía base generada mediante métodos directos e indirectos en la precisión del catastro urbano de Chacoche?
- PE2: ¿De qué manera influye la implementación de una geodatabase en la organización y disponibilidad de la información catastral urbana de Chacoche?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la implementación de un Sistema de Información Geográfica en la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025.

2.2.2. Objetivos específicos

- OE1: Evaluar la influencia de la cartografía base generada mediante métodos directos e indirectos en la precisión del catastro urbano de Chacoche.
- OE2: Analizar la influencia de la implementación de una geodatabase en la organización y disponibilidad de la información catastral urbana de Chacoche.

2.3. Justificación e importancia

Justificación

La presente tesis se justifica por la necesidad de contar con un catastro urbano preciso y actualizado en el distrito de Chacoche, debido a las limitaciones de los levantamientos topográficos tradicionales, que generan información desactualizada y con

menor exactitud. En este contexto, el uso de drones y GPS diferencial permite obtener datos geoespaciales de alta precisión, mejorando la delimitación predial y la calidad de la información catastral.

Desde el punto de vista técnico y metodológico, el estudio evalúa la aplicación de tecnologías geoespaciales modernas para la implementación de un Sistema de Información Geográfica, lo cual contribuye a optimizar los procesos de actualización catastral. Asimismo, la tesis aporta un procedimiento técnico replicable en otros distritos con características similares, fortaleciendo el uso de herramientas modernas en la gestión territorial.

Importancia

La importancia de esta tesis radica en la mejora de la calidad y precisión del catastro urbano del distrito de Chacoche mediante la implementación de un Sistema de Información Geográfica basado en información topográfica de alta precisión. El uso de drones y GPS diferencial permite reducir errores, optimizar tiempo y recursos, y generar información confiable para la planificación urbana.

Además, los resultados del estudio servirán como apoyo técnico para la gestión municipal, facilitando la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento y el desarrollo urbano, contribuyendo así al fortalecimiento de la gestión del territorio a nivel local.

2.4. Hipótesis

Hipótesis general

- HG. La implementación de un Sistema de Información Geográfica influye favorablemente en la optimización de la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025.

Hipótesis especificas

- HE1: La cartografía base generada mediante métodos directos e indirectos influye favorablemente en la precisión del catastro urbano de Chacoche.
- HE2: La implementación de una geodatabase influye favorablemente en la organización y disponibilidad de la información catastral urbana de Chacoche.

2.5. Variables

Variable independiente

Sistema de Información Geográfica (SIG)

El Sistema de Información Geográfica es la variable independiente porque representa la causa o el factor que se manipula o implementa en la tesis. En la presente tesis, se implementó el SIG como una herramienta nueva dentro del proceso de gestión catastral. Donde el SIG actúa como el estímulo o la intervención que se aplica para observar su efecto sobre la variable dependiente. En resumen, se podría decir que el SIG es independiente porque su implementación no depende del estado del catastro; al contrario, es una herramienta que se introduce deliberadamente para modificar o mejorar la gestión catastral.

Burrough et al. (2015), definen un Sistema de Información Geográfica como un conjunto de instrumentos de hardware y software diseñados para la captura, almacenamiento, análisis, modelado y representación de datos geoespaciales. En este sentido, el SIG se constituye como una variable independiente cuando es introducido intencionalmente en un sistema de gestión territorial para observar sus efectos.

Variable dependiente

Gestión de catastro Urbano

La gestión del catastro urbano es la variable dependiente porque representa el efecto o el resultado que se espera que cambie como consecuencia de implementar el SIG. En conclusión, la gestión del catastro fue dependiente porque su calidad, eficiencia y

precisión fueron condicionadas por las herramientas tecnológicas que se utilizaron, en este caso, el SIG. De acuerdo con Trabanco et al. (2022), la gestión del catastro urbano implica procesos sistemáticos de registro, actualización y codificación de parcelas, esenciales para la planificación tributaria y el ordenamiento territorial.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

Sepúlveda Millán (2021), desarrolló un ensayo científico-académico como trabajo de grado para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad Militar Nueva Granada. Su objetivo fue analizar el papel de los sistemas de información geográfica (SIG) en los procesos de ordenamiento territorial en Colombia, específicamente en el marco del diplomado en SIG realizado en Cajicá. La población de estudio estuvo conformada por experiencias de planificación urbana en diversos municipios colombianos. Se utilizó como instrumento el análisis documental de normativas y políticas territoriales. El autor concluyó que los SIG permiten integrar variables socioespaciales en el planeamiento, pero se requiere mayor articulación técnica e institucional para su implementación eficiente en territorios descentralizados.

Chiles y Pico (2024), desarrollaron una tesis de licenciatura en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, enfocada en la aplicación de sistemas de información geográficos para el catastro de afloramientos naturales de petróleo en la provincia de Santa Elena, Ecuador. El objetivo fue generar un archivo digital catastral que integre información alfanumérica y georreferenciada de 57 afloramientos registrados en campo. La población estuvo compuesta por los afloramientos naturales detectados en territorio provincial, y se trabajó con datos recolectados mediante observación directa, GPS y procesamiento en software SIG. Como instrumento, utilizaron ArcGIS y formatos técnicos de captura de campo. Se concluyó que el uso del SIG facilitó una representación

precisa y visualmente comprensible de los datos, optimizando la toma de decisiones técnicas y administrativas en la gestión de hidrocarburos.

Ortiz (2021), elaboró una tesis de grado en la Universidad de Pamplona con el objetivo de aplicar los sistemas de información geográfica (SIG) en la elaboración del catastro de redes de acueducto y alcantarillado en el municipio de Chitagá, Norte de Santander. La investigación tuvo como población la infraestructura hidráulica del casco urbano, y como muestra las redes subterráneas documentadas y levantadas mediante topografía. El instrumento utilizado fue el levantamiento topográfico con estación total, apoyado por software SIG y hojas de campo para el procesamiento de datos. Se concluyó que el uso del SIG permitió digitalizar, organizar y representar gráficamente la información de redes, facilitando la gestión operativa y el mantenimiento de la infraestructura de servicios públicos.

Manrique y García (2023), realizaron una tesis de especialización en la Universidad de Manizales, centrada en la utilización del sistema de información geográfica de gestión predial en el Macroproyecto San José. El objetivo fue integrar datos prediales temáticos y cartográficos proporcionados por la Empresa de Renovación Urbana de Manizales (ERUM), para visualizar y gestionar 317 predios urbanos. La población fue constituida por dichos predios y la muestra por los datos con códigos catastrales actualizados. Utilizaron como instrumento la base de datos proporcionada por ERUM, tratada mediante depuración, codificación y carga en ArcGIS, además de visualización en Google Earth mediante archivos KMZ. Se concluyó que la implementación del SIG permitió una gestión territorial más eficiente y visualmente interactiva, integrando la normativa predial con los entornos digitales para la toma de decisiones urbanas.

Hernández (2024) junto a Salabarría, Iglesias y Canino desarrollaron un artículo

académico en Cuba, centrado en la organización metodológica de proyectos de sistemas de información geográfica (SIG) aplicados a la gestión territorial. El objetivo fue establecer una estructura organizativa para planificar, ejecutar y consolidar proyectos SIG en el contexto institucional cubano. La población correspondió a entidades estatales responsables de planificación urbana y rural, y la muestra se enfocó en proyectos SIG ejecutados en diferentes provincias. Como instrumentos, utilizaron revisión de experiencias previas, análisis de modelos metodológicos y entrevistas a expertos del sector. Concluyeron que la estructuración lógica y secuencial de fases SIG —desde el levantamiento topográfico hasta la integración de bases geográficas— permite mejorar la gobernanza territorial, siempre que exista soporte técnico, institucional y normativo.

Mucha (2024), elaboró una tesis de licenciatura en la Universidad Nacional del Centro del Perú, con el objetivo de determinar de qué manera un Sistema de Información Geográfica (SIG) influía en la gestión del catastro urbano en la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo. Clasificada como tesis de pregrado, la investigación tomó como población los registros prediales urbanos del distrito, seleccionando como muestra 100 registros y 100 búsquedas catastrales. Como instrumento utilizó una geodatabase construida con ArcGIS, fichas prediales, GPS para georreferenciación y visores digitales para consultas. Se concluyó que el uso del SIG permitió reducir el tiempo promedio de registro en un 32.55% y las consultas catastrales en un 37.61%, además de mejorar la eficiencia en la gestión técnica-administrativa de los predios, demostrando que la implementación de un sistema automatizado fortalece la toma de decisiones y el ordenamiento territorial.

Carbajal (2021), presentó una tesis de licenciatura en la Universidad Nacional Federico Villarreal con el propósito de aplicar un Sistema de Información Geográfica (SIG) en el catastro urbano del distrito de La Perla, Callao. El objetivo fue mejorar la

organización y acceso a la información catastral mediante herramientas digitales. La población estuvo conformada por los predios urbanos del distrito, y se tomó como muestra los sectores con mayor densidad poblacional. Como instrumentos, se usaron imágenes satelitales, hojas de campo, software ArcGIS y fichas prediales. La tesis concluyó que la implementación del SIG permitió consolidar una base de datos geoespacial precisa, reducir tiempos de consulta y mejorar la gestión municipal. Asimismo, facilitó la elaboración de mapas temáticos y la integración de datos alfanuméricos y gráficos, lo que repercutió en un manejo territorial más eficiente y transparente.

Huarancca y León (2023), realizaron una tesis de licenciatura en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, con el objetivo de aplicar un SIG en la tasación de predios urbanos del sector San Juan Evangelista. La tesis, de tipo aplicada, tuvo como población los predios del área urbana y como muestra las propiedades inspeccionadas para valorización catastral. Se emplearon como instrumentos las fichas prediales, equipos GPS para georreferenciación, fotografía aérea y software ArcGIS. Se concluyó que el SIG permitió realizar un levantamiento ordenado y preciso, simplificar el cálculo arancelario y reducir el tiempo de procesamiento de datos. Además, la digitalización cartográfica mejoró la transparencia en la valoración de predios y permitió proyecciones para el desarrollo urbano local. El estudio evidenció que la herramienta tecnológica aporta significativamente a los procesos de tasación, organización y gestión del suelo urbano.

Curmayari (2022), presentó un informe de suficiencia profesional en la Universidad Nacional Federico Villarreal, con el objetivo de aplicar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la georreferenciación e implementación de áreas verdes urbanas en el distrito de San Juan de Lurigancho. La investigación estuvo orientada a elaborar propuestas de mejora ambiental basadas en el análisis espacial. La

población correspondió al área urbana del distrito y la muestra a los espacios públicos con potencial para arborización. Como instrumentos, utilizó imágenes satelitales Sentinel-2, análisis NDVI, software ArcGIS y trabajo de campo. Se concluyó que el SIG facilitó la identificación precisa de zonas carentes de cobertura vegetal y permitió proponer una red de áreas verdes conectadas, con impacto en la sostenibilidad ambiental y en la calidad de vida de los habitantes. La experiencia demostró que la aplicación del SIG es una herramienta clave para la planificación ambiental urbana.

Mendoza (2021), elaboró una tesis de licenciatura en la Universidad Nacional Federico Villarreal con el objetivo de aplicar un visor geográfico como herramienta de digitalización del catastro urbano en el distrito de Pueblo Libre. La tesis fue de tipo aplicativo y utilizó como población los predios registrados en la base catastral municipal. La muestra fue una selección representativa de sectores urbanos con problemas de actualización catastral. Se emplearon como instrumentos software ArcGIS Pro, formularios digitales, herramientas de digitalización cartográfica y enlaces a visores web. Se concluyó que el uso del visor geográfico permitió mejorar la accesibilidad, precisión y organización de los datos catastrales, lo cual fortaleció la interoperabilidad entre dependencias municipales. Además, se evidenció una reducción en los tiempos de respuesta institucional y un incremento en la calidad del servicio catastral ofrecido a los ciudadanos.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Sistema de Información Geográfica

El Sistema de Información Geográfica (SIG) constituye, desde una perspectiva teórica, un campo multidisciplinario que integra la geografía, la cartografía, la informática y la teledetección. De acuerdo con Longley et al. (2015), un SIG no es simplemente un software de mapas, sino un sistema sociotécnico compuesto por hardware, software,

datos, procedimientos y personas, todos articulados para capturar, almacenar, analizar y desplegar información referenciada espacialmente.

Desde la teoría de sistemas, Burrough y McDonnell (2018) conceptualizan el SIG como un sistema de soporte de decisiones espaciales, cuya función principal es transformar datos geográficos crudos en información útil para la planificación y gestión del territorio. En el contexto del catastro urbano, esta transformación implica que datos dispersos (linderos, áreas, propietarios, valores fiscales) se integren en una base única, superando el enfoque tradicional de archivos físicos y planos independientes.

Dimensión 1

Cartografía Base Digital

La cartografía base digital constituye el piso geométrico sobre el cual se construye cualquier sistema de información catastral. Desde la perspectiva de la geografía cuantitativa, Duecker (2018) define este concepto como el conjunto de datos espaciales de referencia que representan la localización y geometría de los elementos físicos permanentes del territorio, excluyendo temporalmente las capas temáticas como usos de suelo o valorización.

Una diferencia teórica crucial planteada por Wolf y Dewitt, (2000) es que la cartografía base digital, a diferencia de su antecesora analógica, separa la geometría (dónde están las cosas) de la simbología (cómo se representan visualmente). Esta separación permite actualizar datos sin redibujar mapas completos y facilita la consulta espacial interactiva.

Para el catastro urbano, la cartografía base digital incluye como mínimo: la red vial, la delimitación de manzanas, la subdivisión en lotes o parcelas, la hidrografía superficial, la topografía relevante y los puntos de control geodésico. En el contexto peruano, el Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2022) exige que esta cartografía emplee

el sistema de coordenadas UTM WGS84 huso 18S, garantizando la compatibilidad con otras entidades del Estado.

La precisión posicional y el error medio cuadrático (RMSE) como atributos fundamentales

La precisión posicional es, el atributo de calidad más crítico en cartografía catastral. Se define como el grado de coincidencia entre la coordenada real de un punto en terreno (medida con instrumentación topográfica) y la coordenada registrada en el mapa digital. En términos jurídicos, una baja precisión posicional puede derivar en conflictos de linderos, dobles titulaciones o impugnaciones fiscales.

El indicador técnico estándar para cuantificar esta precisión es el Error Medio Cuadrático o RMSE (Root Mean Square Error). La American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 2014) establece que, para escalas catastrales urbanas de 1:500, el RMSE horizontal admisible no debe superar los 0.20 metros, mientras que para escalas 1:1000 el umbral asciende a 0.50 metros. Estos valores no son arbitrarios: responden a criterios derivados de la teoría de errores de Gauss, que establece que el 68% de los puntos medidos deben caer dentro del rango ±RMSE y el 95% dentro del rango ±2×RMSE.

En el caso específico de Chacoche, si el levantamiento catastral se realiza con equipos GNSS de precisión submétrica o estaciones totales, se espera alcanzar un RMSE inferior a 0.15 metros. Sin embargo, si se emplean imágenes satelitales de acceso libre (como Sentinel-2, cuya resolución es de 10 metros), el RMSE sería inaceptable para fines catastrales, evidenciando que la precisión posicional está directamente condicionada por la tecnología de captura empleada.

Cobertura cartográfica y calidad del ortomosaico

La cobertura cartográfica, en términos teóricos, expresa el porcentaje del área de

estudio que ha sido digitalizada y se encuentra disponible dentro del SIG. Longley et al. (2015) distinguen entre cobertura completa (100% del área urbana), cobertura parcial (solo sectores prioritarios) y cobertura dispersa (predios aislados sin continuidad espacial). Para un catastro urbano funcional, se requiere cobertura completa del suelo urbano consolidado, pues los vacíos cartográficos generan lo que Williamson et al. (2010) denominan "tierras invisibles para el Estado": áreas que no tributan, no tienen servicios planificados y pueden ser objeto de invasiones sin registro.

Paralelamente, la calidad del ortomosaico se refiere al producto obtenido al corregir geométrica y radiométricamente imágenes aéreas o satelitales. Wolf et al. (2000) explican que un ortomosaico de calidad presenta dos atributos:

a) Exactitud geométrica, es decir, cada píxel se corresponde con su ubicación real en terreno sin deformaciones por relieve o ángulo de captura
b) homogeneidad radiométrica, ausencia de cambios bruscos de brillo o contraste entre imágenes adyacentes que dificulten la interpretación visual.

En el contexto peruano, la norma técnica del IGN (2021) especifica que para catastro urbano se requiere ortomosaicos con resolución espacial mínima de 0.20 metros por píxel (20 cm), lo cual permite identificar linderos de predios, alineamiento de fachadas y obstrucciones viales. Un ortomosaico de menor resolución (1 metro o superior) solo sirve para fines de planificación macro, no para gestión catastral detallada.

Dimensión 2

Base de Datos Geoespacial (Geodatabase)

La geodatabase o base de datos geoespacial representa, según Zeiler (2019), la evolución de los sistemas de archivo de información geográfica, al integrar en un solo repositorio tanto los datos geométricos (dónde están las parcelas) como los datos alfanuméricos (a quién pertenecen, cuánto miden, qué uso tienen). Desde la teoría de

bases de datos relacionales, Date (2018) sostiene que una geodatabase debe cumplir que los datos se organicen en tablas, las tablas se relacionan mediante claves primarias y foráneas, y las consultas se ejecutan mediante un lenguaje estructurado (SQL) ampliado con operadores espaciales.

Integridad de registros y consistencia gráfica-alfanumérica

La integridad de registros constituye, en la teoría de bases de datos de Date (2018), una propiedad fundamental que garantiza que cada registro dentro de una tabla contenga todos los atributos obligatorios, sin valores nulos no permitidos ni duplicación de identificadores. Aplicado a la geodatabase catastral, esto implica que cada parcela cada fila en la tabla de unidades espaciales debe tener asociado un identificador único, un área calculada automáticamente por el SIG, y una referencia al propietario en la tabla correspondiente. Si una parcela carece de alguno de estos atributos, se dice que el registro es "incompleto" y el sistema debería alertar al operador.

Por su parte, la consistencia gráfica-alfanumérica aborda una condición más específica del ámbito geoespacial: la correspondencia entre geometría y atributo. Zeiler (2019) explica que en una geodatabase bien construida, por cada polígono de parcela almacenado debe existir exactamente una fila en la tabla de atributos, y viceversa. La ruptura de esta consistencia genera dos problemas clásicos:

a) Geometrías huérfanas (polígonos sin ficha técnica), que suelen deberse a errores de digitalización
b) Atributos huérfanos (fichas sin geometría asociada), que suelen provenir de migraciones incompletas desde sistemas antiguos. Ambos casos son inadmisibles en un catastro que pretenda tener validez operativa.

Consistencia topológica en el catastro urbano

La topología es, quizás, el concepto teórico más distintivo de los SIG en

comparación con otras herramientas informáticas. Según Clementini y Di Felice (2019), la topología estudia las relaciones espaciales entre entidades geométricas que se mantienen invariantes bajo transformaciones continuas (rotación, traslación, escala). En la práctica catastral, esto se traduce en reglas concretas:

a) Dos parcelas adyacentes no pueden superponerse,
b) No deben existir huecos (áreas sin asignar) entre parcelas colindantes
c) Los límites de parcela deben coincidir con los límites de manzana
d) Una parcela no puede estar completamente contenida dentro de otra sin una relación jurídica que lo justifique (servidumbre, copropiedad).

Egenhofer (2020) añade que la detección automática de violaciones topológicas constituye una de las ventajas más significativas del SIG sobre los planos en papel. Mientras en un sistema analógico la superposición de dos lotes solo se detecta si un operador humano la observa visualmente, en una geodatabase con topología activa el sistema puede generar alertas automáticas e incluso impedir la edición que viole las reglas definidas. Para Chacoche, implementar una geodatabase con topología catastral significa reducir drásticamente los conflictos de linderos, pues el sistema no permitirá registrar dos propietarios sobre la misma área.

Disponibilidad de la información catastral

La disponibilidad, en el marco de los sistemas de información de Laudon y Laudon (2021), se define como el grado en que los datos están accesibles para los usuarios autorizados en el momento y lugar donde los requieren, con tiempos de respuesta aceptables. En una geodatabase catastral, este indicador tiene dos dimensiones. La primera es la disponibilidad técnica: el servidor que aloja la base de datos debe funcionar en horario laboral (y preferiblemente 24/7), contar con respaldos periódicos y tener procedimientos de recuperación ante fallos. La segunda es la disponibilidad funcional:

los usuarios (funcionarios municipales, y eventualmente ciudadanos) deben poder realizar consultas espaciales básicas (ubicar una parcela, ver sus atributos, medir distancias) sin depender de un especialista en SIG.

3.2.2. Gestión del Catastro Urbano

La gestión del catastro urbano constituye, desde una perspectiva conceptual, el conjunto de procesos administrativos, técnicos y legales orientados a registrar, actualizar, mantener y difundir la información relativa a los predios ubicados dentro del suelo urbano de un municipio. De acuerdo con Williamson et al. (2010), el catastro moderno no puede entenderse como un simple inventario de propiedades, sino como un sistema de información territorial que sirve a múltiples propósitos: fiscal (determinación de impuestos prediales), jurídico (seguridad en la tenencia de la tierra), planificador (ordenamiento territorial) y económico.

En el contexto peruano, la gestión catastral se encuentra regulada por la Ley N° 28294 (Ley que establece el Sistema Nacional Integrado de Catastro y su vinculación con el Registro de Predios) y su reglamento. Esta norma establece que los gobiernos locales tienen competencia sobre el catastro fiscal o tributario, mientras que la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP) es responsable del catastro jurídico. La articulación entre ambos constituye uno de los desafíos más importantes de la gestión catastral peruana (Zegarra, 2018).

Dimensión 1

Precisión catastral

Para el caso de Chacoche, la precisión catastral es particularmente relevante porque las zonas de expansión urbana suelen tener títulos informales, linderos definidos "a ojo" por los propios ocupantes y áreas no medidas con instrumentación topográfica. Un catastro impreciso genera tres problemas consecutivos: conflictos vecinales por

deslindes, dificultades para determinar la base imponible del predial y obstáculos para la planificación de servicios básicos (Larsson, 2017).

Delimitación de lotes como indicador fundamental

En la práctica municipal peruana, la delimitación de lotes suele ser uno de los procesos más deficientes. Un estudio realizado en municipalidades de la sierra sur por Paredes (2020) encontró que más del 60% de los predios urbanos no tienen una delimitación precisa registrada, sino aproximaciones gráficas realizadas sobre ortofotos sin verificación de campo. Esta deficiencia es la principal causa de conflictos de linderos en la región.

Determinación de áreas y perímetros

La precisión en la determinación de áreas adquiere relevancia fiscal, pues el impuesto predial peruano (regulado por el Decreto Legislativo N° 776) se calcula multiplicando el valor del metro cuadrado de terreno por el área catastral del predio. Un error del 10% en el área de un lote puede significar, según el caso, que el propietario pague de más (incentivando reclamos y descontento) o pague de menos (generando pérdida de ingresos para el municipio). Por esta razón, Larsson (2017) sostiene que la determinación de áreas debe realizarse con métodos de alta precisión: estación total para lotes pequeños o GNSS de fase para lotes grandes, evitando el uso de planímetros digitales sobre ortofotos no georreferenciadas.

Identificación predial

En el sistema peruano, la identificación predial se organiza en tres niveles jerárquicos:

- **Nivel macro:** Distrito (Chacoche), sector, manzana.
- **Nivel meso**: Lote (número correlativo dentro de la manzana).
- **Nivel micro**: Sub-lote o unidad independiente (en caso de condominios o

edificios multifamiliares).

Adicionalmente, existe el Código Único del Predio (CUP), un identificador de 17 dígitos asignado por SUNARP que debería ser el vínculo entre el catastro municipal y el registro de propiedad. Sin embargo, Zegarra (2018) documenta que, en la mayoría de municipalidades peruanas, la identificación predial municipal no coincide con el CUP registral, generando lo que denomina "disociación catastral": un mismo predio tiene dos identidades diferentes según se consulte al municipio o a SUNARP.

Dimensión 2

Gestión de la información catastral

La gestión de la información catastral se define, según Steudler (2016), como el conjunto de políticas, procedimientos y tecnologías orientados a organizar, almacenar, actualizar, preservar y poner a disposición los datos del catastro a los usuarios autorizados y al público en general. Se diferencia de la precisión catastral en que esta última se ocupa de la calidad de los datos (qué tan exactos son), mientras que la gestión de información se ocupa de los procesos y sistemas que manejan esos datos (cómo se accede, actualiza y difunde).

Dale y McLaughlin (2019) distinguen cuatro funciones básicas en la gestión de información catastral:

Tabla 1.

Funciones basicas de la gestion de informacion catastral

Función	Descripción
Organización	Estructurar los datos en tablas, categorías y relaciones lógicas
Almacenamiento	Definir soportes físicos o digitales y políticas de respaldo
Actualización	Establecer procedimientos para incorporar cambios en tiempo real

Función	Descripción
Difusión	Garantizar el acceso a la información a usuarios internos y externos

Nota. La tabla muestra la función y la descripción básica de información catastral

Organización de registros

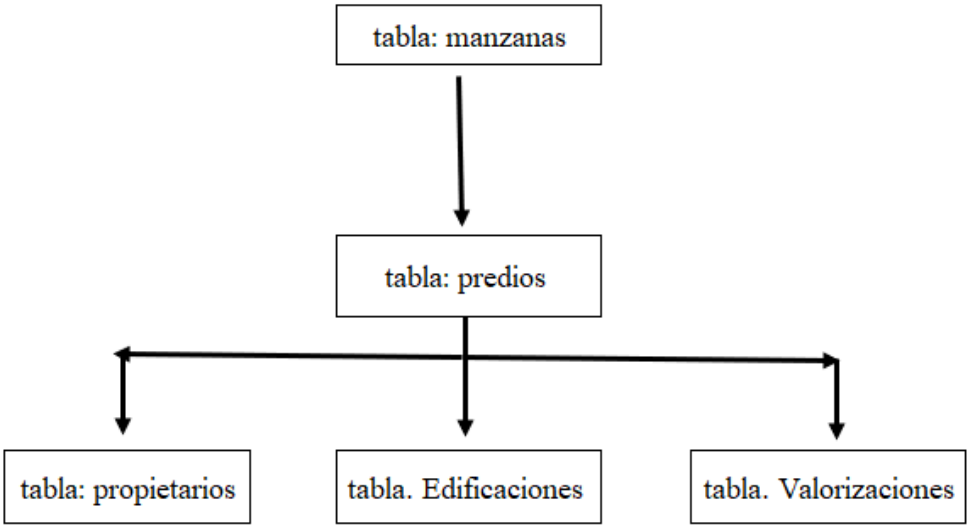
La organización de registros constituye la función más básica de la gestión de información catastral. Desde la teoría de bases de datos de Date (2018), organizar registros significa definir la estructura de tablas, los tipos de datos de cada campo, las relaciones entre tablas (claves primarias y foráneas), y los dominios de valores válidos para cada atributo.

Aplicado al catastro urbano, la organización de registros implica definir, al menos, las siguientes tablas y sus relaciones:

- **Manzanas:** Contiene el polígono de cada manzana y su código único.
- **Predios:** Contiene cada lote o parcela, con referencia a la manzana que la contiene (clave foránea)
- **Propietarios:** Contiene datos de personas naturales o jurídicas, con referencia al predio que poseen
- **Edificaciones:** Contiene datos de construcciones, con referencia al predio donde se ubican
- **Valoraciones:** Contiene el valor fiscal y la base imponible, con referencia al predio.

Figura 1

Atributos de informacion de gestion catastral.



Nota. La figura muestra la organización de atributos de la información de gestión catastral

Acceso a la información predial

El acceso a la información predial se refiere, según Laudon y Laudon (2021), a la capacidad de los usuarios autorizados (funcionarios municipales, y eventualmente ciudadanos) para recuperar y visualizar los datos catastrales que necesitan, en el momento y lugar donde los requieren, con tiempos de respuesta razonables.

En la gestión catastral tradicional (basada en papel), el acceso implica buscar el plano físico en un archivador, localizar la ficha del propietario en un cajón, y cotejar manualmente ambos documentos. Este proceso puede tomar horas o días. En un SIG integrado, el acceso consiste en escribir una consulta en el sistema y obtener en segundos tanto la geometría como los atributos asociados (Duecker, 2018).

Actualización de datos catastrales

La actualización de datos constituye, quizás, el proceso más crítico y a la vez más descuidado en la gestión catastral municipal. Según Williamson et al. (2010), un catastro no es un producto terminado, sino un proceso continuo: los predios cambian de propietario, se subdividen, se fusionan, cambian de uso, se valorizan o deprecian. La

dinámica catastral exige que la información se actualice con una frecuencia acorde a la velocidad de esos cambios.

Consulta de información espacial

La consulta de información espacial es la función que distingue fundamentalmente a un SIG de una base de datos convencional o de un archivo de planos. Según Longley et al. (2015), una consulta espacial es una pregunta sobre los datos que incluye una condición de localización o relación geométrica, del tipo: ¿qué predios están dentro de un radio de 100 metros de esta escuela?" o "¿cuántos lotes colindan con esta avenida?

3.3. Definición de términos

3.3.1. Levantamiento topográfico de alta precisión

El levantamiento topográfico de alta precisión es un proceso técnico que implica la recopilación detallada de datos geoespaciales mediante instrumentos avanzados como estaciones totales, receptores GNSS y escáneres láser. Este tipo de levantamiento busca minimizar errores y proporcionar información exacta sobre la ubicación, elevación y características del terreno, siendo esencial para proyectos de ingeniería, planificación urbana y desarrollo de infraestructuras. Según Schofield y Breach (2007), la precisión en los levantamientos topográficos es crucial para garantizar la fiabilidad de los datos utilizados en diversas aplicaciones técnicas.

3.3.2. Georreferenciación

La georreferenciación es el proceso mediante el cual se asignan coordenadas espaciales a datos o imágenes, permitiendo su ubicación precisa en un sistema de referencia geográfico. Este procedimiento es fundamental para integrar diferentes fuentes de información en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y facilitar el análisis espacial. Burrough y McDonnell (1998) destacan la importancia de la georreferenciación

para asegurar la coherencia y compatibilidad de los datos geoespaciales en estudios territoriales.

3.3.3. Cartografía catastral

La cartografía catastral es la representación gráfica detallada de los límites y características de las propiedades inmobiliarias dentro de una jurisdicción. Incluye información sobre la ubicación, dimensiones, uso del suelo y otros atributos relevantes de los predios. De acuerdo con Williamson et al. (2010), una cartografía catastral precisa es esencial para la administración eficiente de la tierra y la planificación urbana.

3.3.4. Sistema de Coordenadas Geográficas

Un sistema de coordenadas geográficas es un marco de referencia que utiliza una red de meridianos y paralelos para determinar la ubicación de puntos en la superficie terrestre mediante valores de latitud y longitud. Este sistema es fundamental en la cartografía y en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para representar y analizar datos espaciales con precisión. De acuerdo con Snyder (1987), el manejo apropiado de los sistemas de coordenadas resulta fundamental para asegurar la precisión en la representación de los datos espaciales.

3.3.5. Datum Geodésico

El datum geodésico es un modelo matemático que define la geometría de la Tierra y fija un punto de origen, permitiendo así la existencia de un sistema de coordenadas geográficas. Este modelo es fundamental para una georreferenciación precisa de los datos espaciales. Hofmann y Moritz (2006) afirman que una selección adecuada del datum es necesaria para asegurar la coherencia y precisión en la topografía y la cartografía.

3.3.6. Modelo Digital de Elevación (MDE)

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) es una representación digital del relieve terrestre, que asigna valores de altitud a cada punto de una cuadrícula regular. Este

modelo es ampliamente utilizado en aplicaciones como la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y la ingeniería civil. Según Li et al. (2005), los MDE son herramientas fundamentales para el análisis espacial y la simulación de procesos geográficos.

3.3.7. Precisión Catastral

La precisión catastral se refiere al grado de exactitud métrica con el que los elementos de la cartografía catastral (como linderos, áreas y ubicación de los predios) representan su posición y dimensiones reales sobre el terreno. Se trata de un metadato de la cartografía que se expresa generalmente como una distancia en metros (por ejemplo, ±0.5 m) e indica el margen de error máximo esperado en las mediciones y representaciones gráficas del catastro. Una alta precisión catastral es indispensable para garantizar la validez técnica y jurídica de los levantamientos, la correcta delimitación de la propiedad y una tributación justa.

3.3.8. Fotogrametría

La fotogrametría es la ciencia y tecnología de obtener información precisa sobre objetos físicos y el entorno mediante el análisis de fotografías, especialmente aquellas tomadas desde plataformas aéreas o satelitales. Esta técnica permite la creación de mapas, modelos tridimensionales y mediciones detalladas del terreno. De acuerdo con Wolf y Dewitt (2000), la fotogrametría constituye una herramienta fundamental e insustituible tanto en la topografía como en la cartografía contemporánea.

3.3.9. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñada para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y desplegar eficientemente todo tipo de información georreferenciada. Según Bosque González (2012), un SIG es “una integración organizada

de hardware, software, datos geográficos y personal" concebida para manejar información referenciada espacialmente. Por su parte, la empresa líder en tecnología geoespacial ESRI lo define como una tecnología que sirve para crear, administrar, analizar y representar cartográficamente todo tipo de datos, conectándolos a un mapa para facilitar la comprensión de patrones y relaciones. En esencia, un SIG transforma datos espaciales en información útil para la toma de decisiones en la planificación y gestión del territorio.

3.3.10. Geodatabase (Base de Datos Geoespacial)

Una geodatabase es el almacén físico de información geográfica, que utiliza principalmente un sistema de gestión de bases de datos o un sistema de archivos. De acuerdo con la documentación técnica de ESRI (2026), las geodatabases almacenan geometría, un sistema de referencia espacial, atributos y reglas de comportamiento para los datos. Se trata de una estructura de datos que va más allá del simple almacenamiento de archivos, ya que organiza la información espacial (puntos, líneas y polígonos) y sus atributos asociados en un entorno de base de datos relacional. Esto permite gestionar grandes volúmenes de información, mantener la integridad de los datos mediante reglas topológicas y realizar consultas espaciales complejas de manera eficiente.

3.3.11. Catastro Urbano

El catastro urbano se define como el inventario y registro detallado de la propiedad inmobiliaria urbana, que describe las características físicas, jurídicas y de valor de los predios. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) señala que el catastro constituye una herramienta que fortalece la gestión eficiente de la información del territorio. En este sentido, el catastro urbano tiene como objetivo el levantamiento de la información física, económica y jurídica de las áreas urbanas, constituyendo la base para la planificación territorial, la recaudación de impuestos prediales y la seguridad

jurídica de la propiedad.

3.3.12. Ortomosaico

Un ortomosaico es una imagen digital geométricamente corregida, generada a partir de la unión (mosaico) de múltiples fotografías aéreas o satelitales. El proceso de ortorrectificación corrige las distorsiones geométricas provocadas por el relieve del terreno y la inclinación de la cámara al momento de la captura. Como resultado, se obtiene una imagen sin distorsiones y a escala real, en la que cada píxel tiene coordenadas del mundo real. El ortomosaico constituye una representación cartográfica visualmente continua y con una escala uniforme, que permite realizar mediciones precisas de distancias, áreas y posiciones, siendo una herramienta fundamental en la cartografía catastral.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Aplicada. La presente tesis se clasifica como investigación de tipo aplicado, dado que su desarrollo se orientó a emplear los conocimientos existentes sobre levantamientos topográficos y Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el propósito de dar solución a problemáticas concretas vinculadas al catastro urbano en el distrito de Chacoche. De acuerdo con el Manual de Frascati de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2015), la investigación aplicada se caracteriza por tener una lógica de resolución de problemas y estar orientada hacia objetivos prácticos, transfiriendo el conocimiento teórico hacia escenarios reales.

Nivel de investigación

Explicativo. Esta tesis se inscribe en un nivel explicativo, ya que su objetivo central consistió en examinar y explicar la influencia de la implementación de un Sistema de Información Geográfica en la gestión del catastro urbano del distrito de Chacoche, todo ello orientado a mejorar la precisión, el ordenamiento y la actualización del catastro urbano. Como lo plantean Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación de nivel explicativo permite no solo identificar los elementos que inciden en un determinado fenómeno, sino también comprender las interrelaciones que se establecen entre ellos.

4.2. Ámbito temporal y espacial

Temporal

La tesis se desarrolló a lo largo de 10 meses consecutivos, finalizando en abril de 2026. Este periodo se distribuyó de la siguiente manera: Los dos primeros meses se destinaron al reconocimiento digital del área, coordinaciones institucionales y obtención de permisos; los tres meses siguientes comprendieron el trabajo de campo (inspecciones

in situ, levantamiento con GNSS y vuelo del dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro); los últimos cinco meses se orientaron al procesamiento de datos en Agisoft Metashape, generación de cartografía digital, análisis de resultados y redacción del documento final.

Espacial

El distrito de Chacoche se ubica en la provincia de Abancay, dentro del departamento de Apurímac, en la región sur del Perú. Administrativamente, forma parte de la estructura político-territorial de la provincia y se distingue por un entorno predominantemente rural, donde la economía local descansa fundamentalmente en actividades agropecuarias de subsistencia. Desde el punto de vista geográfico, el distrito se asienta en una zona andina de relieve accidentado, caracterizada por pendientes que van de moderadas a pronunciadas, condición que determina tanto los patrones de ocupación del suelo como las posibilidades de expansión urbana.

Tabla 2

Datos descriptivos del lugar de estudio

Datos	
Región	: Apurímac
Provincia	: Abancay
Distrito	: Chacoche
Región geográfica	: Sierra
Altitud	: Media 3435 m s. n. m.
Superficie	: 186.1 km²
Población (INEI 2017)	: 1437 habitantes
Precipitación pluvial	: Variable
Coordenadas	: 13°56′53″S 72°59′28″O
Límites	Norte: con el Distrito de Pichirhua Sur: con el Distrito de Chapimarca Oeste: el Distrito de Chapimarca Este: el Distrito de Circa

Nota. La tabla describe informacion descriptiva del lugar Fuente INEI-2017

4.3. Población y muestra

Población

La población de estudio estuvo conformada por el universo de predios urbanos localizados en el sector de Chacoche, distrito de Chacoche, Abancay – Apurímac. Este conjunto incluyó tanto los inmuebles con registro formal como aquellos carentes de inscripción oficial, caracterizados por presentar al menos una de las siguientes condiciones:

- Limitaciones en la actualización de su cartografía,
- Deficiencias en su georreferenciación precisa,
- Vacíos en la vinculación de sus atributos legales y físicos con las bases de datos catastrales existentes.

Muestra

La muestra seleccionada correspondió a la totalidad de la población del sector de Chacoche, distrito de Chacoche. Dada la naturaleza del estudio y la necesidad de profundizar en el caso con un alto valor demostrativo, se optó por una estrategia de muestreo no probabilístico por conveniencia. Como señalan Otzen y Manterola (2017), cuando el tamaño de la población es manejable y el investigador tiene acceso a todos los elementos que la componen, resulta metodológicamente aceptable trabajar con una muestra censal, es decir, estudiando a toda la población. En estos casos, el muestreo por conveniencia caracterizado por la selección de unidades disponibles y accesibles, facilita la ejecución del estudio sin perder rigor científico, especialmente cuando la intención no es generalizar los hallazgos a poblaciones más amplias, sino comprender en profundidad un caso específico.

4.4. Instrumentos

4.4.1. Dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro

El dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro es un vehículo aéreo no tripulado diseñado para levantamientos de precisión, ya que incorpora una cámara multiespectral y un sistema GNSS de doble frecuencia. Esto permite obtener imágenes georreferenciadas con alta resolución espacial, lo cual es fundamental para generar ortomosaicos y modelos digitales de elevación (DEM) con exactitud centimétrica.

Figura 2

Dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro



Nota. La figura muestra el dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro, mientras que el levantamiento de puntos de control en campo se realizó con el receptor GNSS CHCNAV i73 (modo RTK). La secuencia numérica presentada corresponde a los errores de reproyección en píxeles, considerados aceptables para la generación de la ortofoto y el modelo digital del terreno.

4.4.2. Receptor GNSS Diferencial CHCNAV i73

el receptor GNSS CHCNAV i73 funciona como estación base o rover en modo RTK (cinemático en tiempo real), captando señales de múltiples constelaciones

satelitales (GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou). Esta capacidad multiprecisa corrige en campo los errores atmosféricos y orbitales, logrando precisiones horizontales y verticales inferiores a 2 cm. De esta forma, el i73 se utilizó para materializar puntos de control terrestre y verificar las coordenadas de los puntos fotogramétricos obtenidos con el dron. La integración de ambos equipos garantiza una cadena de trazabilidad geodésica desde los puntos de apoyo hasta los productos finales cartografiados

.

Figura 3

Receptor GNSS Diferencial CHCNAV i73



Nota. El levantamiento de puntos de control terrestre (GCP) y la verificación de exactitud posicional se realizaron utilizando un receptor GNSS diferencial CHCNAV i73, configurado en modo RTK, con precisión centimétrica.

4.5. Procedimientos

4.5.1. Reconocimiento preliminar del área de estudio

Se realizó una caracterización territorial inicial mediante el empleo de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), utilizando imágenes satelitales de alta resolución disponibles en la plataforma Google Earth Pro, así

mismo un recorrido de vías para el análisis de condiciones topográficas y accesibilidad del centro poblado de Chacoche.

4.5.2. Gestión y recopilación de información catastral existente:

Se estableció coordinación formal con la Municipalidad Distrital de Chacoche, mediante solicitudes documentadas dirigidas a la unidad de catastro o planeamiento urbano, con el objetivo de recopilar la base de datos catastral disponible (planos, fichas técnicas, registros administrativos, expedientes urbanos), así como metadatos asociados para evaluar su calidad, antigüedad y nivel de actualización.

4.5.3. Autorización y planificación del levantamiento aéreo con dron

Se gestionaron los permisos correspondientes ante las autoridades municipales para la ejecución de un levantamiento topográfico y ortofotográfico mediante vehículo aéreo no tripulado (dron). La planificación incluyó la definición de rutas de vuelo, altura de operación, traslape de imágenes, puntos de control terrestre y la generación posterior de ortomosaicos, modelos digitales de superficie (MDS) y nubes de puntos en formato LAS, insumos clave para la actualización del catastro urbano en entorno SIG.

4.5.4. Verificación y levantamiento de información en campo

Posteriormente, se ejecutaron inspecciones de campo mediante recorridos sistemáticos a lo largo de la red vial del área urbana, georreferenciando puntos de control con receptores GPS de navegación y validando la cobertura del suelo, límites prediales aparentes y elementos físicos relevantes para el catastro.

4.5.4.1. Vuelo fotogramétrico con dron

La programación de vuelo fue de la siguiente manera:

- Se abrio el aplicativo del sistema del drone (DJI Pilot), con la opción de ubicación del dispositivo activada
- Se programa la "ruta de zona”

Figura 4

Aplicativo DJI Pilot



Nota. La figura muestra la programacion de vuelo en 100 m, donde seguidamente se editó la forma en la superficie de terreno y las configuraciones de trayectoria.

Figura 5

Configuración de trayectoria

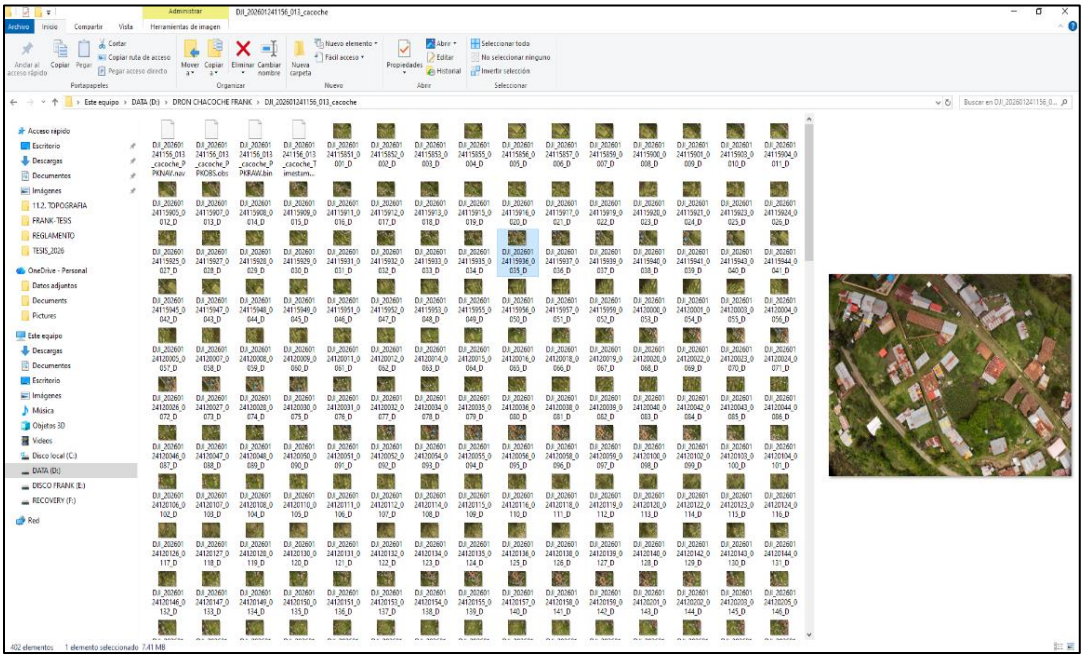


Nota. La figura muestra la programacion de trayectoria en aplicativo drone .

4.5.4.2. Obtención de imágenes aéreas

Figura 6

Imágenes obtenidas mediante el dron



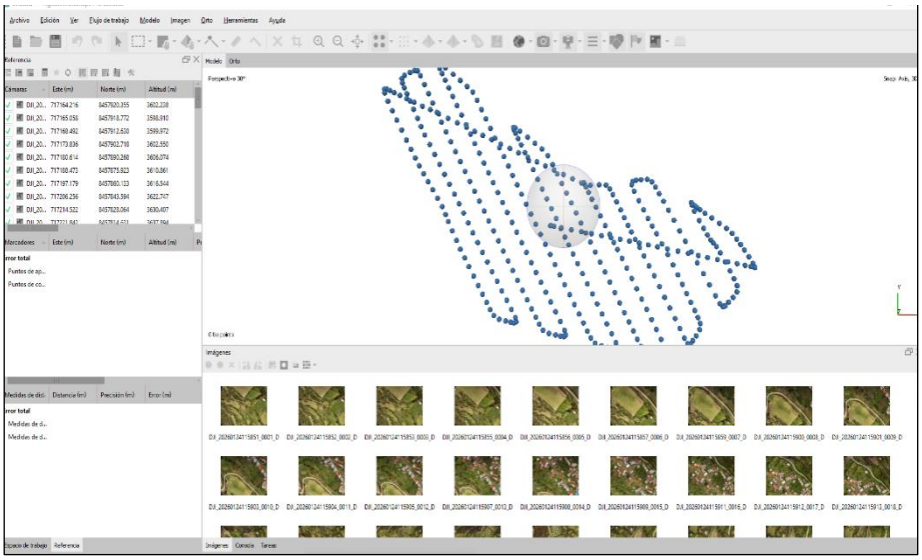
Nota. La figura muestra los registros de levantamiento topográfico correspondientes al área de estudio en el distrito de Chacoche.

4.5.4.3. Obtención de ortofoto

- Se realizo en el software Agisoft Metashape, donde se añadieron las imágenes para luego realizar el procesamiento de la información obtenida de campo.
- Seguidamente se utilizó la barra de herramientas “flujo de trabajo” donde se pudo procesar las imágenes.
- Se procedió a cargar la carpeta de imágenes obtenidas de campo.

Figura 7

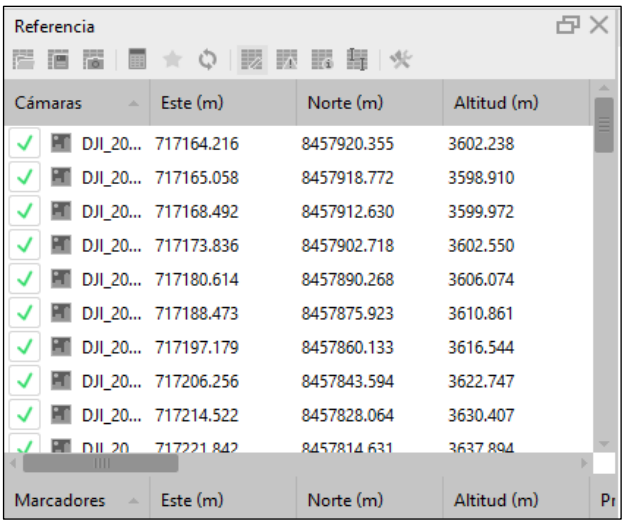
Imágenes obtenidas mediante el dron



Nota. Puntos de control y registro fotográfico del levantamiento con dron en el área de estudio.

Figura 8

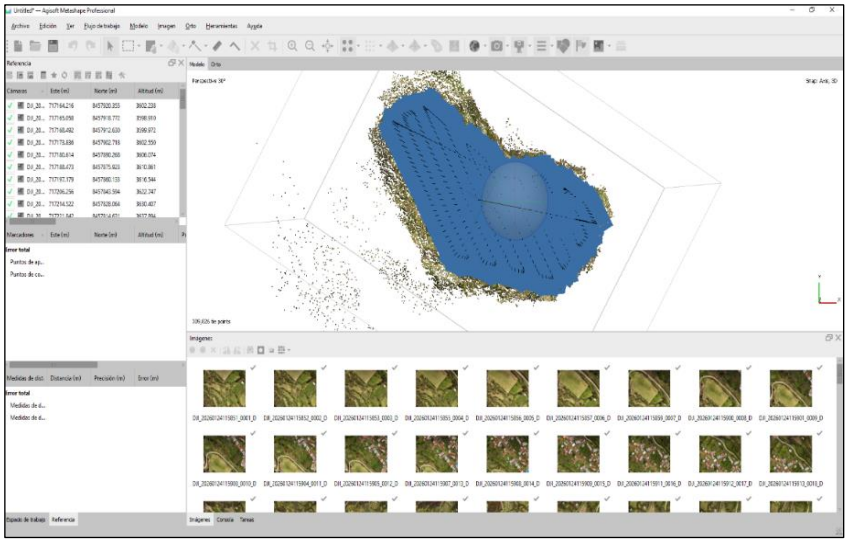
Conversión de coordenadas



Nota. •la figura muestra la conversión del sistema de coordenadas geográficas al sistema de coordenadas UTM.

Figura 9

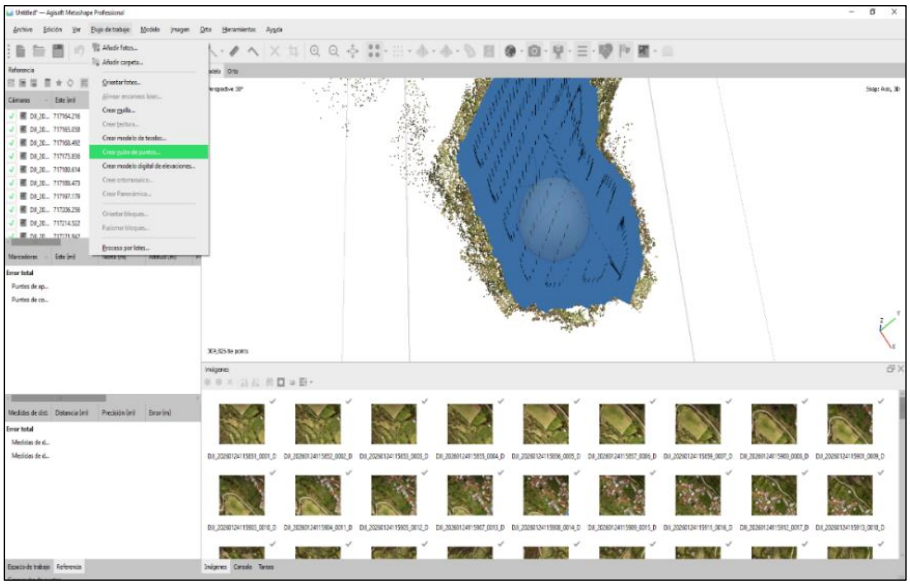
Orientacion de imagenes



Nota. La figura muestra la orientaron de imágenes en calidad máxima para la obtencion de mejor precisión.

Figura 10

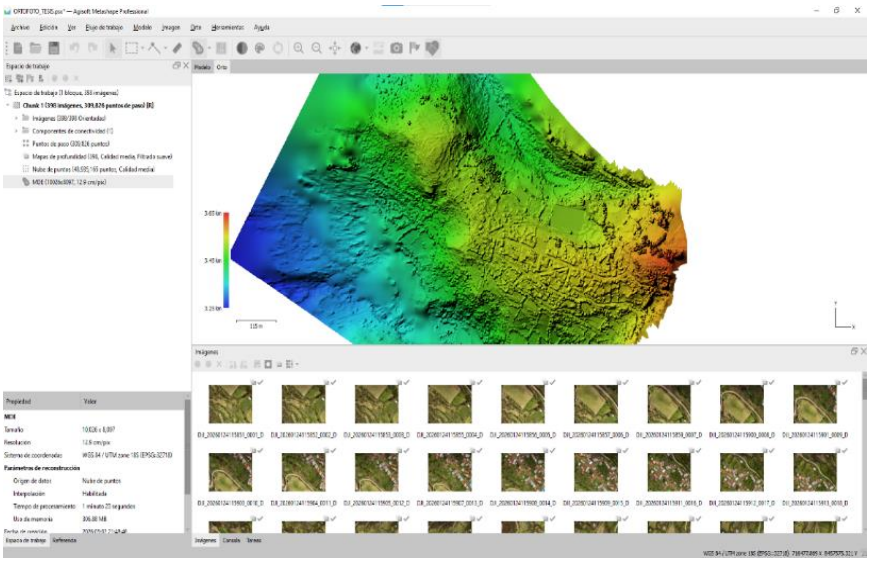
Nube de puntos densa



Nota. La figura muestra la generacion la nube de puntos densa y a su vez el punto de control, toamndo en cuenta que el punto geodésico es de orden “C”.

Figura 11

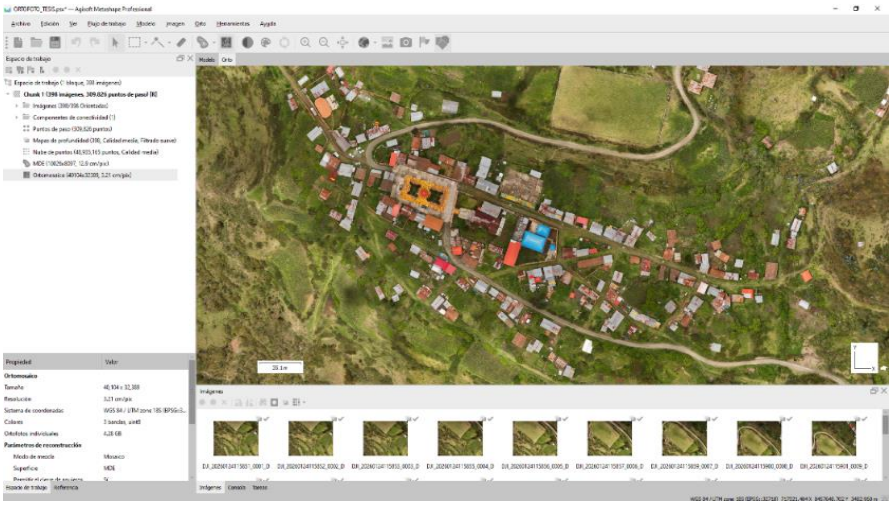
Modelo digital



Nota. La figura muestra la generacion del modelo digital de elevación a partir de la nube de puntos densa, seguido a esto se genero el ortomosaico tomando como fuente el modelo digital de elevaciones.

Figura 12

Figura ortomosaica general



Nota. Finalmente se muestra la culminacion del proceso donde se generó la imagen ortomosaica.

4.6. Análisis de datos

A partir del levantamiento fotogramétrico, aplicado como metodología indirecta, se procedió a la generación de la cartografía digital del área de estudio. Las imágenes obtenidas fueron procesadas mediante software especializado, lo que permitió digitalizar la información gráfica correspondiente a los linderos de los lotes catastrales. Finalmente, se ejecutó un control de calidad sobre la información vectorizada con el fin de verificar la consistencia geométrica y la exactitud posicional de los elementos digitalizados.

4.6.1 Levantamiento de cartografía base mediante método directo

4.6.1.1 Monumentación de punto geodésico de orden “C”

A. Fase de campo: 01 GNSS-GPS Diferencial Emlid Reach RS3

Figura 13

Se muestra la imagen posterior y frontal de la antena GNSS



Nota: Según informe de Certificación del Punto Geodésico de Orden “c”

B. Fase de gabinete: Para georreferenciar los puntos geodésicos se realizó una medición relativa estática, que consiste en la utilización de equipos GNSS geodésicos, con post - proceso mediante el empleo del software Leica Infinity V4.2.0 para el enlace se utilizó como base la Estación de Rastreo Permanente denominado AP02 – CHALHUANCA de orden “0” del IGN, por ser cercana al área de trabajo y de esta

manera cumplir con la Norma Técnica Geodésica establecida por el IGN que especifica líneas base de hasta 100 km para puntos geodésicos de orden C.

4.6.2 Levantamiento de cartografía base mediante método indirecto

4.6.2.1 Captura fotogramétrica con dron

A. Fase de campo: Dron DJI Mavic 3 Enterprise Pro.

Figura 14

Se muestra la imagen del Dron DJI Mavic 3 Enterprise

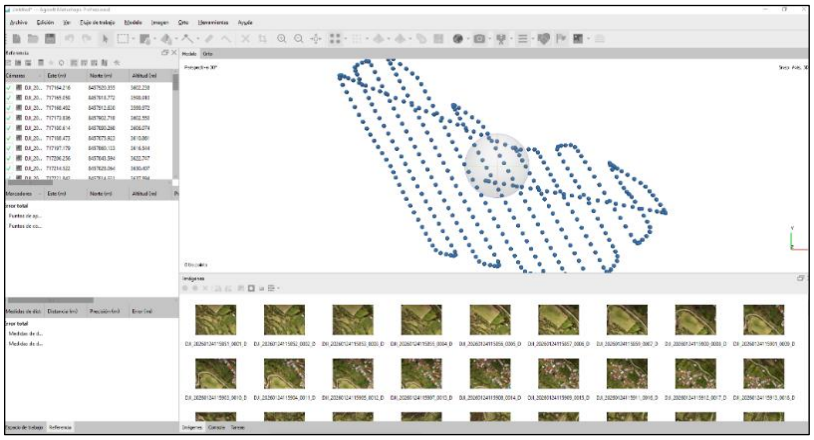


Nota. Tesista con instrumento aéreo no tripulado drone

B. Fase de gabinete: Se uso el software Agisoft Metashape.

Figura 15

Estimación de calidad del procesamiento fotogramétrico



Nota. La figura muestra el panel de estimación de calidad del procesamiento

fotogramétrico realizado en el software Agisoft Metashape. Se visualizan, para cada imagen capturada con el vehículo aéreo no tripulado (dron), los valores de error de reproyección (pixeles), las coordenadas estimadas del centro de la cámara y las estadísticas de ajuste del bloque de imágenes. Esta interfaz permitió verificar la precisión del alineamiento de las tomas previo a la generación de la nube de puntos densa y la ortofoto.

4.6.3. Obtención de coordenadas

Se realizo el procesamiento mediante el empleo del software Leica Infinity V4.2.0 para el enlace se utilizó como base la Estación de Rastreo Permanente denominado AP02 – CHALHUANCA de orden “0” del IGN, por ser cercana al área de trabajo y de esta manera cumplir con la Norma Técnica Geodésica establecida por el IGN que especifica líneas base de hasta 100 km para puntos geodésicos de orden C.

Tabla 3

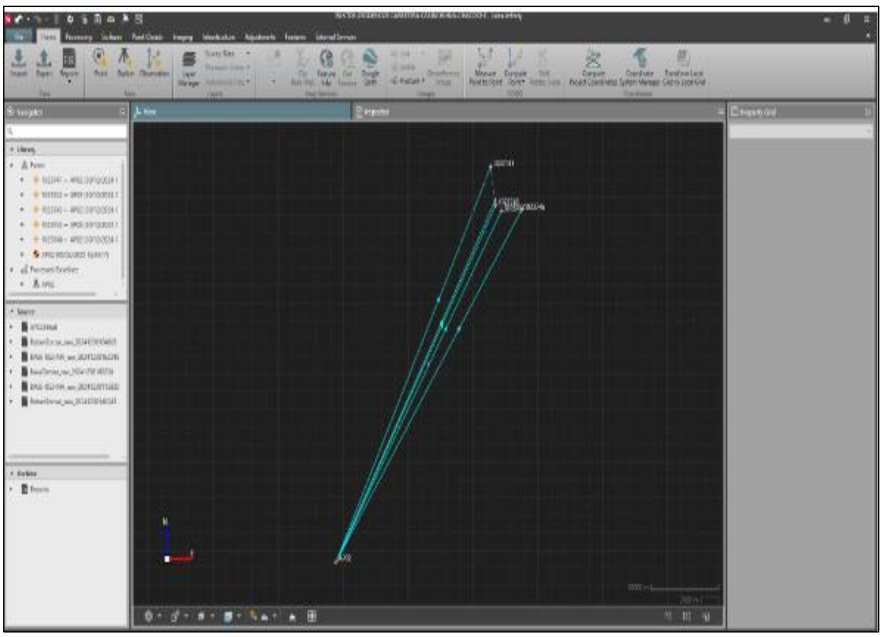
Registro de observación GNSS del punto geodésico orden "C" (Norma Técnica Geodésica – IGN)

Fecha	Código	Hora de inicio	Hora final	Duración
30/12/2025	1023746	09:03:12	12:28:42	03:25:30

Nota: Obtenido a partir del procesamiento de información del punto geodésico Dic2024.

Figura 16

La línea base y/o ajuste de red generado por el software de procesamiento



Nota: Obtenido a partir del procesamiento de información del punto geodésico-Dic-2024

Figura 17

La línea base y/o ajuste de red generado por el software de procesamiento

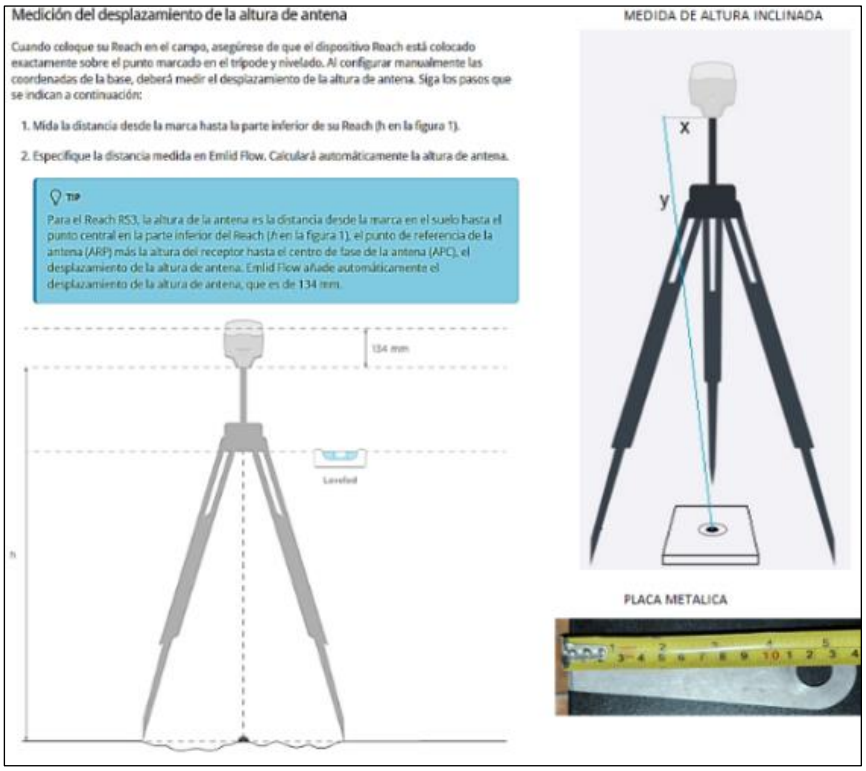


Nota: Obtenido a partir del procesamiento de información del punto geodésico.

Luego que el receptor GNSS almacena en campo la información para la determinación de los puntos, esta se transfirió a una computadora para realizar el procesamiento diferencial. Seguidamente se procedió a medir la altura inclinada desde el punto fijado en la placa de bronce del monumento de concreto hasta el borde de la placa metálica del receptor GNSS que mide 0.12 m, para luego realizar el cálculo de la altura vertical por el método de Pitágoras para posteriormente realizar el postproceso.

Figura 18

Transformación de la altura inclinada a la vertical



Nota: Obtenido a partir del procesamiento de información del punto geodésico-Dic-2024.

Utilizando la ficha técnica y la Data (día 30 de diciembre del 2024) de la Estación de Rastreo Permanente AP02 – CHALHUANCA, que administra la IGN. Se realizo el post-proceso de la data de campo utilizando el Software Leica Infinity Versión 4.2.0, obteniendo como resultado de la corrección diferencial, soluciones fijas para los puntos geodésicos establecidos, los cuales cumplen con las precisiones establecidas en la Norma Técnica Geodésica para certificar los puntos geodésicos de orden C.

Tabla 4

Resultados procesamiento

COORDENADAS GEODESICA WGS 84			
PUNTO	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTURA ELIPSOIDAL**
1023746	13°56´16.99364" S	72°59´23.56572" W	3,487.1860 m
PUNTO	**ESTE**	**NORTE**	**ALTURA ORTOMETRICA**
1023746	717,172.1619 m	8,458,206.7271 m	3,445.1060 m

Nota: Obtenido a partir del procesamiento de información del punto geodésico-Dic-2024.

Seguidamente se procesó utilizando efemérides precisas rápidas de GPS y GLONASS, donde el punto geodésico 1023746 fue enlazado a la Red Geográfica Horizontal mediante la Estación de Rastreo Permanente AP02 – CHALHUANCA, de orden "0", administrada por el IGN, la cual se ubicaba en las instalaciones de la Casa de Cultura de la Municipalidad Provincial de Aymaraes, aproximadamente a 50 km de la zona del proyecto. De esta forma, se cumplió con la Norma Técnica Geodésica para el establecimiento de puntos geodésicos de orden "C", donde El centro de la placa de bronce indicó el centro de la estación, el cual se definió como el punto geodésico.

4.6.4 Informe final de procesamiento de obtención de ortofoto

El software Agisoft Photoscan permitió generar un informe al concluir el proceso de elaboración de la ortofoto. En dicho informe se describieron las características del procedimiento y la información obtenida durante el levantamiento, incluyendo la calibración y ubicación de las cámaras, los puntos de control terrestre, el modelo digital de elevación y los parámetros utilizados en el procesamiento.

Tabla 5

Especificaciones técnicas de la cámara utilizada en el levantamiento con dron

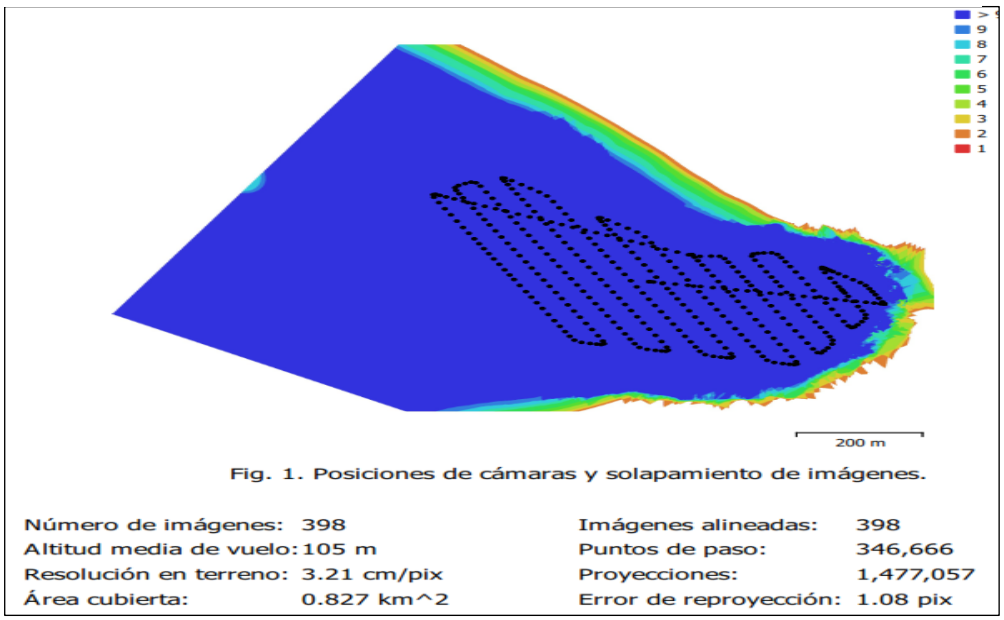
MODELO DE CÁMARA	RESOLUCIÓN	DISTANCIA FOCAL	TAMAÑO DE PIXEL	PRECALIBRADA
M3M (12.29 mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 micras	Si

Nota. Parámetros técnicos de la cámara integrada en el dron DJI Mavic 3 Enterprise (modelo M3M), empleada durante el levantamiento aerofotogramétrico.

A) Información de levantamiento

Figura 19

Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes

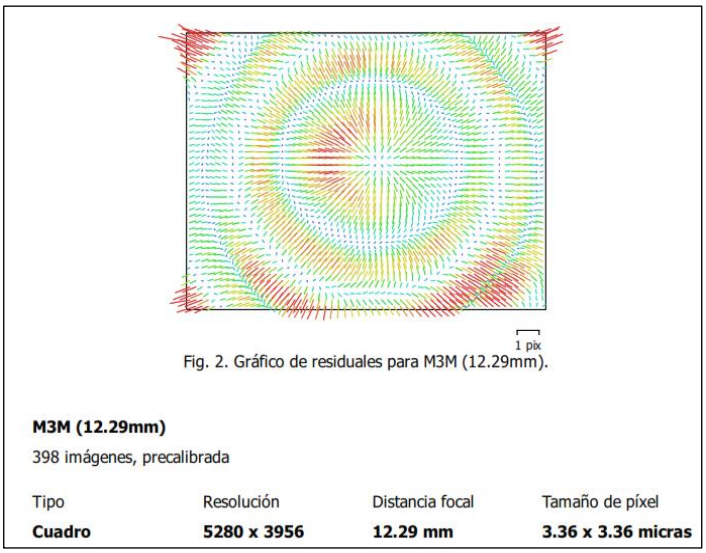


Nota. La figura presenta el resultado del alineamiento de las 398 imágenes capturadas durante el levantamiento aerofotogramétrico. Se visualizan las posiciones de las cámaras (representadas por cuadros azules) y el solapamiento entre ellas (líneas verdes que conectan tomas sucesivas). A partir del procesamiento en Agisoft Metashape, se obtuvo una altitud media de vuelo de 105 m, una resolución en terreno de 3.21 cm/píxel, un área cubierta de 0.827 km², un total de 346,666 puntos de paso y 1,477,057 proyecciones, con un error de reproyección final de 1.08 píxeles. Estos parámetros fueron considerados aceptables según los estándares de calidad fotogramétrica para la generación de la ortofoto.

B) Calibración de cámara

Figura 20

Gráfico de residuales para M3M (12.29 mm)



Nota. La figura muestra los residuales obtenidos para la cámara M3M (distancia focal de 12.29 mm), procesada con 398 imágenes precalibradas. El valor del error medio cuadrático (RMS) es de 12.29 mm. La cámara es de tipo cuadro, con resolución de 5280 × 3956 píxeles y tamaño de píxel de 3.36 × 3.36 micras.

Tabla 6

Coeficientes de calibración y matriz de correlación

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3719.5	0.025	1	0.01	0.00	-0.36	0.28	-0.28	0.01	-0.02
Cx	40.6893	0.013		1.00	-0.02	0.00	-0.00	0.00	0.75	-0.00
Cy	-15.4716	0.012			1.00	-0.02	0.03	-0.03	0.00	0.73
K1	-0.108163	1.9e-05				1.00	-0.97	0.91	-0.00	-0.04
K2	0.0022967	5e-05					1.00	-0.98	0.00	0.05
K3	-0.0187487	3.8e-05						1.00	-0.01	-0.06
P1	-0.000151545	7.3e-07							1.00	0.03
P2	-0.000344112	7.6e-07								1.00

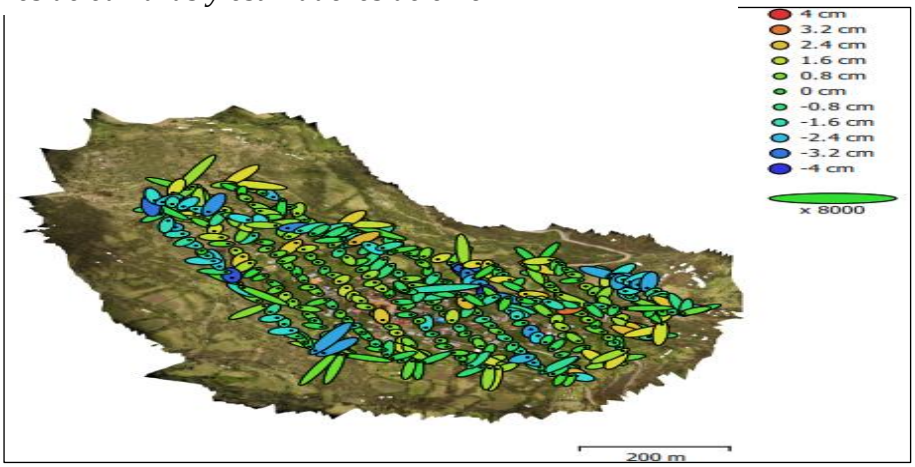
Nota. La tabla muestra los parámetros de calibración de la cámara M3M con sus errores estándar y matriz de correlación. Las altas correlaciones negativas entre K1, K2 y K3 (cercanas a –0.97 y –0.98) reflejan interdependencia en el modelo de distorsión radial.

C) Posiciones de cámara

Posiciones de cámaras: El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Figura 21

Posiciones de cámaras y estimadores de error



Nota. La figura muestra las posiciones de las cámaras y los estimadores de error (barras o elipses de incertidumbre). La escala vertical indica las desviaciones en centímetros (±4 cm), con divisiones cada 0.8 cm. El factor de escala gráfica es de 8000× (posiblemente exageración vertical de los errores), mientras que la distancia horizontal de referencia es de 200 m en el terreno.

Tabla 7

Errores medios de las posiciones de cámaras. X-Este, Y-Norte, Z-Altitud

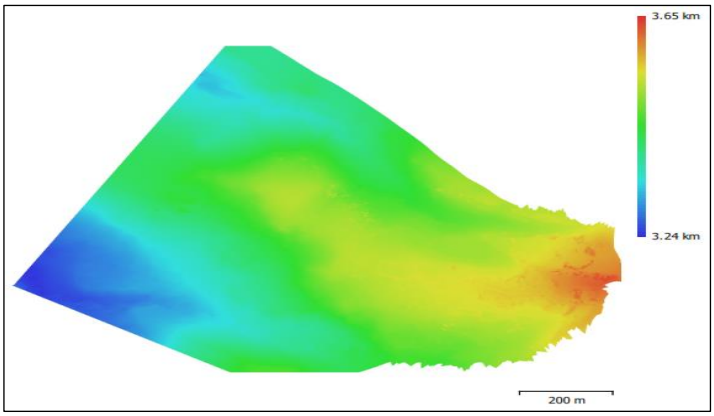
Error en X(cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Error combinado (cm)
0.236146	0.257633	1.29329	0.349485	1.33968

Nota. Errores de precisión posicional (en centímetros) obtenidos durante la georreferenciación de los puntos de control terrestre.

D) Modelo digital de elevaciones (MDE)

Figura 22

Posiciones de cámaras y estimadores de error



Nota. La figura presenta distancias relevantes del levantamiento: 3.65 km, 3.24 km y 200 m, que corresponden a longitudes de líneas base, recorridos o distancias de control en el terreno.

Tabla 8

Parámetros de calidad del modelo digital de elevaciones (MDE)

Resolución	Densidad de puntos
6.42 cm/pix	243 puntos/m2

Nota. Parámetros de calidad del modelo digital de elevaciones (MDE) generado a partir del levantamiento fotogramétrico.

E) Modelo digital de elevaciones (MDE)

Tabla 9

Nube de puntos

Puntos	**346,666 de 369,704**
RMS error de reproyeccion	0.236059 (1.08379 pix)
Error de reproyeccion máximo	0.7107779 (60.5695 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	3.7993 pix
Colores de puntos	3 bandas, uint8
Puntos clave	No
Multiplicidad media de puntos de paso	4.49217
Parámetros de orientación	
Precisión	Alta
Preselección genérica	Si
Preselección de referencia	Origen
Puntos clave por foto	20,000
Límite de puntos clave por megapíxel	1,000
Puntos de paso por foto	4,000
Excluir puntos de paso inmóviles	Si
Emparejamiento guiado	No
Ajuste adaptativo del modelo de cámara	Si
Tiempo de búsqueda de emparejamiento	1 minuto 6 segundos

Uso de memoria durante el emparejamiento	1.04 GB
Tiempo de orientación	37 segundos
Uso de memoria durante el alineamiento	649.97 MB

Nota. La tabla muestra los parámetros y resultados del proceso de orientación. Se utilizaron 346,666 puntos de un total de 369,704. El error RMS de reproyección fue de 0.236 píxeles y el error máximo de 0.711 píxeles. El tamaño promedio de los puntos característicos alcanzó 3.80 píxeles. La orientación se realizó con precisión alta, preselección genérica activada y 20,000 puntos clave por foto. El emparejamiento duró 1 minuto 6 segundos (1.04 GB de memoria), mientras que la orientación tomó 37 segundos (649.97 MB).

Tabla 10

Nube de puntos densa

Puntos	**194,657,459**
Coordinate precisión	1.6 cm
Color	3 bandas, uint8
Clases de puntos	
Terreno	74,787,483
Vegetación alta	108,616,723
Edificio	9,429,496
Firme de la carretera	103,907
Vehículo	517,771
Objetos hechos por el hombre	1,202,079
Parámetros de obtención de mapas de profundidad	
Calidad	Alta
Modo de filtrado	Moderado
Límite máximo de redundancias	16

Tiempo de procesamiento	20 minutos 24 segundos
Uso de memoria	5.50 GB
Parámetros de generación de la nube de puntos	
Tiempo de procesamiento	30 minutos 47 segundos
Uso de memoria	12.23 GB
Parámetros de clasificación de puntos	
Confianza	0
Tiempo de clasificación	7 minutos 7 segundos
Uso de memoria durante la clasificación	26.60 GB

Nota. La tabla muestra informacion de la nube de puntos densa con 194,657,459 puntos y precisión de 1.6 cm. Clases principales: terreno (74,787,483), vegetación alta (108,616,723) y edificios (9,429,496). Calidad Alta en mapas de profundidad (20 min 24 s, 5.50 GB). Generación de nube: 30 min 47 s (12.23 GB). Clasificación: 7 min 7 s (26.60 GB).

Tabla 11

Modelo digital de elevaciones

Tamaño	**20,310 x 16,236**
Sistema de coordenadas	WGS84 / UTM zone 18S
Parámetros de reconstrucción	
Origen de datos	Nube de puntos
Interpolación	Habilitada
Tiempo de procesamiento	1 minuto 2 segundos
Uso de memoria	320.64 MB

Nota. La tabla muestra las características del MDE obtenido durante el procesamiento fotogramétrico en Agisoft Metashape.

Tabla 12

Características del ortomosaico

Tamaño	**40,620 x 32,472**
Sistema de coordenadas	WGS84 / UTM zone 18S
Colores	3 bandas, uint8
Parámetros de reconstrucción	
Modo de mezcla	Mosaico
Superficie	MDE
Permitir el cierre de agujeros	Si
Habilitar el filtro de efecto fantasma	No
Tiempo de procesamiento	7 minutos 48 segundos
Uso de memoria	2.54 GB

Nota. Características del ortomosaico obtenido durante el procesamiento fotogramétrico en Agisoft Metashape.

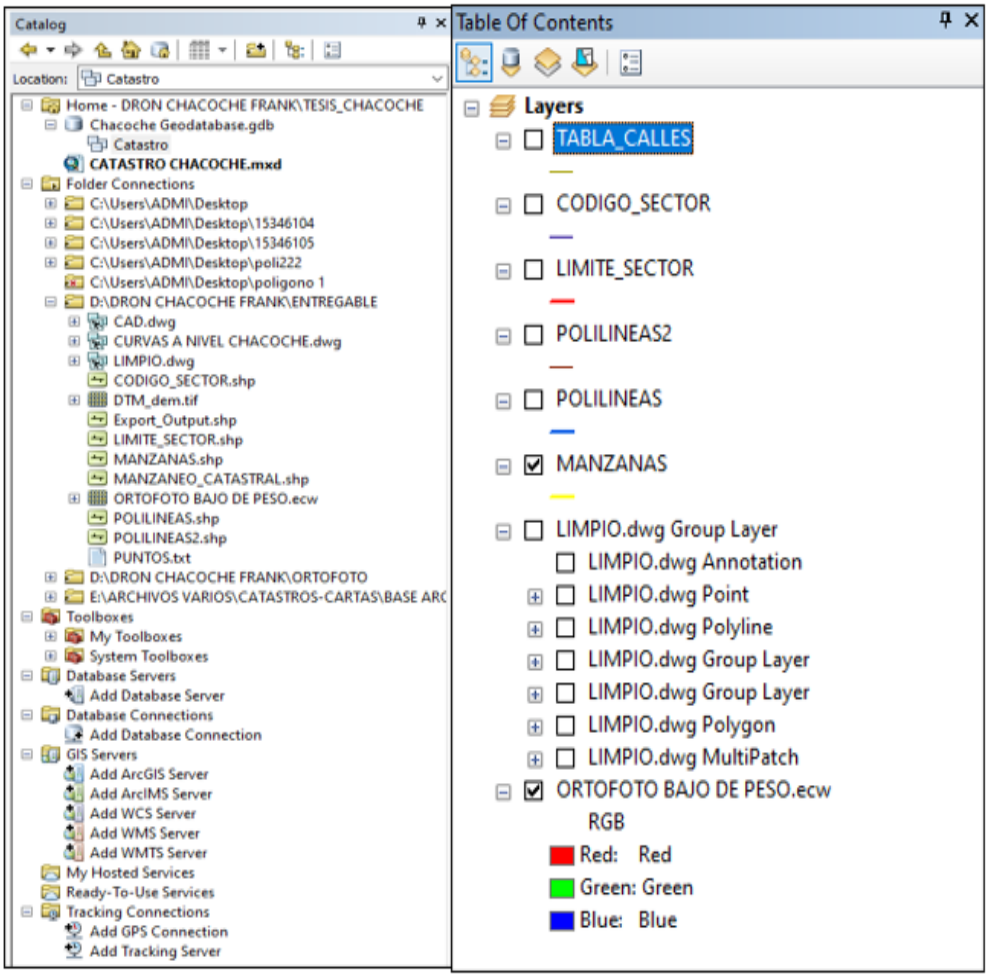
4.6.5. Implementación de datos geoespacial (geodatabase)

4.6.4.1. Información gráfica

La cartografía gráfica del sector de estudio Chacoche, distrito de Chacoche, provincia de Abancay, departamento de Apurímac fue elaborada a partir de la ortofoto georreferenciada. Sobre esta base, se procedió a la vectorización de manzanas y lotes, utilizando como respaldo la información cartográfica obtenida durante el trabajo de campo. Se digitalizó la totalidad de los lotes que conforman el sector urbano de Chacoche. Posteriormente, se implementó una geodatabase que almacena los atributos de cada lote urbano, tales como límites geométricos, áreas, perímetros, numeración predial y código de manzana, entre otros.

Figura 23

Información de la Geodatabase



Nota. La figura muestra la interfaz del proyecto en ArcGIS, con la organización de carpetas, geodatabase, capas vectoriales (codigo_sector, limite_sector, manzanas, polilineas, entre otras) y la ortofoto (ortofoto bajo de peso) cargada en la tabla de contenidos.

Se elaboraron las capas de información gráfica tomando como base la Resolución N°05-2010-SNCP/CNC, mediante la cual se aprueba la Directiva sobre la Estructura de Datos Gráficos para una Base de Datos Catastral del Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial (SNCP), conforme se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 13

Información catastral urbano

Grupo de datos	Datos a incluir en el modelo	Descripción	Tipo de representación
Tipo de cartografía	Vectorial Raster	La información se representa mediante entidades geométricas en el caso vectorial, mientras que en formato ráster corresponde a ortofotos u autoimágenes.	Polígono
Escalas	1/1000 1/500	Aplicado para el catastro urbano	
		Predios urbanos	
Información de capas	Sectores Manzana Lote	Definen áreas que agrupan conjuntos de manzanas dentro del entorno urbano Comprende un conjunto delimitado de lotes urbanos Establece la unidad básica de propiedad dentro del área urbana.	Polígono

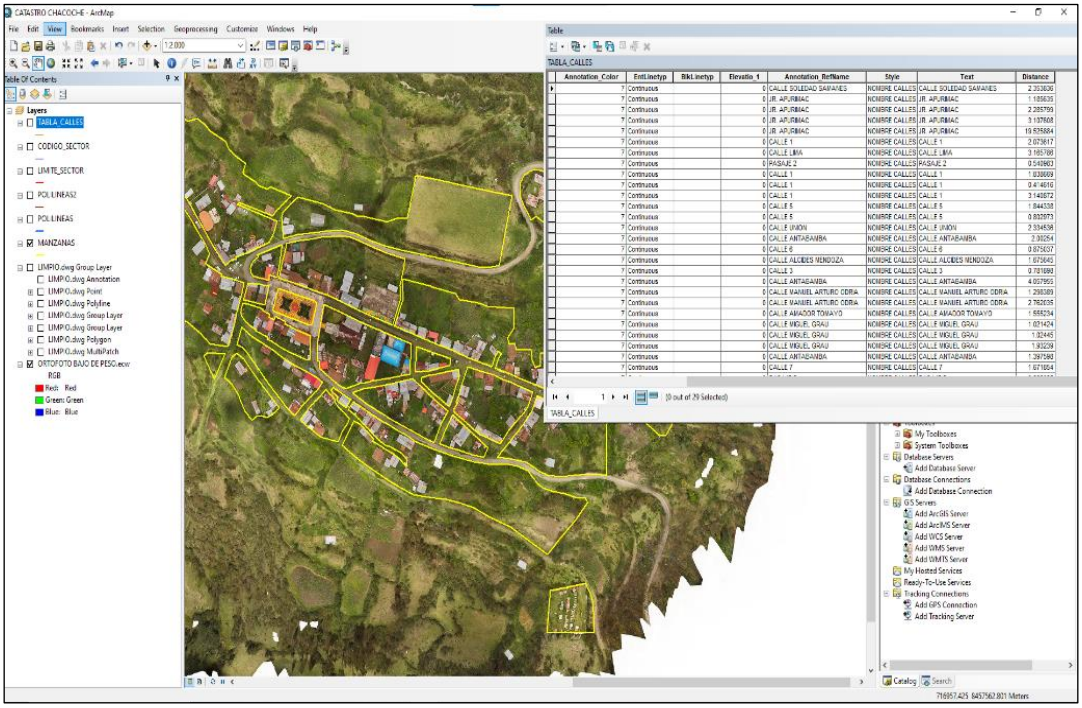
Nota. La tabla organiza los grupos de datos para el modelo catastral urbano. Se definen escalas vectoriales (1/1000, 1/500) y raster (ortofotos). Las capas incluyen sectores, manzanas y lotes, representados como polígonos, que constituyen la unidad básica de propiedad en el área urbana.

A. Desarrollo de vectorización de manzanas

Se desarrollo según la información de la ortofoto, tomando la información gráfica de bordes de vereda, linderos, cercos perimétricos y contrastación en campo.

Figura 24.

Vectorización de manzanas



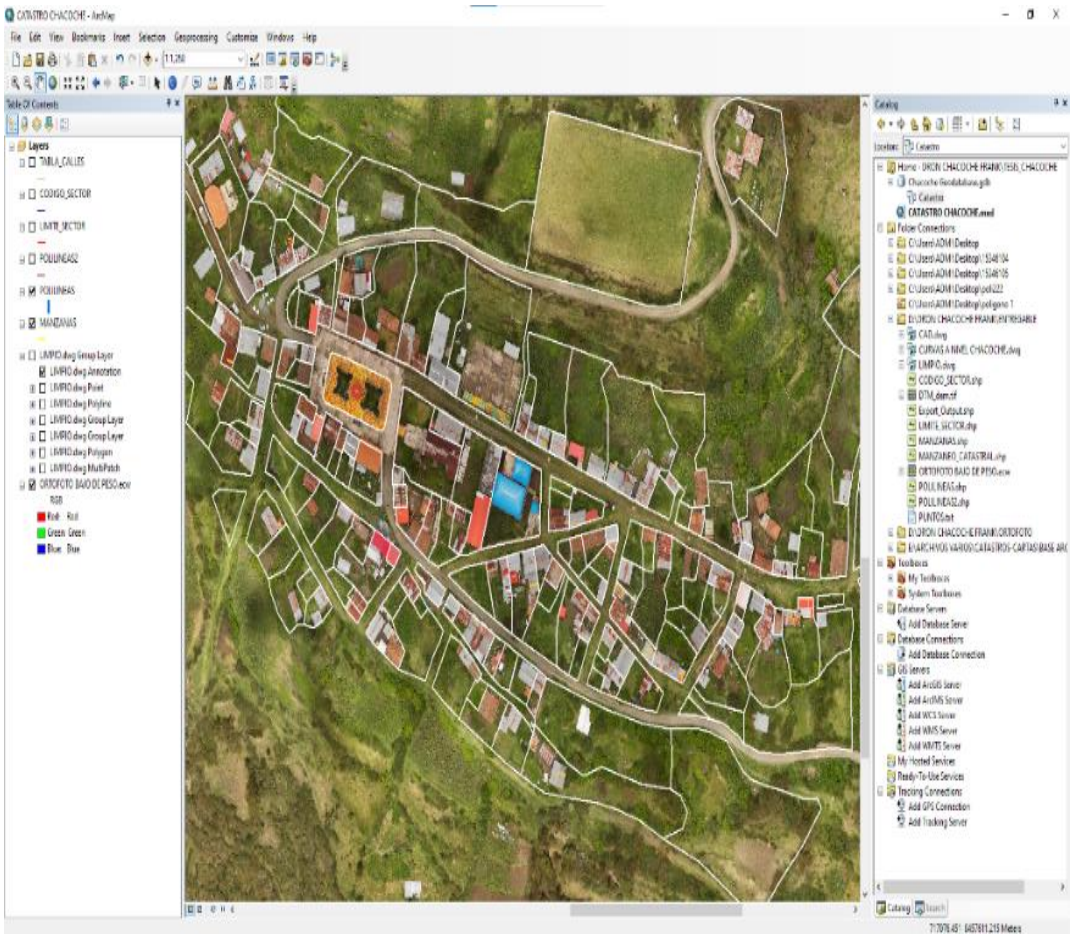
Nota. La figura presenta la vectorización de manzanas realizada sobre la ortofoto, donde se delimitan los polígonos correspondientes a cada manzana del área urbana. Este proceso permitió identificar la forma, dimensiones y disposición espacial de las manzanas, sirviendo como base para la generación de lotes y la actualización del catastro.

B. Desarrollo de vectorización de lotes

Se desarrollo según la información de la ortofoto, ya que la información gráfica se aprecia los linderos de lotes y contando con la delimitación de las manzanas y con contrastación en campo.

Figura 25

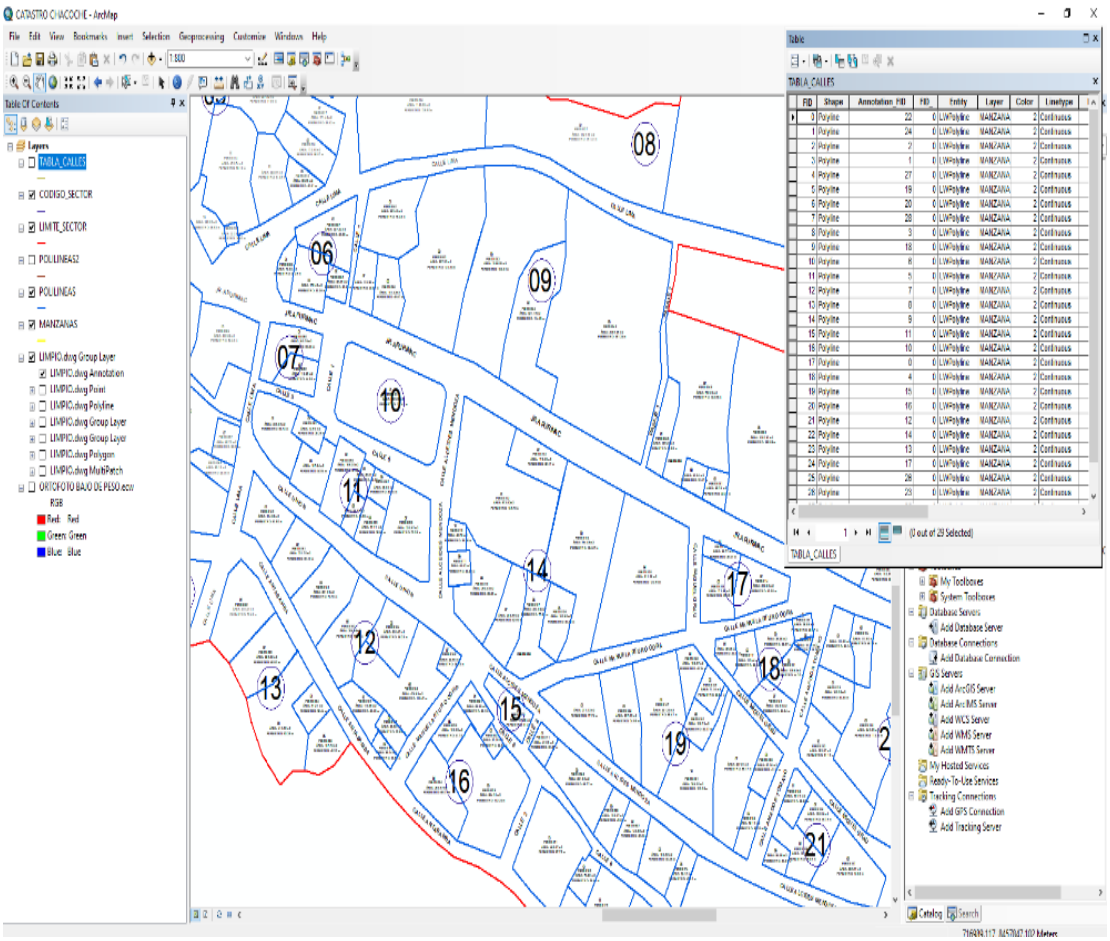
Vectorización de lotes en la ortofoto



Nota. Vectorización de lotes realizada en ArcGIS, donde cada lote se representa como un polígono independiente a partir de la ortofoto y las manzanas base del catastro.

Figura 26

Vectorización de lotes

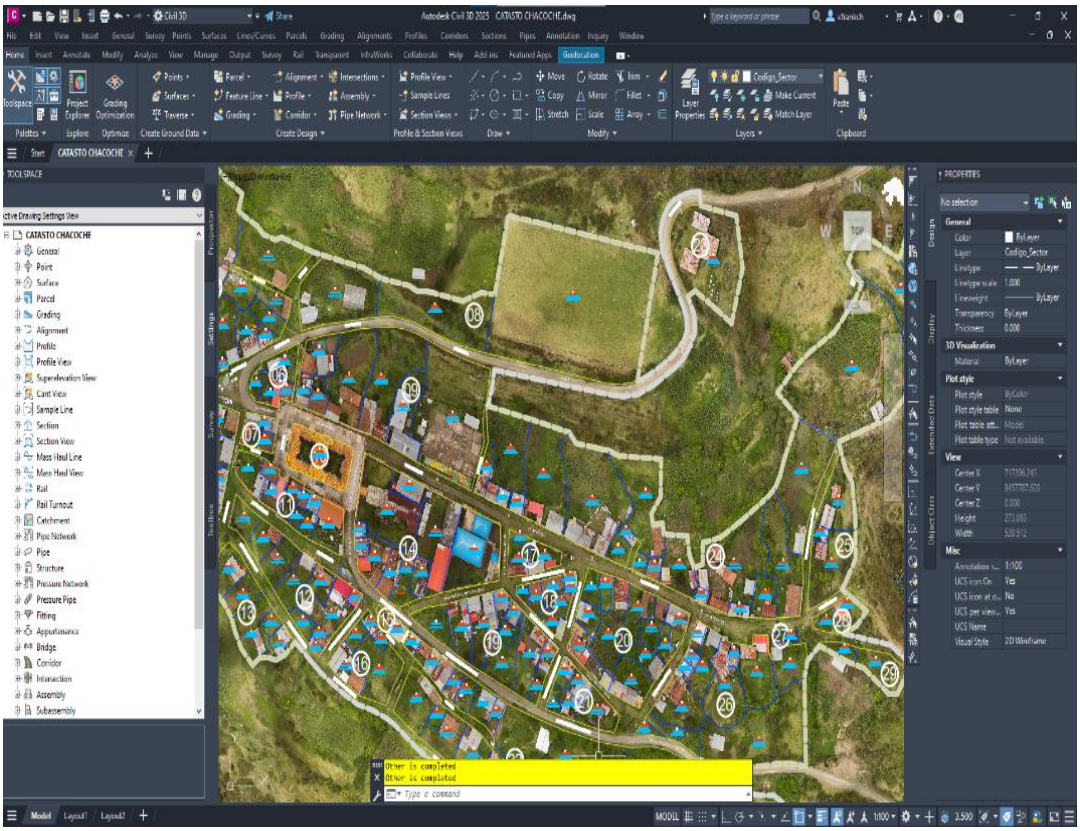


Nota. La figura muestra el proceso de vectorización de lotes, utilizando las capas de manzanas y polilíneas como referencia. Los lotes se delimitaron manualmente como polígonos, considerando los límites visibles en la imagen y la continuidad con las manzanas previamente vectorizadas.

C. Información exportada y procesada en el CAD

Figura 27

Información exportada al CAD



Nota. La información generada en el entorno del Sistema de Información Geográfica fue exportada a formato CAD, con la finalidad de facilitar su visualización, interpretación y manejo por parte de usuarios técnicos y no técnicos. Esta conversión permite una presentación más accesible y compatible con herramientas de uso extendido en el ámbito profesional, optimizando así su comprensión, intercambio y aplicación en actividades de carácter técnico y comercial.

4.7. Consideraciones éticas

Esta tesis se fundamenta en principios éticos que garantizan el respeto hacia la comunidad de Chacoche y la integridad del proceso científico. Para proteger la confidencialidad de los propietarios, toda información personal fue anonimizada y manejada con estrictos protocolos de seguridad digital. Se conto con los permisos correspondientes a las autoridades municipales que especifiquen el carácter académico y no comercial del estudio. Como aporte recíproco a la comunidad, los hallazgos tuvieron la intensión de compartir los resultados con la municipalidad local para contribuir a la modernización del catastro urbano, asegurando que la tesis genere un impacto social positivo además de avances técnicos.

V. Resultados y discusión.

5.1. Resultados

5.1.1. Resultados objetivo general (Variable Independiente)

5.1.1.1. Dimensión - Cartografía base digital

Indicador 1: Precisión posicional

Tabla 14

Resultado obtenido mediante metodo directo punto geodesico

Coordenadas Geodesica Wgs 84			
Punto	**Latitud**	**Longitud**	**Altura Elipsoidal**
1023746	13°56´16.99364" S	72°59´23.56572" W	3,487.1860 M
Punto	**Este**	**Norte**	**Altura Ortometrica**
1023746	717,172.1619 m	8,458,206.7271 m	3,445.1060 m

Nota. Se estableció un punto geodésico de orden C utilizando un receptor GNSS diferencial enlazado a la estación permanente AP02-Chalhuanca del IGN. El procesamiento diferencial permitió obtener coordenadas georreferenciadas con precisión centimétrica, garantizando la exactitud posicional requerida para el levantamiento catastral. La precisión obtenida permitió establecer una base geodésica confiable para la georreferenciación de la cartografía catastral.

Indicador 2: Error medio cuadrático (RMSE)

Tabla 15

Resultados obtenidos mediante método indirecto

Parámetro	Valor
Imágenes procesadas	398
Error reproyección	1.08 pixeles
Resolución en terreno	3.21 cm/pix

Nota. El procesamiento fotogramétrico de las 398 imágenes capturadas mediante

UAV presentó un error de reproyección de 1.08 píxeles y una resolución en terreno de 3.21 cm/píxel, valores adecuados para aplicaciones catastrales urbanas.

El bajo nivel de error alcanzado demuestra que el modelo fotogramétrico generado mantiene una adecuada correspondencia entre la realidad física y la representación digital obtenida.

Los valores de RMSE obtenidos evidencian que la implementación del SIG permitió generar información cartográfica con un nivel de precisión adecuado para el desarrollo de actividades catastrales urbanas.

Indicador 3: Cobertura cartográfica

Tabla 16

Resultados obtenidos mediante método indirecto

Descripción	Valor
Área cubierta	0.827 km^2
Número de imágenes	398
Altitud de vuelo	105 m

Nota. El vuelo fotogramétrico cubrió una superficie aproximada de 0.827 km^2 del área urbana de Chacoche, mediante la captura de 398 fotografías aéreas a una altura promedio de 105 metros.

La cobertura total del ámbito urbano permitió disponer de información espacial continua y actualizada para el levantamiento catastral.

La cobertura cartográfica obtenida demuestra que la implementación del SIG permitió disponer de una representación integral y actualizada del área urbana de estudio.

Indicador 4: Calidad de ortomosaico

Resultado

Se generó un ortomosaico georreferenciado de alta resolución con una resolución en terreno de 3.21 cm/píxel, permitiendo identificar claramente lotes, edificaciones, vías y demás elementos urbanos.

Interpretación

La calidad visual y geométrica del ortomosaico facilitó la interpretación precisa de los elementos territoriales presentes en el área urbana.

Síntesis del Indicador

La calidad visual y geométrica del ortomosaico facilitó la interpretación precisa de los elementos territoriales presentes en el área urbana.

5.1.1.2. Dimensión – Base de datos geoespacial (geodatabase)

Indicador 1: Integridad de registros

Tabla 17

Resultados de registros de predios

Elemento	Cantidad
Predios registrados	175

Nota. Se registraron e incorporaron 175 predios urbanos dentro de la geodatabase implementada, integrando información gráfica y alfanumérica en una única estructura geoespacial.

La integración de la información permitió reducir duplicidades y pérdidas de información asociadas a registros convencionales.

Los resultados evidencian que la implementación del SIG permitió consolidar información catastral completa y organizada para la administración municipal.

Indicador 2: Consistencia grafica - alfanumérica

Resultado

Los registros alfanuméricos fueron vinculados a sus respectivos elementos

espaciales mediante relaciones establecidas en ArcGIS Pro.

Interpretación

La relación entre información espacial y descriptiva facilitó la consulta y verificación de los registros catastrales.

Síntesis del indicador

La implementación del SIG permitió mantener coherencia entre la información gráfica y alfanumérica, mejorando la confiabilidad de los registros catastrales.

Indicador 3: Consistencia topológica

Resultado

Se aplicaron reglas topológicas para verificar la ausencia de superposiciones, vacíos y errores geométricos entre los predios urbanos digitalizados.

Interpretación

La validación topológica permitió asegurar la calidad geométrica de la cartografía catastral.

Síntesis del indicador

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del SIG contribuyó a mejorar la calidad espacial de la información catastral.

Indicador 4: Disponibilidad de información

Resultado

La información catastral almacenada en la geodatabase permite acceder de forma inmediata a datos como código catastral, área, perímetro, ubicación geográfica e información gráfica de los predios.

Interpretación

La centralización de la información reduce tiempos de búsqueda y facilita la gestión administrativa.

Síntesis del indicador

La implementación del SIG permitió incrementar la disponibilidad y accesibilidad de la información catastral para la toma de decisiones.

5.1.2. Resultados objetivos específicos (Variable dependiente)

5.1.2.1. Dimensión – Precisión catastral

Indicador 1: Delimitación de lotes

Tabla 18

Resultados de la delimitación de lotes

Descripción	Cantidad
Lotes delimitados	175
Manzanas delimitadas	30

Nota. Se delimitaron digitalmente 175 lotes distribuidos en 30 manzanas urbanas utilizando la cartografía base generada mediante UAV y SIG.

La delimitación digital permitió representar con mayor precisión los límites prediales respecto a los métodos convencionales.

Los resultados evidencian que la implementación del SIG influyó favorablemente en la delimitación precisa de los predios urbanos.

Indicador 2: Determinación de áreas

Resultado

Las áreas de los 175 predios fueron calculadas automáticamente mediante herramientas geoespaciales de ArcGIS Pro.

Interpretación

La automatización redujo errores asociados a cálculos manuales y garantizó uniformidad en los resultados obtenidos.

Síntesis del indicador

La implementación del SIG permitió mejorar la precisión y confiabilidad en la determinación de áreas prediales.

Indicador 3: Determinación de perímetros

Resultado

Los perímetros prediales fueron obtenidos automáticamente a partir de la geometría digital de cada lote delimitado.

Interpretación

El cálculo automatizado permitió obtener medidas consistentes y exactas para todos los predios urbanos.

Síntesis del indicador

Los resultados muestran que la implementación del SIG contribuyó a mejorar la exactitud de la información métrica catastral.

Indicador 4: Identificación predial

Resultado

Se asignó un código catastral único a cada uno de los 175 predios incorporados en la geodatabase.

Interpretación

La codificación predial facilitó la individualización y localización de los predios urbanos.

Síntesis del indicador

La implementación del SIG permitió mejorar la identificación y control de los registros prediales urbanos.

Tabla 19

Dimensión: Precisión catastral-Comparativa de la situación antes y después de la implementación del SIG

Indicador	Situación Inicial	Situación con SIG
Delimitación de lotes	Delimitación basada en croquis y planos convencionales	Delimitación digital mediante ortomosaico georreferenciado
Determinación de áreas	Cálculo manual o información desactualizada	Cálculo automático mediante ArcGIS Pro
Determinación de perímetros	Medición convencional	Obtención automática desde geometrías digitales
Identificación predial	Registros dispersos y sin vinculación espacial	Código único asociado a cada predio

Nota. Los resultados obtenidos evidencian que la implementación del Sistema de Información Geográfica permitió mejorar la precisión del catastro urbano mediante la delimitación digital de predios, el cálculo automatizado de áreas y perímetros y la identificación individualizada de los lotes urbanos.

5.1.2.2. Dimensión – Gestión de información catastral

Indicador 1: Organización de registros

Tabla 20

Resultados de organización de registros

Elemento	Resultado
Predios registrados	175
Capas geográficas creadas	5

Nota. La geodatabase permitió organizar la información correspondiente a 175 predios urbanos y diversas capas temáticas dentro de una estructura geoespacial integrada.

La organización sistemática de la información favorece la administración eficiente del catastro urbano.

Los resultados evidencian que la implementación del SIG influyó favorablemente

en la organización de los registros catastrales.

Indicador 2: Acceso a información predial

Tabla 21

Resultados de acceso a información predial

Información consultable
Código catastral
Área del predio
Perímetro del predio
Ubicación geográfica
Información gráfica

Nota. La plataforma SIG permite consultar de forma inmediata información gráfica y alfanumérica de los predios urbanos.

La consulta digital reduce tiempos de búsqueda y mejora la disponibilidad de la información.

La implementación del SIG mejoró significativamente el acceso a la información predial urbana.

Indicador 3: Actualización de datos

Tabla 22

Resultados de actualización de datos

Tipo de actualización	Estado
Actualización gráfica	Disponible
Actualización alfanumérica	Disponible
Vinculación automática	Disponible

Nota. La geodatabase permite actualizar simultáneamente la información gráfica

y alfanumérica de los predios registrados.

La actualización integrada garantiza la consistencia de los registros catastrales.

Los resultados evidencian que la implementación del SIG favoreció la actualización eficiente de la información catastral.

Indicador 4: Consulta de información espacial

Tabla 23

Resultados de consulta de información espacial

Consulta realizada	Resultado
Identificación de predios	Disponible
Consulta por ubicación	Disponible
Visualización cartográfica	Disponible
Análisis espacial	Disponible

Nota. El SIG permite realizar búsquedas y análisis espaciales mediante criterios de ubicación geográfica y atributos prediales.

Las consultas espaciales facilitan la gestión territorial y la toma de decisiones municipales.

La implementación del SIG permitió mejorar la capacidad de consulta y análisis de la información catastral urbana.

Tabla 24

Dimensión: Gestión de informacion catastral-Comparativa de la situación antes y después de la implementación del SIG

Indicador	Situación Inicial	Situación con SIG
Organización de registros	Información dispersa en documentos físicos	Información centralizada en geodatabase
Acceso a información predial	Búsqueda manual de expedientes	Consulta inmediata mediante SIG
Actualización de datos	Modificaciones independientes y lentas	Actualización integrada gráfica y alfanumérica

Consulta de información espacial	No disponible	Disponible mediante herramientas SIG

Nota. Los resultados obtenidos demuestran que la implementación del SIG mejoró la organización, acceso, actualización y consulta de la información catastral, contribuyendo a una gestión más eficiente del catastro urbano de Chacoche.

Tabla 25

Resumen de influencia del SIG

Dimensión	Situación Inicial	Situación Final
Cartografía Base Digital	Información gráfica limitada	Cartografía digital georreferenciada
Base de datos geoespacial (geodatabase)	Información dispersa	Información integrada
Precisión Catastral	Delimitación convencional	Delimitación digital precisa
Gestión de información catastral	Consulta manual	Consulta espacial inmediata

Nota. La comparación entre la situación inicial y la situación posterior a la implementación del Sistema de Información Geográfica evidencia mejoras en la precisión catastral y en la gestión de la información predial, confirmando que el SIG influyó favorablemente en la gestión del catastro urbano del distrito de Chacoche.

5.2. Discusiones

Los resultados de la presente tesis demostraron que la implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) influye de manera positiva y significativa en la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025, manifestándose en una mejora en la organización de la información, reducción de tiempos de consulta y actualización, y fortalecimiento de la toma de decisiones territoriales. Este hallazgo coincide con lo reportado por Mucha (2024), quien, en la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo, demostró que el uso del SIG permitió reducir el tiempo promedio de registro y las consultas, evidenciando que la automatización del catastro mejora sustancialmente la

eficiencia técnica-administrativa. Asimismo, Carbajal (2021) en el distrito de La Perla, Callao, concluyó que la implementación del SIG permitió consolidar una base de datos geoespacial precisa, reducir tiempos de consulta y mejorar la gestión municipal, facilitando además la elaboración de mapas temáticos. De manera similar, Mendoza (2021) en Pueblo Libre demostró que el uso de un visor geográfico mejoró la accesibilidad, precisión y organización de los datos catastrales, fortaleciendo la interoperabilidad entre dependencias municipales.

Sin embargo, a diferencia de estos estudios realizados en contextos urbanos consolidados y con mayor infraestructura tecnológica (Chilca, La Perla, Pueblo Libre), la presente tesis se desarrolló en un distrito pequeño de Apurímac con recursos limitados, lo que demuestra que la influencia positiva del SIG no depende exclusivamente de condiciones urbanas privilegiadas, sino de una adecuada adaptación metodológica. En este sentido, Sepúlveda Millán (2021) advierte que, si bien los SIG permiten integrar variables socioespaciales en el planeamiento, se requiere mayor articulación técnica e institucional para su implementación eficiente en territorios descentralizados. Precisamente, la presente tesis aporta evidencia de que dicha articulación es posible en contextos rurales, siempre que exista voluntad institucional y un diseño metodológico apropiado.

Por otro lado, Ortiz (2021) aplicó SIG específicamente para redes de acueducto y alcantarillado en Chitagá, Norte de Santander, concluyendo que la digitalización facilita la gestión operativa y el mantenimiento de infraestructura de servicios públicos. Si bien su enfoque fue temático y no integral, sus hallazgos refuerzan la idea de que el SIG es una herramienta transversal que mejora la gestión territorial en múltiples dimensiones. La presente tesis amplía esta conclusión al demostrar que el SIG influye positivamente no solo en la gestión operativa, sino también en la planificación y en la toma de decisiones

estratégicas del catastro urbano.

Finalmente, Manrique y García (2023) demostraron que la implementación del SIG permitió una gestión territorial más eficiente y visualmente interactiva en el Macroproyecto San José de Manizales, integrando la normativa predial con entornos digitales. Esta conclusión es consistente con los hallazgos de esta tesis, donde se evidenció que la visualización integrada de capas (sectores, manzanas, lotes, vías, ortofoto) en una única plataforma SIG transformó la manera en que los funcionarios municipales conciben y operan el catastro, pasando de una visión fragmentada a una visión sistémica del territorio.

En consecuencia, se discute que la influencia positiva del SIG en la gestión catastral es un hallazgo robusto y replicable en diversos contextos geográficos y administrativos (Colombia, Ecuador, Perú), tal como lo corroboran los antecedentes revisados. La contribución específica de esta tesis es demostrar dicha influencia en un distrito rural altoandino de Apurímac, cerrando así un vacío de estudios en contextos de menor desarrollo relativo.

VI. Conclusiones

Conclusión para el objetivo general

Se determinó que la implementación del Sistema de Información Geográfica (SIG) influyó favorablemente en la gestión del catastro urbano de Chacoche. Esta influencia positiva se evidencia en los resultados obtenidos en cada una de las dimensiones evaluadas. En la dimensión de cartografía base digital, se logró generar información geoespacial con alta precisión, estableciendo un punto geodésico de orden C con coordenadas georreferenciadas (13°56'16.99364" S, 72°59'23.56572" W y 3,487.1860 m de altura elipsoidal) y obteniendo un error de reproyección de 1.08 píxeles, una resolución de 3.21 cm/píxel y una cobertura de 0.827 km², lo que permitió una representación detallada del área urbana. En la dimensión de base de datos geoespacial, se organizaron 175 predios en una geodatabase, asegurando la consistencia gráfica-alfanumérica y topológica, y disponibilizando información catastral de forma inmediata para la consulta y actualización.

Esta influencia se ha traducido en la mejora de la precisión catastral, con la delimitación digital de 175 lotes y 30 manzanas, el cálculo automatizado de áreas y perímetros, y la asignación de un código catastral único a cada predio. Asimismo, en la gestión de información catastral, se ha logrado centralizar la información en una estructura organizada, permitiendo consultas espaciales y alfanuméricas en tiempo real y actualizaciones integradas de datos gráficos y temáticos. Previamente, la gestión se realizaba mediante registros dispersos en formatos físicos, lo que generaba duplicidad, dificultades en la localización de predios y errores en la delimitación. Con la implementación del SIG, se pasó de procedimientos manuales que tomaban horas a consultas espaciales de segundos, fortaleciendo la planificación urbana y la gestión del territorio. En consecuencia, se concluye que el SIG no solo mejora la eficiencia operativa,

sino que también aporta transparencia, confiabilidad y rigor técnico a la gestión catastral, constituyéndose como una herramienta indispensable para la modernización municipal.

Conclusión para el objetivo 1

Respecto al objetivo específico 1, se evaluó la influencia de la cartografía base generada mediante métodos directos e indirectos en la precisión del catastro urbano de Chacoche, determinándose que dicha influencia fue significativa y positiva. La cartografía base digital obtenida mediante la integración de métodos directos (GNSS diferencial) e indirectos (fotogrametría con dron) permitió mejorar sustancialmente la precisión geométrica y posicional del catastro.

El método directo permitió el establecimiento de un punto geodésico de orden C, enlazado a la Estación Permanente AP02-Chalhuanca del IGN, cuyas coordenadas UTM son: Este 717,172.1619 m, Norte 8,458,206.7271 m y altura ortométrica de 3,445.1060 m. Este punto proporcionó una referencia geodésica confiable para la georreferenciación de toda la información territorial, garantizando una precisión centimétrica que valida técnicamente el levantamiento catastral.

El método indirecto, mediante el procesamiento fotogramétrico de 398 imágenes capturadas con el dron DJI Mavic 3 Enterprise a una altitud de 105 m, cubrió un área de 0.827 km² del ámbito urbano. Los indicadores de precisión obtenidos —error de reproyección de 1.08 píxeles y resolución en terreno de 3.21 cm/píxel— cumplen con los estándares técnicos requeridos para aplicaciones catastrales urbanas. Estos valores permitieron generar un ortomosaico georreferenciado de alta calidad, facilitando la delimitación precisa de 175 lotes y 30 manzanas, el cálculo automatizado de áreas y perímetros, y la actualización de la cartografía urbana existente.

De esta manera, se comprobó que la cartografía base digital constituye un elemento fundamental para mejorar la precisión catastral, proporcionando información

territorial confiable para futuras acciones de planificación, ordenamiento territorial y gestión municipal.

Conclusión para el objetivo 2.

Respecto al objetivo específico 2, se analizó la influencia de la implementación de una geodatabase en la organización y disponibilidad de la información catastral urbana de Chacoche, determinándose que su implementación optimizó significativamente la gestión de la información predial.

La geodatabase implementada en ArcGIS Pro permitió la integración de datos gráficos y alfanuméricos en una única estructura digital organizada, registrando e incorporando 175 predios urbanos con sus respectivos atributos (código catastral, área, perímetro, ubicación geográfica). Se crearon 5 capas geográficas que estructuran temáticamente la información del territorio.

En cuanto a la organización de registros, la geodatabase eliminó la dispersión de información en diferentes formatos y fuentes, consolidando los datos en una base de datos geoespacial que garantiza la consistencia gráfica-alfanumérica y la integridad topológica de los predios. Las reglas topológicas aplicadas verificaron la ausencia de superposiciones y vacíos entre los predios digitalizados, asegurando la calidad geométrica de la cartografía catastral.

En términos de disponibilidad y acceso, la plataforma SIG permite consultar de forma inmediata información gráfica y alfanumérica de los predios (código catastral, área, perímetro, ubicación geográfica), reduciendo significativamente los tiempos de búsqueda que previamente se realizaban mediante procedimientos manuales.

En consecuencia, se concluye que la implementación de la geodatabase fortaleció la gestión de la información catastral del distrito de Chacoche, constituyéndose en una herramienta técnica que mejora la eficiencia administrativa, la toma de decisiones y los

procesos de modernización catastral en el ámbito municipal.

VII. Recomendaciones.

Respecto al objetivo general: Determinar la influencia de la implementación de un Sistema de Información Geográfica en la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025

Con base en los resultados obtenidos y habiendo determinado que la implementación del Sistema de Información Geográfica influye favorablemente en la gestión del catastro urbano de Chacoche, Apurímac, 2025, se formulan las siguientes recomendaciones:

Primera. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Chacoche institucionalizar el uso del SIG catastral mediante una ordenanza municipal o resolución de gerencia, que establezca al sistema como la herramienta oficial y obligatoria para todas las consultas, actualizaciones y emisión de certificados catastrales. Esta medida garantizará que la influencia positiva identificada se mantenga en el tiempo y no quede supeditada a la voluntad de funcionarios transitorios.

Segunda. Se recomienda destinar una partida presupuestal anual para el mantenimiento, actualización y soporte técnico del SIG catastral. La sostenibilidad del sistema depende de recursos económicos que permitan renovar licencias de software, adquirir equipos de cómputo adecuados y contratar asistencia técnica especializada cuando sea necesario. La falta de este respaldo presupuestal podría revertir los beneficios.

Tercera. Se recomienda establecer un comité técnico de gestión catastral integrado por representantes de las áreas de planificación, obras y administración tributaria, con la función de supervisar la operación del SIG, priorizar las actualizaciones y resolver los conflictos de información que puedan surgir. La transversalidad del SIG requiere una gobernanza colegiada y no unipersonal.

Cuarta. Se recomienda realizar evaluaciones periódicas (semestrales o anuales)

del impacto del SIG en indicadores clave de gestión catastral, tales como: tiempo promedio de emisión de certificados, número de consultas atendidas, porcentaje de predios actualizados, y reducción de quejas por errores en límites o áreas. Este seguimiento permitirá medir cuantitativamente la influencia del sistema y corregir desviaciones a tiempo.

Quinta. Se recomienda a otras municipalidades rurales y urbanas del departamento de Apurímac y regiones vecinas considerar la implementación de un SIG catastral basado en la metodología aquí presentada, dado que los resultados demuestran su viabilidad técnica y su influencia positiva en contextos con recursos limitados.

Respecto al objetivo específico 1: Evaluar la influencia de la cartografía base generada mediante métodos directos e indirectos en la precisión del catastro urbano de Chacoche, se recomienda:

Primera. Se recomienda que la Municipalidad Distrital de Chacoche realice actualizaciones periódicas de la cartografía catastral utilizando tecnologías de posicionamiento GNSS y levantamientos fotogramétricos mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV), debido a que estas herramientas permiten obtener información espacial con altos niveles de precisión y detalle. La actualización continua de la cartografía permitirá identificar oportunamente modificaciones en la configuración urbana, nuevos predios, ampliaciones, subdivisiones y cambios en el uso del suelo, garantizando la confiabilidad de la información catastral y reduciendo errores asociados a métodos tradicionales de levantamiento.

Segunda. Se recomienda establecer una red geodésica local de apoyo que sirva como referencia para futuros proyectos de actualización catastral, obras de infraestructura y estudios territoriales. La existencia de puntos geodésicos certificados facilitará la georreferenciación de nuevos levantamientos y contribuirá a mantener la uniformidad

espacial de la información generada por la municipalidad.

Tercera. Se sugiere incorporar procedimientos de control de calidad cartográfica durante las etapas de captura, procesamiento y generación de productos fotogramétricos, verificando periódicamente parámetros como precisión posicional, resolución espacial, consistencia geométrica y exactitud de los datos obtenidos, con el propósito de garantizar la confiabilidad técnica de la información utilizada para la gestión urbana.

Cuarta. Se recomienda generar, a partir de la cartografía base obtenida, productos derivados adicionales que no fueron desarrollados en esta tesis pero que son útiles para la gestión municipal, tales como: modelo digital de elevaciones (DEM) con curvas de nivel cada 0.5 m, ortofoto indexada por manzanas, y perfiles longitudinales de las vías principales. Estos productos pueden obtenerse con los mismos datos sin necesidad de nuevos levantamientos.

Quinta. Se recomienda documentar detalladamente todos los procedimientos de campo y gabinete en un manual técnico de levantamiento catastral para el distrito de Chacoche, que incluya: configuraciones del receptor GNSS, parámetros de vuelo del dron, flujo de procesamiento en Agisoft Metashape, y criterios de validación de la cartografía. Este manual será de gran utilidad para la capacitación de nuevo personal y para garantizar la reproducibilidad del método.

Respecto al objetivo específico 2: Analizar la influencia de la implementación de una geodatabase en la organización y disponibilidad de la información catastral urbana de Chacoche, se recomienda:

Primera. Se recomienda que la geodatabase implementada sea adoptada como repositorio oficial de la información catastral urbana del distrito, centralizando en una única plataforma digital todos los registros gráficos y alfanuméricos relacionados con los predios urbanos. Esta medida permitirá optimizar los procesos de almacenamiento,

consulta, actualización y administración de la información territorial, evitando la duplicidad de registros y reduciendo inconsistencias entre documentos físicos y digitales.

Segunda. Se recomienda establecer procedimientos institucionales para la actualización permanente de la base de datos geoespacial, incorporando protocolos que permitan registrar de manera sistemática los cambios prediales, transferencias de propiedad, habilitaciones urbanas, subdivisiones y modificaciones de infraestructura urbana. Esto contribuirá a mantener un catastro actualizado y acorde con la realidad física del territorio.

Tercera. Se sugiere integrar progresivamente la geodatabase catastral con otras áreas de gestión municipal, tales como desarrollo urbano, gestión tributaria, obras públicas, defensa civil y planificación territorial, con la finalidad de consolidar un sistema de información territorial integral que facilite la toma de decisiones y fortalezca la gestión pública local.

Cuarta. Se recomienda implementar un sistema de respaldo periódico de la geodatabase con dos niveles de seguridad: (1) respaldo local diario o semanal en discos externos, y (2) respaldo en la nube (con cifrado) mensual. La información catastral es un activo crítico para la municipalidad, y su pérdida por fallo técnico, robo o desastre natural tendría consecuencias muy graves. La redundancia es la única garantía de disponibilidad a largo plazo.

Quinta. Finalmente, se recomienda promover futuras tesis orientadas al desarrollo de catastros multipropósito y plataformas web SIG que permitan la consulta y actualización de información territorial en línea, favoreciendo la transparencia institucional, el acceso a la información y la modernización de los servicios municipales.

Estas recomendaciones buscan consolidar y proyectar los logros alcanzados en la tesis, asegurando que la influencia favorablemente del SIG no se diluya con el tiempo y

que la inversión realizada en levantamiento, cartografía y geodatabase genere beneficios sostenidos para la gestión del catastro urbano de Chacoche.

VIII. Referencias

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). Principles of geographical information systems (3rd ed.). Editorial: Oxford University Press. (ISBN: 9780198742845)

Carbajal, P. (2021). Diseño e implementación de un sistema de información geográfica que contribuya con el catastro urbano en el distrito de La Perla, Callao [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. http://hdl.handle.net/20.500.13084/7475

Chiles, J., y Pico, J. (2024). Aplicación de sistemas de información geográficos para el catastro de afloramientos naturales de petróleo en la provincia de Santa Elena, Ecuador [Tesis de licenciatura, Universidad Estatal Península de Santa Elena].

Curmayari, H. (2022). Aplicación de un sistema de información geográfica (SIG) para la georreferenciación e implementación de áreas verdes urbanas en el distrito de San Juan de Lurigancho [Informe de suficiencia profesional, Universidad Nacional Federico Villarreal].

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. d. P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). Editorial: McGraw-Hill Interamericana. ISBN 978-1-4562-2396-0.

Hernández, J., Salabarría, J., Iglesias, M., & Canino, M. (2024). Organización metodológica de proyectos de sistemas de información geográfica (SIG) aplicados a la gestión territorial. Artículo académico.

Hofmann, W.B., y Moritz, H. (2006). Physical geodesy (2nd ed., corrected ed.). Editorial: SpringerWienNewYork.

Huarancca, R., y León, C. (2023). Aplicación de un SIG en la tasación de predios urbanos del sector San Juan Evangelista [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de

San Agustín de Arequipa].

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic information science and systems* (4th ed.). Editorial: John Wiley & Sons.

Li, Z., Zhu, Q., y Gold, C. (2005). Digital terrain modeling: Principles and methodology. CRC Press.

Manrique, J., & García, L. (2023). Utilización del sistema de información geográfica de gestión predial en el Macroproyecto San José [Tesis de especialización, Universidad de Manizales].

Mendoza, K. (2021). Aplicación de un visor geográfico como herramienta de digitalización del catastro urbano en el distrito de Pueblo Libre [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal].

Mucha, J. (2024). Sistema de información geográfica para la gestión del catastro urbano en la Municipalidad Distrital de Chilca, Huancayo [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP. http://hdl.handle.net/20.500.12894/11553

Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. International Journal of Morphology, 35(1), 227-232. https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037

Ortiz, C. (2021). Aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG) en la elaboración del catastro de redes de acueducto y alcantarillado en el municipio de Chitagá, Norte de Santander [Tesis de grado, Universidad de Pamplona].

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2015). Manual de Frascati 2015: Directrices para la recopilación y presentación de datos sobre investigación y desarrollo experimental. Edición en español. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264239012-es

Sepúlveda Millán, J. (2021). Análisis del papel de los sistemas de información geográfica (SIG) en los procesos de ordenamiento territorial en Colombia [Trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada].

Castro, J. M. (2024). Precisión catastral en zonas andinas: Estudio comparativo de tecnologías de levantamiento topográfico (Tesis de maestría). Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. https://repositorio.uni.edu.pe/handle/123456789/4502

Schofield, W., & Breach, M. (2007). Engineering surveying (6th ed.). Editorial: Elsevier/Butterworth-Heinemann.

Fernández, R. A. (2023). Integración de modelos digitales del terreno en Sistemas de Información Geográfica para gestión municipal. Revista Peruana de Geomática y Ordenamiento Territorial, 8(2), 45-62. https://doi.org/10.53555/rpgot.v8i2.2105

Gutiérrez, L. H. (2021). Desafíos topográficos en la gestión catastral de distritos altoandinos. Editorial Universitaria Andina.

López, M. C. (2024). Calidad de datos geoespaciales como fundamento de SIG municipales sostenibles. En P. Vargas & G. Salazar (Eds.), Gestión territorial inteligente: Experiencias peruanas (pp. 89-112). Instituto de Investigación en Geociencias.

Navarro, S., Rodríguez, P., & Torres, A. (2022). Eficiencia de vehículos aéreos no tripulados en levantamientos catastrales de topografía compleja. Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, 25, 78-95. https://doi.org/10.21138/geof.2022.2504

Paredes, F., Quispe, M., & Sánchez, R. (2022). Análisis de error acumulativo en mediciones catastrales convencionales en la región Cusco. Tecnia, 32(1), 34-49. http://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnia/article/view/1256

Quispe, A. (2022). Diagnóstico de sistemas catastrales municipales en la región Apurímac:

Heterogeneidad y desafíos técnicos (Tesis de pregrado). Repositorio de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/20.500.12918/678

Ríos, E. (2024, marzo 15). Implementación superficial de tecnologías geoespaciales en municipios andinos: Un análisis crítico. Geoperú Noticias. https://www.geoperu.pe/articulos/implementacion-superficial-tecnologias-geoespaciales

Rojas, G. (2023). La paradoja tecnológica en la gestión territorial de municipios andinos peruanos. Revista de Gestión Pública, 14(3), 201-220. https://doi.org/10.53555/rgp.v14i3.1879

Silva, J. A., y Mendoza, R. T. (2020). Barreras institucionales para la modernización catastral en el Perú. Centro de Estudios sobre Desarrollo Regional.

Snyder, J. P. (1987). Map projections: A working manual (Professional Paper No. 1395). Editorial: United States Geological Survey. https://doi.org/10.3133/pp1395.

Trabanco, J. L. A., Rodrigues, C. A., Silva, M. A. e, & Rodríguez, J. P. M. (2022). Urban Cadastre: a Proposal for Coding of Urban Parcels Nationwide. Revista Brasileira de Cartografia, *74*(4), 678–691. https://doi.org/10.14393/rbcv74n4-64008

Torres, F. (2023). Islas de información: Fragmentación de datos geoespaciales en gobiernos locales. Instituto Catastral de Lima.

Vega, M., Díaz, C., & López, S. (2023). Consecuencias socioeconómicas de la inconsistencia de datos catastrales en distritos peruanos. Cuadernos de Investigación en Economía Regional, 19, 112-130. https://doi.org/10.53555/cier.2023.1908.

International Organization for Standardization. (2012). ISO 19152:2012 Geographic information — Land Administration Domain Model (LADM).

https://www.iso.org/standard/51206.html

Williamson, I. P., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2010). Land administration for sustainable development. ESRI Press Academic.

Wolf, P. R., y Dewitt, B. A. (2000). Elements of photogrammetry with applications in GIS (3rd ed.). McGraw-Hill.

Federación Internacional de Geodestas (FIG). (1995). FIG Statement on the Cadastre. FIG Publication No. 11. https://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub11/figpub11.asp

Los anexos, panel fotográficos y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica delos Andes.