

Aplicación de fotogrametría para el análisis predial en áreas en riesgo de expropiación por proyectos de infraestructura en ventanilla, Lima 2025

Application of photogrammetry for property analysis in areas at risk of expropriation due to infrastructure projects in ventanilla, Lima, 2025

 Alvaro Manuel Alfonso Flores Huamani
alvarofhuamani@gmail.com
Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú

Resumen

La presente tesis buscó determinar en qué medida la fotogrametría permite disminuir el tiempo y los recursos que exige la evaluación de predios cuando estos son afectados por expropiaciones vinculadas a obras de infraestructura, tomando como caso el distrito de Ventanilla durante el año 2025. Se trabajó bajo un enfoque aplicado con diseño cuasi-experimental, combinando vuelos con drones geoprocesamiento en sistemas de información geográfica y revisión de documentos. Se analizaron 17 lotes del sector Defensores de la Patria usando un DJI Phantom 4 Pro que alcanzó tomas con resolución de 2.8 cm. Frente a los métodos topográficos convencionales el procesamiento fotogramétrico redujo los tiempos en 48.6% y los costos bajaron 36.2% mientras que en 14 de los 17 predios se hallaron discrepancias entre los linderos reales y los que figuraban registrados lo que confirma que esta técnica detecta con eficacia errores de delimitación. También se obtuvieron ortofotos y modelos digitales de terreno bastante precisos que sirvieron para trazar con exactitud las zonas afectadas por la expropiación mejorando la planificación del territorio. En suma, la fotogrametría no solo eleva la precisión del análisis predial, sino que resulta más barata y rápida que las técnicas tradicionales lo que la vuelve una herramienta útil para que las expropiaciones en zonas urbanas de alta demanda se resuelvan de forma más ágil transparente y técnicamente sólida.

Palabras claves: fotometría, expropiación, infraestructura, análisis predial.

Abstract

This thesis sought to determine to what extent photogrammetry can reduce the time and resources required for property assessment when parcels are affected by expropriations linked to infrastructure projects taking the district of Ventanilla during 2025 as the case study. The work followed an applied approach with a quasi-experimental design combining drone flights GIS based geoprocessing and document review. Seventeen lots in the Defensores de la Patria sector were analyzed using a DJI Phantom 4 Pro that achieved images with a resolution of 2.8 cm. Compared with traditional methods, the photogrammetric propose cut processing times by a 48.6%, and also lowered costs by a 36.2% while turning up boundary discrepancies in 14 of 17 parcels. The orthophotos and digital terrain models it produced came out highly precise and were used to map with accuracy the areas affected by expropriation while strengthening territorial planning in the process. Taken together these findings show photogrammetry does more than improve the accuracy of property analysis: it comes out cheaper and quicker in comparison to conventional techniques making it a practical option for handling expropriations in fast growing urban areas through a process that is more agile, transparent and technically grounded.

Keywords: photogrammetry, expropriation, infrastructure, property analysis.



Publicado: 29/09/2026
Aceptado: 27/09/2026
Recibido: 31/07/2026

 <https://doi.org/10.47422/ac.v7i3.235>



Introducción

El crecimiento urbano y la multiplicación de obras de infraestructura se han vuelto necesarias para desarrollar una base confiable para planificar, delimitar y poder administrar los predios. Es por eso que, debido a ello, la fotogrametría con drones se convierte en una posible alternativa capaz de obtener datos del espacio mediante fotografías aéreas. Estas fotografías permitirían generar: ortofotos, modelos de terreno y vistas 3D. Esto resulta importante ya que significaría un cambio respecto a metodologías tradicionales.

Dicha dificultad se vuelve más agresiva donde existen suelos ocupados de manera informal o terrenos expuestos a riesgos naturales, pues es por ello que, sin datos prediales, genera dificultades como: trazo de límites, identificación de zonas afectadas y sustentación técnica de procesos de infraestructura y expropiación.

De manera particular, en el distrito de Ventanilla dicha situación responde al crecimiento urbano hallado en desorden y a la ocupación de zonas vulnerables, lo que exige contar con herramientas tecnológicas que caractericen el territorio y aporten información confiable para decidir con mayor certeza.

En el ámbito internacional, Rábago y Portuguez (2023) mostraron que la fotogrametría con drones puede generar ortomosaicos y modelos tridimensionales de alta precisión útiles para el levantamiento topográfico y la representación espacial, aunque señalaron que su aprovechamiento depende de una adecuada preparación técnica y de recursos suficientes para el procesamiento de los datos.

Facci et al. (2022) emplearon drones para la gestión y regularización del suelo urbano en Guararema, São Paulo, y mediante aerofotogrametría y puntos de control terrestre obtuvieron productos cartográficos georreferenciados con precisión submétrica, lo que respalda el uso de UAV como alternativa viable para municipios que necesitan información espacial precisa sin asumir los costos de los procedimientos tradicionales.

Galena et al. (2020) utilizaron UAV y GPS de alta precisión para estudiar procesos de subsidencia en Querétaro, México, y a partir de ortomosaicos y modelos digitales de elevación identificaron variaciones del terreno y localizaron sectores afectados por desplazamientos asociados a fallas geológicas, lo que confirma que la integración de fotogrametría y georreferenciación permite reconocer condiciones de riesgo en áreas urbanas susceptibles a afectaciones.

Visalot et al. (2022) estudiaron el uso de drones en Chachapoyas, Perú, y encontraron que esta tecnología

permite realizar levantamientos más rápidos y detallados para procesos de zonificación y gestión territorial, lo cual resulta pertinente para investigaciones orientadas al análisis predial en sectores donde se requiere actualizar o complementar la información existente.

Villar et al. (2023) señalaron la utilidad de la fotogrametría y los sistemas de información geográfica para generar representaciones tridimensionales y productos georreferenciados aplicables al análisis territorial, herramientas que no solo representan físicamente un espacio, sino que también fortalecen la planificación y evaluación de escenarios urbanos con dinámicas complejas de ocupación.

Leija y Valle (2022) destacaron que la fotogrametría permite generar modelos tridimensionales a partir de información espacial capturada de forma remota, lo que ofrece una visión más detallada de las características físicas del territorio y constituye un recurso útil para evaluar superficies, límites y condiciones espaciales en determinados sectores.

Skondras et al. (2022) analizaron el empleo de UAV para el mapeo y la representación tridimensional del espacio urbano en Grecia, y mediante el procesamiento fotogramétrico de imágenes aéreas obtuvieron nubes de puntos, ortomosaicos y modelos 3D con niveles de precisión adecuados para representar áreas urbanas, productos que según los autores contribuyen a la planificación estratégica y a la toma de decisiones sobre espacios urbanos complejos.

Pacheco et al. (2023) evaluaron el uso de UAV para levantamientos topográficos en Ecuador, con énfasis en la generación de ortomosaicos y la georreferenciación mediante puntos de control terrestre, y comprobaron que bajo condiciones apropiadas de levantamiento y procesamiento es posible alcanzar altos niveles de precisión, lo que refuerza la pertinencia de esta técnica para obtener información espacial confiable en investigaciones sobre análisis y delimitación predial.

En el distrito de Ventanilla, el problema aparece por un aumento en el crecimiento urbano, ya que debido a ello las familias se instalaron en zonas peligrosas, con tendencia a sufrir desastres naturales. Esta situación se agrava por la carencia o el atraso de los datos territoriales pues esto complica describir los predios y establecer con precisión qué superficies quedarían comprendidas dentro de las obras de infraestructura.

Se establece que métodos tradicionales de levantamiento alargan los plazos, elevan los costos y dificultan contrastar lo observado en campo con la información de predios existente. Es por ello que resulta necesario recurrir a

herramientas tecnológicas capaces de brindar datos actualizados georreferenciados y verificables.

El estudio se justifica en que el uso de fotogrametría con UAV puede brindar información espacial más detallada para describir el terreno reconocer las condiciones físicas de los predios y precisar mejor las áreas comprendidas en procesos de expropiación.

Desde el punto de vista práctico los resultados podrían reducir el tiempo y los recursos demandantes de recopilar información mientras que, desde el punto de vista metodológico, la combinación de: imágenes aéreas, trabajo de campo, georreferenciación GNSS y sistemas de información geográfica, permite construir una base técnica que sirva de referencia para análisis territoriales futuros. Esto aporta evidencia para contextos urbanos similares al de Ventanilla.

En correspondencia con esta problemática, el objetivo general fue aplicar la fotogrametría para el análisis predial en áreas en riesgo de expropiación por proyectos de infraestructura en Ventanilla, Lima, 2025, y de manera específica se buscó analizar su utilidad para caracterizar el terreno, evaluar su aplicación en la obtención de información predial precisa para procesos de expropiación y determinar su contribución en la identificación de la vulnerabilidad de los predios frente a la ejecución de proyectos de infraestructura.

Método

La investigación es de tipo aplicada, debido a que busca utilizar conocimientos científicos y herramientas fotogramétricas para atender un problema concreto relacionado con el análisis predial en áreas sujetas a expropiación (Castro et al., 2022).

La población corresponde al distrito de Ventanilla, mientras que la muestra, seleccionada mediante muestreo por conveniencia, está constituida por el sector "Defensores de la Patria". La delimitación de la población y muestra sigue los criterios señalados por Hernández y Mendoza (2018).

La investigación considera como variable independiente la fotogrametría, evaluada mediante parámetros de vuelo, captura de imágenes, geoprocésamiento de datos territoriales y generación de superficies digitales.

La variable dependiente corresponde al análisis predial en áreas en riesgo de expropiación por proyectos de infraestructura, abordado mediante las dimensiones de caracterización del terreno, evaluación de expropiación y

vulnerabilidad del predio. Estas dimensiones permiten valorar aspectos como extensión y delimitación, ubicación respecto al área de influencia, grado de afectación y proximidad a las obras proyectadas.

Para reunir la información se recurrió al análisis documental apoyado en dos instrumentos una guía de análisis fotogramétrico y otra para evaluar los predios con las cuales se ordenó lo obtenido de imágenes aéreas modelos digitales cartografía registros catastrales normas urbanas y observación directa en campo.

Se tomaron en cuenta indicadores como la altura de vuelo la calidad y resolución de las tomas la ruta seguida las características de las vías las superficies digitales los límites de cada predio su situación legal su ubicación dentro del área de influencia y el grado de afectación.

El trabajo empezó con la delimitación geoespacial del sector Defensores de la Patria seguida de la revisión de los perfiles viales y la normativa vigente la identificación de las vías donde se intervendría y la planificación del vuelo. Seguido, se llevaron a vuelo drones con apoyo de imágenes satelitales y puntos de control (en tierra) para lograr información georreferenciada.

Seguido, se procesó la información con ayuda de un software especializado. Gracias a ello, brindó ortofotos de modelos digitales de terreno y de superficie y planos de catastro actualizados. Con lo generado, se reconocieron los predios afectados y también se pudo medir el nivel de afectación de cada uno.

Al analizar los datos se comparó el método topográfico tradicional con la fotogrametría fijándose sobre todo en el tiempo de levantamiento los costos y la precisión de lo obtenido y aunque lo convencional puede costar menos al inicio la fotogrametría agiliza la recolección y el procesamiento de datos y entrega representaciones espaciales más detalladas lo que favorece delimitar mejor las zonas de intervención.

Por último, se tuvieron en cuenta criterios éticos referidos a la precisión la transparencia la integridad y la confidencialidad de la información manejando los datos catastrales y personales de forma reservada sin usarlos ni difundirlos sin autorización.

La identificación de las zonas de posible expropiación se hizo bajo principios de legalidad justicia y equidad y el manejo de drones e imágenes satelitales respeto las normas aplicables y la privacidad de las personas involucradas.

Resultados

Hipótesis general

La aplicación de fotogrametría permite desarrollar un análisis predial detallado mediante la generación de modelos digitales del terreno y delimitaciones precisas en zonas en riesgo de expropiación.

Tabla 1

Indicadores evaluados para la hipótesis general

Indicador	Valor Obtenido	Mejora frente al método tradicional
Precisión de resolución espacial	2.8 cm/píxel	Submétrica frente a 10 cm/píxel en topografía
Número de lotes analizados	17	
Lotes con discrepancias corregidas	14	
Porcentaje de discrepancias detectadas	82.35%	Mayor detección de errores no visibles en campo
Reducción de tiempo de procesamiento	48.6%	Casi la mitad del tiempo requerido
Reducción de costos operativos	36.2%	Reducción significativa de costos logísticos
Rango de porcentaje de área cedida	7.81% – 9.56%	No disponible en métodos sin fotogrametría
Clasificación técnica de vulnerabilidad	Alta / Media / Baja	No aplicable sin delimitación precisa
Error de medición horizontal estimado	2.98 mm	Reducción de errores posicionales
Error de medición vertical estimado	2.78 cm	Cumple estándar para ortofotos clase A

El uso de esta tecnología permitió alcanzar una resolución espacial de 2.8 cm/píxel, muy superior al estándar topográfico tradicional de 10 cm/píxel, lo que garantizó una representación submétrica del territorio. Se analizaron 17 lotes, de los cuales en 14 se detectaron discrepancias con los registros previos, representando un 82.35 % de correcciones, lo que demuestra una capacidad técnica destacada para identificar errores que no son perceptibles en campo. Además, se evidenció una reducción del 48.6 % en el tiempo de procesamiento y del 36.2 % en los costos operativos, lo que reafirma la eficiencia del método. A nivel técnico, se logró delimitar el porcentaje de área

cedida en rangos entre 7.81 % y 9.56 %, clasificar los niveles de vulnerabilidad de cada predio (Alta, Media o Baja), y establecer una precisión horizontal de 2.98 mm y vertical de 2.78 cm, cumpliendo con los estándares para productos cartográficos de clase A.

Hipótesis específica 1

El uso de fotogrametría proporciona datos geométricos consistentes que permiten caracterizar los terrenos ubicados en zonas de intervención.

Tabla 2

Indicadores evaluados para la hipótesis específica 1

Indicador Geométrico	Valor Obtenido	Implicancia en la caracterización predial
Resolución espacial obtenida	2.8 cm/píxel	Alta precisión en la definición de bordes y superficie
Número total de lotes analizados	17	Cobertura completa del área de intervención
Lotes con discrepancias detectadas	14	Corrección de errores en registros catastrales
Porcentaje de discrepancias corregidas	82.35%	Alto nivel de validación geométrica
Rango de área total de los lotes	94.7 m ² – 130.0 m ²	Evaluación cuantitativa precisa del tamaño predial
Rango de área cedida para infraestructura	7.4 m ² – 12.3 m ²	Delimitación exacta de zonas sujetas a cesión
Porcentaje de área cedida	7.81% – 9.56%	Identificación del grado de afectación del predio
Ángulos de vértice identificados	90° y variantes irregulares	Reconocimiento detallado de forma del terreno
Presencia de delimitación irregular	Sí, en 6 de los 17 lotes	Consideración técnica de condiciones irregulares

La hipótesis que plantea que el uso de fotogrametría proporciona datos geométricos consistentes para

caracterizar terrenos en zonas de intervención se corrobora al observar que se alcanzó una resolución de 2.8 cm/píxel,

se analizaron 17 lotes con una cobertura completa, y se corrigieron discrepancias en 14 de ellos, equivalentes al 82.35 %. Además, se definieron áreas totales entre 94.7 y 130.0 m², y áreas cedidas entre 7.4 y 12.3 m², con porcentajes de afectación predial entre 7.81 % y 9.56 %, evidenciando delimitaciones precisas, incluso en casos con geometrías irregulares.

Tabla 3

Indicadores evaluados para la hipótesis específica 2

Indicador Técnico	Valor Obtenido	Interpretación en evaluación de expropiación
Resolución espacial alcanzada	2.8 cm/píxel	Permite delimitar con alta precisión los predios afectados
Modelos digitales generados	Ortofotografía + MDT + MDS	Proporcionan representación tridimensional completa del terreno
Errores corregidos en linderos	82.35% (14 de 17 lotes)	Detecta inconsistencias catastrales y mejora la confiabilidad legal
Precisión horizontal	2.98 mm	Garantiza exactitud planimétrica para uso técnico y legal
Precisión vertical	2.78 cm	Adecuada para cálculo altimétrico en compensaciones
Rango de porcentaje de área cedida	7.81% – 9.56%	Permite estimar con precisión el nivel de afectación predial
Cobertura total de predios analizados	100% de los 17 lotes	Se asegura un diagnóstico completo en la zona de intervención
Tasa de reducción en tiempo de procesamiento	48.6%	Optimiza el proceso de evaluación reduciendo tiempos operativos
Tasa de reducción en costos operativos	36.2%	Disminuye costos logísticos y operacionales del levantamiento

La hipótesis que plantea que la aplicación de fotogrametría facilita la obtención de información predial con niveles de exactitud adecuados en procesos de evaluación de expropiación se corrobora con base en los indicadores técnicos obtenidos. Se alcanzó una resolución espacial de 2.8 cm/píxel y se generaron productos como ortofotografías, MDT y MDS que permitieron una representación tridimensional precisa. Se corrigieron errores en linderos en el 82.35 % de los lotes, y se logró una precisión horizontal de 2.98 mm y vertical de 2.78 cm, suficientes para usos técnicos y legales. Además, se

Hipótesis específica 2

La aplicación de fotogrametría facilita la obtención de información predial con niveles de exactitud adecuados en los procesos de evaluación de expropiación.

delimitaron áreas cedidas con porcentajes entre 7.81 % y 9.56 %, se cubrió el 100 % de los predios analizados, y se redujeron los tiempos y costos operativos en 48.6 % y 36.2 % respectivamente.

Hipótesis específica 3

El uso de fotogrametría permite clasificar el nivel de vulnerabilidad de los predios mediante el cálculo del porcentaje de superficie cedida frente al área total registrada.

Tabla 4

Indicadores evaluados para la hipótesis específica 3

Indicador Evaluado	Valor Obtenido	Aplicación en la hipótesis
Número de lotes analizados	17	Representatividad adecuada de la muestra
Área total de los lotes	94.7 m ² – 130.0 m ²	Base para determinar grado de intervención
Área cedida por lote	7.4 m ² – 12.3 m ²	Variable clave para el cálculo del porcentaje
Porcentaje de área cedida	7.81% – 9.56%	Parámetro principal para definir vulnerabilidad
Clasificación del porcentaje cedido	≤ 8% (Baja), >8%-<9% (Media), ≥ 9% (Alta)	Permite segmentación objetiva de predios
Niveles de vulnerabilidad establecidos	Alta, Media, Baja	Facilita evaluación diferenciada por lote
Predios clasificados como alta vulnerabilidad	5	Identifica lotes con mayor riesgo de afectación
Rango de porcentaje de alta vulnerabilidad	≥ 9.00%	Criterio técnico para clasificar como 'alta'
Uso de ortofotografía y modelos digitales	Sí	Fundamento técnico del análisis espacial
Exactitud geométrica del cálculo	Submétrica (2.8 cm/píxel; error 2.98 mm)	Permite una clasificación confiable y precisa

La hipótesis que sostiene que el uso de fotogrametría permite clasificar el nivel de vulnerabilidad de los predios mediante el cálculo del porcentaje de superficie cedida frente al área total registrada se confirma a partir de los datos obtenidos. Se analizaron 17 lotes con áreas que oscilaron entre 94.7 m² y 130.0 m², de los cuales se calculó con precisión un porcentaje de cesión entre 7.81 % y 9.56 %, utilizando como base ortofotografías y modelos digitales de alta resolución (2.8 cm/píxel).

Discusión

Estudios previos, como el de Facci et al. (2022) en São Paulo, ya habían demostrado que el uso de drones en la generación de ortofotos y modelos digitales permite obtener resultados con precisión submétrica y una reducción significativa en costos y tiempo. De forma similar, en Ventanilla se logró una disminución del 48.6 % en tiempo de procesamiento y del 36.2 % en costos operativos, ratificando lo observado por Galena et al. (2020) en Querétaro, quienes también utilizaron UAV y GPS para detectar desplazamientos del terreno con errores mínimos de elevación. A nivel local, el caso de Chachapoyas abordado por Visalot et al. (2022) evidenció que los drones mejoraron los procesos de zonificación y valoración predial; en esta línea, el estudio en Ventanilla permitió detectar discrepancias en los linderos en 14 de los 17 predios analizados, generando modelos de alta precisión que facilitaron la delimitación de áreas expropiables. Además, mientras investigaciones como las de Villar et al. (2023) y Leija & Valle (2022) resaltaban la utilidad de la fotogrametría para crear modelos tridimensionales con datos confiables, en este trabajo se aplicaron modelos digitales con resolución de hasta 2.8 cm, fortaleciendo la evaluación predial y la planificación urbana en zonas críticas.

La presente investigación logró analizar la utilidad de la fotogrametría para la caracterización del terreno en zonas en riesgo de expropiación por proyectos de infraestructura en Ventanilla, confirmando los hallazgos de diversos antecedentes internacionales y locales. Por ejemplo, Galena et al. (2020) demostraron que el uso de UAVs y modelos digitales de elevación permite detectar desplazamientos del terreno con alta precisión, lo cual coincide con los resultados del presente estudio, en el que se identificaron discrepancias en linderos en 14 de los 17 predios analizados, revelando la capacidad de la fotogrametría para corregir errores en delimitaciones prediales.

Asimismo, la aplicación de drones y software como Pix4D permitió generar ortofotografías y modelos digitales del terreno con una resolución de hasta 2.8 cm, lo que optimizó la delimitación de áreas sujetas a expropiación, tal como se

evidenció en los estudios de Facci et al. (2022) y Skondras et al. (2022), quienes destacaron la precisión submétrica y la utilidad cartográfica de estas tecnologías para la planificación urbana. En línea con Villar et al. (2023), el presente trabajo también resaltó que los modelos tridimensionales obtenidos a través de fotogrametría no solo representan una solución técnica eficiente, sino que fortalecen los procesos de planificación territorial y toma de decisiones en contextos de presión urbana.

La evaluación de la aplicación de la fotogrametría en la obtención de información predial precisa para procesos de expropiación en zonas de intervención, como se planteó en esta investigación, demuestra hallazgos consistentes con los antecedentes revisados. Estudios previos realizados en contextos latinoamericanos, como los de Visalot et al. (2022) en Chachapoyas y Pacheco et al. (2023) en Ecuador, ya habían evidenciado que el uso de drones y herramientas fotogramétricas posibilita levantamientos de alta precisión en tiempos reducidos, optimizando así la planificación territorial. En esa misma línea, los resultados obtenidos en el caso del sector “Defensores de la Patria” en Ventanilla mostraron que la fotogrametría permitió reducir en un 48.6 % el tiempo de procesamiento y en un 36.2 % los costos operativos frente a métodos topográficos tradicionales.

Además, se identificaron discrepancias en los linderos en 14 de los 17 lotes analizados, lo cual ratifica la eficacia de la fotogrametría para detectar inconsistencias catastrales, como también lo reportaron Galena et al. (2020) al medir subsidencias en zonas urbanas mediante ortomosaicos y modelos digitales de elevación. Esta concordancia entre los antecedentes y los hallazgos del presente estudio respalda que el uso de UAVs y geoprocesamiento en entornos urbanos de alta complejidad legal y social no solo mejora la precisión técnica del análisis predial, sino que también contribuye a procesos de expropiación más transparentes, equitativos y eficientes, como han concluido Facci et al. (2022) y Villar et al. (2023) en contextos de regularización y monitoreo urbano.

Diversos estudios previos, como los de Facci et al. (2022) en São Paulo y Galena et al. (2020) en Querétaro, han demostrado que la aplicación de drones y fotogrametría mejora la precisión en la delimitación territorial, optimiza el tiempo de procesamiento y permite generar modelos digitales con precisión submétrica, factores que fueron confirmados en esta investigación al detectar discrepancias en los linderos de 14 de los 17 lotes analizados y reducir en 48.6 % el tiempo de procesamiento con relación a los métodos tradicionales.

Particularmente, los resultados obtenidos mostraron que los lotes con mayores porcentajes de área cedida superiores

al 9 % fueron clasificados como de alta vulnerabilidad, lo cual permitió establecer una escala de afectación predial objetiva, basada en datos geospaciales obtenidos mediante ortofotografías y modelos digitales del terreno. Esta evidencia empírica valida lo planteado por Villar et al. (2023), quienes destacan que el uso de tecnologías como la fotogrametría y los SIG posibilita diagnósticos más certeros y acciones planificadas en entornos urbanos con presión de desarrollo. Además, estudios como el de Skondras et al. (2022) en Grecia refuerzan la idea de que la precisión en la representación tridimensional del espacio urbano facilita procesos decisionales en contextos de ocupación irregular, situación presente en Ventanilla según la caracterización inicial del problema.

Conclusiones

- ✓ La fotogrametría alcanzó 2.8 cm/píxel de resolución en el análisis de los 17 lotes de Ventanilla. En 14 de ellos (82.35%) se corrigieron discrepancias de linderos mediante ortofotos y modelos digitales del terreno. Las áreas cedidas oscilaron entre 7.4 y 12.3 m², con un porcentaje de afectación de 7.81% a 9.56%; cinco lotes superaron el 9% y quedaron en la categoría de alta vulnerabilidad. El método redujo el tiempo de procesamiento en 48.6% y los costos en 36.2% frente a los métodos tradicionales.
- ✓ Con ortofotos de 2.8 cm/píxel y modelos digitales del terreno se midieron áreas, perímetros, ángulos de vértice y superficies cedidas en los 17 lotes de "Defensores de la Patria". Las áreas totales fueron de 94.7 a 130.0 m², las cedidas de 7.4 a 12.3 m², y se corrigieron linderos en 14 lotes (82.35%). Este análisis de datos ayudó a diferenciar los predios de geometría irregular y regular.
- ✓ La técnica aplicada usó ortofotos (MDT y MDS) con cálculos de superficie que respondieron a errores mínimos (2.98mm en horizontal y 2.78cm en vertical). Ello permitió detectar discrepancias en los linderos de 17 de los lotes, es decir, el 82.35% de la muestra y determinar con exactitud las áreas afectadas por la expropiación. Con ello se logró reducir el tiempo en un 48.6% y los costos en un 36.2% respecto de lo que demandan los métodos convencionales.
- ✓ Tomando como referencia el porcentaje de área cedida que fue de 7.81% a 9.56% los 17 predios quedaron agrupados en tres niveles de afectación bajo para los que llegaban hasta 8% medio para los que estaban entre 8% y 9% y alto para los que llegaban a 9% o más. Cinco predios cayeron en el nivel alto. La resolución de 2.8 cm/píxel y la precisión horizontal de 2.98 mm hicieron posible esta clasificación con datos confiables de linderos y superficies.

Recomendaciones

- ✓ Se recomienda institucionalizar la fotogrametría en los levantamientos catastrales de entidades públicas en zonas de riesgo de expropiación, como en Ventanilla. La técnica alcanza 2.8 cm de precisión espacial, muy por encima de los métodos tradicionales, lo que permite delimitar linderos con exactitud y reducir disputas legales sobre la compensación a los propietarios.
- ✓ Se recomienda realizar levantamientos fotogramétricos antes de cualquier evaluación de expropiación en zonas de riesgo. En este estudio 14 de los 17 lotes presentaron discrepancias lo que evidencia que los registros previos tenían datos omitidos o imprecisos y corregir esos errores a tiempo permite agilizar tanto el proceso técnico como el legal de adquisición de los predios.
- ✓ Se sugiere priorizar la fotogrametría con drones en zonas urbanas densas o de difícil acceso. El método logró bajar el tiempo de levantamiento en 48.6% y los costos en 36.2% en comparación con las técnicas tradicionales dejando así recursos disponibles para otras etapas del proceso de expropiación.

Se recomienda incorporar la fotogrametría dentro de los sistemas de información geográfica municipales y regionales de Ventanilla de modo que sea posible dar seguimiento continuo a los predios expuestos a futuros proyectos de infraestructura. Esto facilita la planificación preventiva con datos actualizados sobre riesgos y expansión urbana.

Referencias bibliográficas

- Castro, J., Gómez, L. y Camargo, E. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Facci, F., Ferreira, T. y Noel, F. (2022). Uso de aeronave remotamente pilotada como ferramenta para análise e gestão territorial: Um estudo para regularização fundiária urbana. *Engenharia Urbana Em Debate*, 3(1/2), 8-24. Obtenido de <https://www.engurbdebate.ufscar.br/index.php/engurbdebate/article/view/39>
- Galena, V., Chávez, O. y Medellín, G. (2020). On the measure of land subsidence throughout DEM and orthomosaics using GPS and UAV. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 22(1), 1-12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.1.006>
- Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Editorial McGraw-Hill. http://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/sampieri_lasrutas.pdf
- Leija, D. y Valle, L. (2022). Fotogrametría como recurso de virtualización en la difusión y preservación digital de patrimonio tangible. *Ediciones Complutense*, 32(2), 325-342. <https://doi.org/10.5209/rgid.81373>
- Pacheco, H., Jarre, E., Macías, J., Intriago, F., Ortega, B. y Menéndez, E. (2023). Use of Unmanned Aerial Vehicle as an Alternative. *Enfoque UTE*, 14(1). 62-74. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.881>
- Rábago, J. y Portuguese, M. (2023). Use of Drone Photogrammetry as An Innovative, Competency-Based Architecture Teaching Process. *Drones*, 7(3), 187. <https://doi.org/10.3390/drones7030187>
- Skondras, A., Karachaliou, E., Tavantzis, I., Tokas, N., Valari, E., Skalidi, I., . . . Stylianidis, E. (2022). UAV Mapping and 3D Modeling as a Tool for Promotion and Management of the Urban Space. *Drones*, 6(5), 115. <https://doi.org/10.3390/drones6050115>
- Villar, F., Candelario, S. y Diaz, J. (2023). Drones, fotogrametría y sistemas de información geográfica. Algunos aportes a la arqueología de contextos industriales. *Comechingonia*, 27(1).
- https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_artext&pid=S1851-00272023000100021
- Visalot, A., Díaz, E. y Cayo, J. (2022). Aplicación de la fotogrametría RPAS en zonificaciones urbanas. *Revista Pakamuros*, 10(3). <https://doi.org/10.37787/vtb83063>