



Algoritmo de procesamiento de imágenes mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados para el diagnóstico y mantenimiento del pavimento flexible de la vía Bagua – Cajaruro-Amazonas-Perú

Image processing algorithm through the use of unmanned aerial vehicles for the diagnosis and maintenance of the flexible pavement of the Bagua – Cajaruro-Amazonas-Peru highway

Algoritmo de processamento de imagens através do uso de veículos aéreos não tripulados para diagnóstico e manutenção do pavimento flexível da rodovia Bagua – Cajaruro-Amazonas-Peru

Ronald Omar Estela Urbina¹
Roger Álvaro Fernández Villarroel²
Wilson Joel Lujan Llacsahuanga³
Kevin Arnie Alarcón Wipio⁴
Elisa Contreras Barsallo⁵
Marko Antonio Rico Gamonal⁶

1Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua-Perú; restela@unibagua.edu.pe ; <https://orcid.org/0000-0001-5240-1242>

2Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua-Perú; rfernandez@unibagua.edu.pe ; <https://orcid.org/0000-0001-7912-7722>

3Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua-Perú; jlujan@unibagua.edu.pe ; <https://orcid.org/0000-0002-8560-9979>

4Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua-Perú; kalarcon@unibagua.edu.pe ; <https://orcid.org/0009-0008-9954-2120>

5Universidad César Vallejo. Perú; elisacontbar@gmail.com ; <https://orcid.org/0000-0002-0278-7252>

6Universidad Nacional Intercultural “Fabiola Salazar Leguía” de Bagua-Perú; mrico@unibagua.edu.pe ; <https://orcid.org/0009-0006-8456-0866>

Fecha de Recepción: 08 Julio 2025 Fecha de Revisión 09 Julio 2025 Fecha de Publicación 10 Julio 2025

Resumen

El estado físico de las vías producto de las lluvias y el tránsito es un problema común en muchas regiones del Perú, genera consecuencias negativas tanto en la infraestructura como en la seguridad de los conductores y peatones. El objetivo de esta indagación persigue proponer la implementación de un algoritmo para la detección de baches o fallas en la vía Bagua-Cajaruro, de forma práctica y haciendo uso de software libre a partir de imágenes obtenidas de un dron. Respecto a la metodología empleada, el tipo de investigación es de enfoque Cuantitativo - descriptivo. El diseño de investigación es cuantitativo de nivel descriptivo y tipo comparativo. La técnica que se aplicó en esta investigación fue primaria, la revisión de publicaciones científicas de los últimos seis años, análisis de contenidos, cuadros estadísticos y lenguaje de programación.

Se obtuvo como resultado una sistematización de las fallas que presenta la vía a partir del PCI (Índice de Conservación del Pavimento), se implementó un software en Python que permitió determinar el área del bache o la falla a partir de la imagen y su comparación con el valor medido directamente, se determinó que para alturas pequeñas de vuelo menor a 3 metros se logra razones de comparación del orden del 83% de los valores reales del área del bache.

Palabras claves: algoritmo, bache, python, pavimento, procesamiento de imagen.

Abstract

The physical condition of the roads as a result of rains and traffic is a common problem in many regions of Peru, it generates negative consequences both on the infrastructure and on the safety of drivers and pedestrians. The objective of this investigation is to propose the implementation of an algorithm for the detection of potholes or faults on the Bagua-Cajamaruro road, in a practical way and using free software from images obtained from a drone. Regarding the methodology used, the type of research is a Quantitative - descriptive approach. The research design is quantitative, descriptive and comparative. The technique that was applied in this research was primary, the review of scientific publications from the last six years, content analysis, statistical tables and programming language. As a result, a systematization of the failures that the road presents was obtained from the PCI (Pavement Conservation Index), a software in Python was implemented that allowed determining the area of the pothole or failure from the image and its comparison with the directly measured value, it was determined that for small flight heights less than 3 meters, comparison ratios of the order of 83% of the real values of the pothole area are achieved.

Keywords: algorithm, pothole, python, pavement, image processing.

Resumo

A condição física das estradas em decorrência das chuvas e do trânsito é um problema comum em muitas regiões do Peru, gera consequências negativas tanto na infraestrutura quanto na segurança de motoristas e pedestres. O objetivo desta investigação é propor a implementação de um algoritmo para detecção de buracos ou falhas na estrada Bagua-Cajamaruro, de forma prática e utilizando software livre a partir de imagens obtidas de um drone. Quanto à metodologia utilizada, o tipo de pesquisa é de abordagem Quantitativo-descritiva. O desenho da pesquisa é quantitativo, descritivo e comparativo. A técnica aplicada nesta pesquisa foi primária, a revisão de publicações científicas dos últimos seis anos, análise de conteúdo, tabelas estatísticas e linguagem de programação. Como resultado obteve-se uma sistematização das falhas que a estrada apresenta a partir do PCI (Pavement Conservation Index), foi implementado um software em Python que permitiu determinar a área do buraco ou falha a partir da imagem e sua comparação com o valor medido diretamente, determinou-se que para pequenas alturas de voo inferiores a 3 metros são alcançados índices de comparação da ordem de 83% dos valores reais da área do buraco.

Palavras-chave: algoritmo, buraco, python, pavimento, processamento de imagens.

Introducción

Acorde con la información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) de Perú, la red vial nacional está constituida con más de 70,000 kilómetros de carreteras, dentro de ellas aproximadamente 16,000 kilómetros son vías nacionales. No obstante, la información referente a cuanto de vía es pavimento rígido o flexible no se dispone. El uso de concreto o pavimento rígido y asfalto o flexible está sujeto a múltiples variables, como el peso y volumen vehicular, los factores climáticos, características geotécnicas y los costos de mantenimiento.

El estado físico de las vías producto de las lluvias y el tránsito es un problema común en muchas regiones del Perú, genera consecuencias negativas tanto en la infraestructura como en la seguridad de los conductores y peatones (Serna & Herrera, 2019). El efecto de las lluvias erosiona gradualmente la capa superior de las vías asfaltadas, fundamentalmente por la carencia de un buen sistema de drenaje. Esto puede llevar a que se forme baches y grietas. Las continuas y fuertes lluvias inundan espacios de las vías, poniendo en riesgo la estabilidad del pavimento. De la misma forma el peso y volumen vehicular contribuye de forma directa a la presión, lo que conlleva a que se generen fisuras. El efecto sobre los vehículos se evidencia en su deterioro, por ejemplo, fallas en su estructura y sistema de suspensión. Hacer un diagnóstico de nuestras vías respecto al estado de mantenimiento físico es de mucha importancia para asegurar la integridad vial, así como proyectar y planificar programas de mantenimiento por parte de la autoridad competente y de esa forma lograr una optimización de recursos (Fiallos, 2024).

La utilización de vehículos aéreos no tripulados (VANT) o drones para la detección de baches y/o fallas en vías es una tecnología naciente que ha sabido dejar claro lo eficaz y económica que puede constituirse el diagnóstico y mantenimiento de la abundante infraestructura vial (Cárdenas et al., 2023). Los VANT se pueden convertir en una herramienta apropiada, ya que facilitan una inspección rápida, precisa y acertada de las vías. En cuanto al recurso humano el tema de la seguridad aumenta considerablemente, ya que no es necesario que un equipo físico se desplace por el pavimento flexible ni entre en contacto directo con el flujo vehicular (Filkin et al., 2021). Los drones adquieren imágenes georreferenciadas, facilitando de esa forma la proyección de mapas interactivos o modelos 3D de las zonas averiadas. Estos datos como insumo para la gestión de un adecuado mantenimiento (De la Cruz & Huachin, 2019).

La estimación o aproximación del volumen de baches y fallas en la carretera estará en función de la forma o geometría de la anomalía. Las fallas poco complejas, se pueden asemejar a modelos geométricos como el volumen de un cilindro o tronco. Para fisuras o grietas, se puede utilizar una modelización rectangular o trapezoidal. La obtención de modelos 3D producidos por tecnologías como LiDAR o fotogrametría de VANT, la estimación volumétrica del bache, fisura o grieta resultaría con mayor precisión. Un buen procesamiento de imágenes requiere el uso de cámaras multispectrales para la detección de baches e irregularidades de la vía, pues esto dependerá en buena cuenta de las características técnicas de cada cámara, así también el número de bandas espectrales, la capacidad de adquirir imágenes 3D y lo sensible frente a la variación térmica (Quille et al., 2021). Las cámaras multispectrales sofisticadas resultan más apropiadas para la estimación detallada de volúmenes de fallas en la vía, pues proporcionan información sobre la profundidad, el comportamiento térmico de la superficie y permitir modelado

3D. Sin embargo, las cámaras más simples también son útiles para tareas de inspección más generales (Aranda, 2021), donde la rapidez de captura y la cobertura extensa sean más prioritarias que los detalles de precisión (Hernández et al., 2022).

De acuerdo con lo expresado, el objetivo de esta indagación persigue proponer la implementación de un algoritmo para la detección de baches o fallas en la vía Bagua-Cajaruro, de forma práctica y haciendo uso de software libre, a partir de imágenes obtenidas de una dron.

Metodología

Área de estudio

La vía Cajaruro – Bagua – Región Amazonas de un total de distancia de aproximadamente 22 Km evidenciando uniformidad en sus anchos y longitud transversal de la vía proyectada de 6.00 m(Solis et al., 2022).

Figura 1

Representación gráfica en Google Maps de la vía Bagua-Cajaruro



Tipo de investigación:

Respecto al tipo de investigación es de enfoque Cuantitativo - descriptivo (Estela, 2024). El diseño de investigación es cuantitativo de nivel descriptivo y tipo comparativo.

Diseño muestral.

El diseño muestral comprende el conjunto de tramos que corresponden a la vía Bagua-Cajaruro. La muestra que se considera es el tramo que corresponden a Brujo Pata-Alenya. En la investigación se empleará el muestreo no probabilístico.

Técnica

La técnica que se aplicó en esta investigación fue primaria, la revisión publicaciones científicas, análisis de contenidos, cuadros estadísticos y lenguaje de programación.

Tabla 01
Variables, dimensiones e indicadores de la investigación

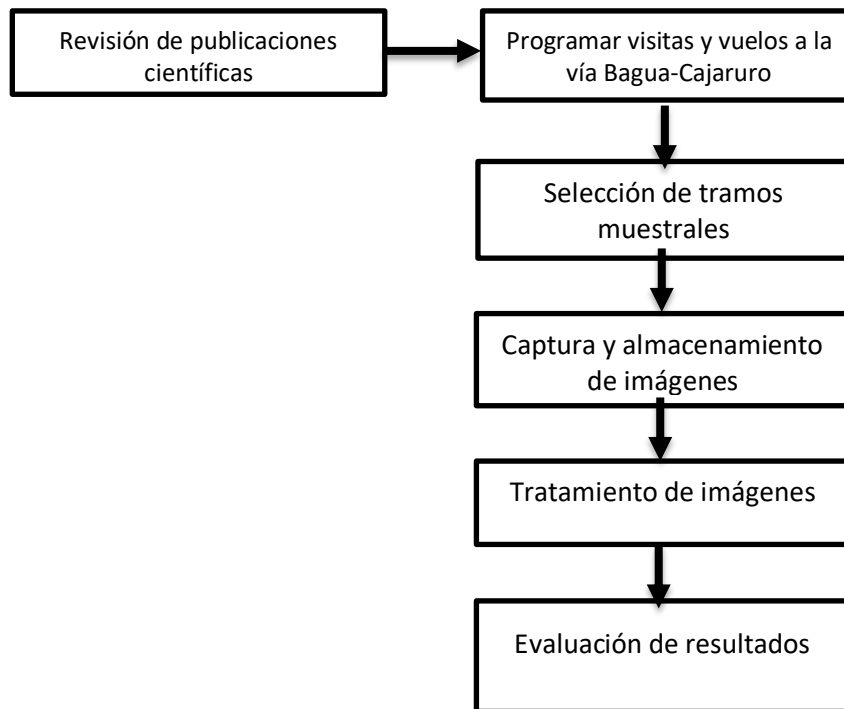
Variables	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumento
	de la Variable			
Variable Dependiente	Diagnóstico y mantenimiento del pavimento flexible de la vía Bagua – Cajaruro	Cantidad de anomalías y fallas en la vía	- Niveles de transitividad - Periodicidad del mantenimiento de las vías	Técnica Observación directa
		Procesos administrativos para el mantenimiento de la vía	Cantidad de ordenes de servicio para realizar mantenimiento de la vía	Instrumento Hojas de registro Cuestionario
Variable Independiente	Algoritmo de procesamiento de imágenes mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados	Requerimientos funcionales Parámetros fotogramétricos	- Resolución de cámara - Segmentación - Altura de vuelo	Recolección de información en base a datos estadísticos y medición

La secuencia metodológica seguida en esta investigación fue inicialmente la de revisar publicaciones científicas de los últimos 6 años (Astor et al., 2023; Pacara et al., 2020), de

los cuales obtuvimos información para la descripción de la vía el estado de mantenimiento lo cual se corroboró con la inspección realizada por los investigadores, posteriormente programamos vuelos en el dron para obtener imágenes de la vía Bagua- Cajaruro para finalmente trabajar en nuestro algoritmo de procesamiento de imágenes.

Figura 1

Diagrama de flujo para la secuenciación metodológica



Fuente: ASTM D6433-07

El dron utilizado para sobrevolar la vía Bagua-Cajaruro es el DJI MAVIC el cual consta de dos cámaras con baterías para 30 minutos de vuelo con estabilizador automático.

Figura 2

Dron DJI utilizado para nuestra investigación



Aspectos éticos y regulatorios de la investigación.

De la misma forma no se realizará ningún vuelo en terrenos colindantes a la vía, de la misma forma con el cuidado debido por el tendido de energía eléctrica.

Resultados

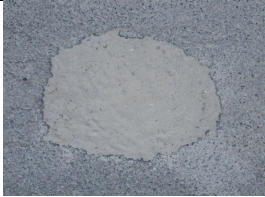
Acorde con nuestra secuencia metodológica para el desarrollo de nuestra investigación, procedimos a caracterizar algunas fallas evidenciadas en la vía, y de esta forma logramos sistematizar las principales averías capturadas a la luz del índice de condición del pavimento (PCI), documento estandarizado que permite evaluar el pavimento, resultando las más coincidentes: depresiones y piel de cocodrilo, ambas en estado leve, mediano y severo como se aprecia en la tabla 03.

Tabla 3*Sistematización de fallas más frecuentes en vía Bagua-Cajaruro*

Denominación de la falla	Imagen de la falla
Depresión de leve severidad	
Piel de cocodrilo y depresión	
Piel de cocodrilo alta severidad	
Piel de cocodrilo mediana severidad	
Depresión de leve severidad	

En la tabla 4 se muestra imágenes obtenidas por el dron a distintas alturas de vuelo con la finalidad de someterlas al algoritmo de procesamiento de la imagen a fin de estimar su área y volumen de la falla.

Tabla 4
Imágenes obtenidas del dron a distintas alturas

Falla 1 (espaciado 1 m)	Falla 2 (espaciado 2 m)	Falla 3 (espaciado 3 m)
		
		
		
		
		
		
		

En la figura 3 se muestra la codificación en lenguaje Python para la detección y cuantificación de píxeles de una imagen obtenida por el dron aplicando el procesamiento de la imagen.

Figura 3

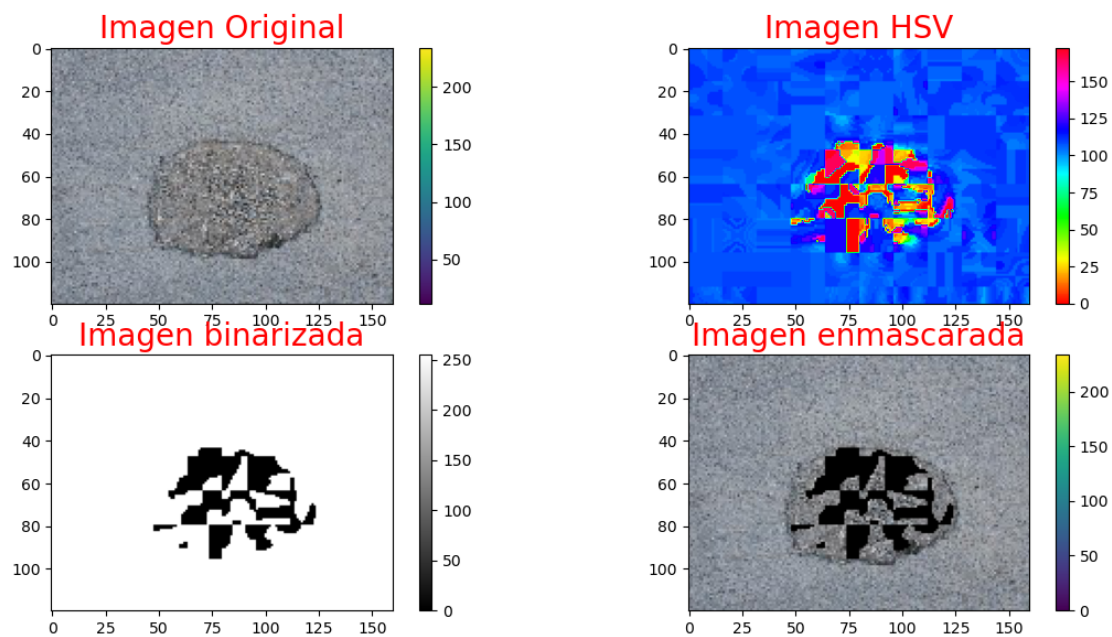
Software para la detección y calculo estimado de volumen de un bache en lenguaje Python

```
1  import cv2
2  import numpy as np
3  import matplotlib.pyplot as plt
4  from skimage import io, filters
5
6  def detectar_baches(img_path):
7      # Cargar imagen y convertir a escala de grises
8      img = io.imread(img_path)
9      gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
10     altura, ancho = gray.shape
11
12     # 1. Preprocesamiento avanzado
13     blurred = cv2.bilateralFilter(gray, 15, 75, 75)
14     clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=3.0, tileGridSize=(8,8))
15     equalized = clahe.apply(blurred)
16
17     # 2. Detección de bordes mejorada
18     edges = cv2.Canny(equalized, 100, 200)
19
20     # 3. Operaciones morfológicas para unir áreas cercanas
21     kernel = np.ones((9,9), np.uint8)
22     morphed = cv2.morphologyEx(edges, cv2.MORPH_CLOSE, kernel, iterations=2)
23     morphed = cv2.morphologyEx(morphed, cv2.MORPH_DILATE, np.ones((5,5), np.uint8))
24
25     # 4. Encontrar y filtrar contornos
26     contours, _ = cv2.findContours(morphed, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
27
28     # 5. Jerarquía de contornos y filtrado
29     contornos_filtrados = []
30     min_area = (altura * ancho) * 0.0005 # 0.05% del área total
31     max_area = (altura * ancho) * 0.05 # 5% del área total
32
33     for cnt in contours:
34         area = cv2.contourArea(cnt)
35         if area < min_area or area > max_area:
36             continue
```

En la figura 4 se muestra el resultado del algoritmo codificado en python del procesamiento de la imagen de la vía obtenida por el dron, como se puede observar la saturación de la imagen no permite umbralizar correctamente la misma y poder extraer o cuantificar el bache, esto debido a que la coloración del pavimento resulta muy similar a la de la falla, resultando de este procedimiento que solo se enmascare un 60% de la imagen total siendo esto insuficiente para una estimación de calidad.

Figura 4

Procedimiento para enmascarar el bache y cuantificar sus pixeles



En la figura 5, con la ayuda de un flexómetro se procedió a medir las características geométricas de las diversas fallas, considerando la morfología de la falla como una figura inscrita en un rectángulo o cuadrado de dimensiones conocidas, es decir la falla o bache podría tener forma circular, sin embargo, a efectos de calcular su superficie se consideraba como un cuadrado. El volumen equivalente del bache se procedió a estimar rellenando la falla con material agregado para la construcción con un recipiente de volumen conocido.

Figura 5

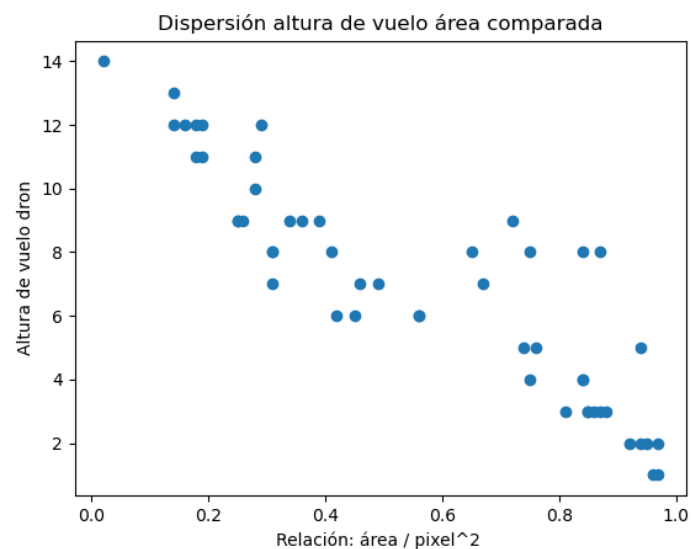
Medición de características geométricas de fallas – relleno de baches con volúmenes conocidos



La figura 7 muestra la razón o relación entre el área obtenido de la medición directa del bache y la estimación obtenida por procesamiento de imágenes, obteniéndose que para alturas más alejadas del suelo como 5 a 12 metros el algoritmo de procesamiento de imágenes obtiene diferencias significativas entre sus valores y logrando mayores similitudes a pequeñas alturas.

Figura 7

Relación de dispersión entre el área del bache y la estimación por software Python



La tabla 5 sistematiza el resultado de la medición directa de diversos baches y su estimación por el algoritmo de procesamiento de imágenes evidenciándose que se obtiene mayor grado de similitud para alturas de vuelo menores a los 3 metros y para alturas mayores se obtiene proporciones menores de similitud.

Tabla 5
Registro de alturas de vuelo y relación de áreas

N	Altura de vuelo	Área(m²)	Software	Razón
1	3	0.16	0.136	0.85
2	5	0.16	0.1184	0.74
3	8	0.16	0.104	0.65
4	5	0.16	0.1504	0.94
5	8	0.16	0.1392	0.87
6	5	0.16	0.1216	0.76
7	8	0.1	0.084	0.84
8	2	0.1	0.092	0.92
9	3	0.1	0.088	0.88
10	8	0.1	0.075	0.75
11	2	0.1	0.095	0.95
12	4	0.1	0.084	0.84
13	3	0.1	0.087	0.87
14	2	0.36	0.3384	0.94
15	3	0.36	0.3096	0.86
16	1	0.36	0.3492	0.97
17	4	0.36	0.3024	0.84
18	3	0.36	0.306	0.85
19	2	0.36	0.3492	0.97
20	1	0.36	0.3456	0.96
21	4	0.25	0.1875	0.75
22	3	0.25	0.2025	0.81
23	6	0.25	0.1125	0.45
24	7	0.25	0.115	0.46
25	9	0.25	0.0625	0.25
26	13	0.25	0.035	0.14
27	9	0.25	0.0625	0.25
28	8	0.36	0.1116	0.31
29	9	0.36	0.0936	0.26
30	12	0.36	0.0648	0.18
31	11	0.36	0.1008	0.28
32	9	0.36	0.1224	0.34
33	12	0.36	0.0684	0.19
34	7	0.36	0.1116	0.31
35	10	0.48	0.1344	0.28

36	11	0.48	0.0912	0.19
37	14	0.48	0.0096	0.02
38	12	0.48	0.0672	0.14
39	12	0.48	0.0768	0.16
40	11	0.48	0.0864	0.18
41	12	0.48	0.1392	0.29
42	8	0.48	0.1488	0.31
43	6	0.48	0.2688	0.56
44	7	0.56	0.3752	0.67
45	9	0.56	0.4032	0.72
46	6	0.56	0.2352	0.42
47	6	0.56	0.3136	0.56
48	7	0.56	0.2744	0.49
49	9	0.56	0.2184	0.39
50	9	0.56	0.2016	0.36
51	8	0.56	0.2296	0.41

La figura 8 muestra el proceso de acondicionamiento de una imagen a fin de lograr un contorno cerrado en el bache y de esa forma determinar la elipse centrada en esa falla el software fue aplicado a imágenes obtenidas a un metro de altura hasta doce metros.

Discusión

Dentro de los hallazgos más importantes de esta investigación es que el algoritmo implementado a software desarrollado en Python logró una buena precisión en la detección de baches y fallas en imágenes obtenidas de diversas fuentes, como cámaras de celulares y drones (Serna & Herrera, 2019). Empleando algoritmos como la detección de bordes de Canny y la segmentación basada en umbrales, el software posibilitó la identificación de los contornos de los baches con un cierto grado de fidelidad. La combinación de estos métodos permitió obtener un análisis aproximado de la geometría de los baches, permitiendo la estimación de sus dimensiones y, en algunos casos, el cálculo del volumen de los defectos de la carretera (Pacara et al., 2020).

En la presente investigación se tuvo ausencia de cámaras multiespectrales, lo cual constituyó una limitación significativa que limitó la capacidad del software para detectar baches con la precisión y profundidad que se podría haber logrado con estas cámaras. La carencia de información espectral adicional, como la capturada en infrarrojo térmico o infrarrojo cercano, limitó la detección de baches en condiciones de baja visibilidad o cuando los defectos no eran fácilmente identificables en el espectro visible. Además, la capacidad para estimar volúmenes y dimensiones de los baches fue reducida, y los análisis no pudieron abordar de manera efectiva los daños estructurales subyacentes (Buendía et al., 2022). La futura incorporación de cámaras multiespectrales avanzadas en el proceso de detección mejoraría notablemente la precisión y la fiabilidad de los resultados, brindando una herramienta más robusta y eficaz para la gestión de infraestructuras viales (Chucos & Vega, 2022).

En esta investigación, respecto a la codificación de nuestro algoritmo la utilización de las bibliotecas de Python, como OpenCV, scikit-image, y NumPy, fueron fundamentales para el éxito del estudio en la detección y estimación del área de baches en carreteras a partir de imágenes. Cada una de estas bibliotecas desempeñó un papel crucial en las diferentes etapas del procesamiento de imágenes, desde la carga de las mismas hasta la segmentación, medición y visualización de los baches (Ríos et al., 2020). Sin embargo, a pesar de los avances logrados, se identificaron limitaciones relacionadas con la calidad de la imagen y la precisión de la estimación de áreas. La combinación de métodos adicionales, como el uso de cámaras multiespectrales y técnicas avanzadas de aprendizaje automático, puede mejorar aún más la precisión y la aplicabilidad de las soluciones desarrolladas en este campo (Quille et al., 2021).

El uso del dron DJI para la detección de baches en una vía presenta ciertas limitaciones relacionadas con la resolución de la cámara, la estabilidad del vuelo, las condiciones de iluminación, y la capacidad para capturar imágenes fuera del espectro visible. Aunque el dron DJI es una herramienta útil para capturar imágenes aéreas a gran escala, las limitaciones inherentes a su tecnología impiden realizar una detección de baches extremadamente precisa y detallada en condiciones complejas. En investigaciones futuras, la integración de cámaras multiespectrales o sensores térmicos, así como mejoras en la resolución de las cámaras y la estabilidad del vuelo, pueden superar estas limitaciones y ofrecer un sistema más robusto para la monitorización y evaluación de infraestructuras viales (Castillo et al., 2020)

Conclusiones

Se sistematizó las diferentes fallas presentadas en la vía Bagua-Cajaruro.

Se implementó el algoritmo para el procesamiento de imágenes en código Python el cual permite el cálculo del área del bache.

Se determinó que el algoritmo para el procesamiento de imágenes obtiene mejor aproximación para el cálculo del área para imágenes obtenidas cerca de la vía.

Se determinó de forma gráfica y numérica el área de un bache o una falla así como su comparación con el área medida directamente llegando a una coincidencia del 83%.

Referencias

- Aranda, B. (2021). *Efectos del uso de drones en la agricultura mexicana: el caso del Valle del Mezquital, Hidalgo* [Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco]. <https://doi.org/10.24275/uama.4391.7651>
- Astor, Y., Nabesima, Y., Utami, R., Sihombing, A., Adli, M., & Firdaus, M. R. (2023). Unmanned aerial vehicle implementation for pavement condition survey. *Transportation Engineering*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100168>
- Buendía, E., Alanís, E., Marín, J., & Gutiérrez, M. (2022). Evaluación de una restauración mediante dron en el matorral espinoso tamaulipeco. *Polibotánica*, 0(54). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.54.5>
- Cárdenas, C., Carrillo Sinche, J., Izarra Vargas, A., Murga Tirado, C., & Vásquez Salazar, A. (2023). Herramientas tecnológicas de evaluación de fallas en la superficie de pavimento flexible, una revisión sistemática. *Llamkasun*, 4(2), 10–23. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i2.121>
- Castillo, E., Turpo, E., De Almeida, C., López, R., Rojas, N., Silva, J., Barrera, M., Oliva, M., & Espinoza, R. (2020). Monitoring wildfires in the northeastern peruvian amazon using landsat-8 and sentinel-2 imagery in the GEE platform. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/ijgi9100564>
- Chucos, N., & Vega, E. (2022). Evaluación de algoritmos de machine learning en la clasificación de imágenes satelitales multiespectrales, caso: Amazonia Peruana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4946–4963. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1843

- De la Cruz, J., & Huachin, G. (2019). *Desarrollo de una solución tecnológica para la medición del área de un predio utilizando un Dron y procesamiento de imágenes en el proceso de fiscalización* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/10807>
- Estela, R. (2024). *Propuesta de algoritmo de procesamiento de imágenes para la gestión ambiental de los residuos agrícolas en el valle de Huarangopampa – Utcubamba – Amazonas – Perú* [Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12893/12683>
- Fiallos, J. (2024). *Fotogrametría aérea para identificación de fallas en pavimento flexibles* [Universidad del Azuay - Ecuador]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/15096>
- Filkin, T., Sliusar, N., Ritzkowski, M., & Huber, M. (2021). Unmanned aerial vehicles for operational monitoring of landfills. *Drones*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/drones5040125>
- Hernández, O., Florián, F., Sánchez, M., & Ávila, H. (2022). Conteo de plantas de agave usando redes neuronales convolucionales e imágenes adquiridas desde un vehículo aéreo no tripulado. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 2022(45), 64–76. <https://doi.org/10.17013/risti.45.64-76>
- Pacara, M., Aquino, J., & Ledezma, J. (2020). Análisis de la variabilidad horaria para la detección de daños en pavimentos flexibles usando termografía infrarroja. *Revista ALCONPAT*, 10(3), 350–363. <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.468>
- Quille, J., Ramos, L., & Ontiveros, R. (2021). Estimación de la evapotranspiración del cultivo de arroz en Perú mediante el algoritmo METRIC e imágenes VANT. *Revista de Teledeteccion*, 2021(58), 23–38. <https://doi.org/10.4995/raet.2021.13699>
- Ríos, N., Bacca, B., Caicedo, E., & Orobio, A. (2020). Revisión de métodos para la clasificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 109–127. <https://doi.org/10.18359/rcin.4385>
- Serna, I., & Herrera, J. (2019). Detección de baches en vías urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, mediante técnicas de GEOBIA. *Revista de Topografía Azimut*, 10(1). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/azimut/article/view/149>
- Solis, L., Ramos, D., & I. (2022). *Evaluación Funcional y Propuesta de Rehabilitación de la Carretera Bagua Grande-Cajaruro-Bagua-Cruce IV Eje Vial-Región Amazonas* [Universidad César Vallejo - Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84667>