

Artículo original

# Gestión de información de la condición de pavimentos empleando el SIG y VANT

Pavement condition information management employing GIS and UAV

FRADY WILSON MAMANI QUENALLATA<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-2120-7030>

Recibido: 16/02/2023

Aceptado: 11/03/2023

Publicado: 10/07/2023

<sup>1</sup>Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú

E-mail: <sup>1</sup>wilson.mq@upeu.edu.pe



## Resumen

La investigación propone un medio eficiente para gestionar información de la condición, tipo y acciones de mantenimiento de los pavimentos mediante el sistema de información geográfica (SIG). Para su desarrollo se utilizó Quantum GIS (QGIS), en el cual se creó una base de datos de 3 090,8 m de pavimento, además se registró la información de la condición de los pavimentos usando la ficha de evaluación ASTM D 6433-07, el inventario de fallas fue realizado por inspección visual in situ y mediante toma de imágenes asistido por un vehículo aéreo no tripulado (VANT). Los resultados obtenidos empleando el SIG y VANT en la evaluación de pavimentos muestran que la eficiencia con relación al método convencional en tiempo y costo son de 27,3 % y 24,9 % respectivamente; por otra parte, no existe diferencia significativa de los valores del índice de condición entre ambos métodos. En conclusión, con el uso de SIG y VANT se hace una gestión eficiente y estructurada, en consecuencia, los resultados de la condición del pavimento son obtenidos bastante más rápido y económico que la evaluación tradicional, de igual modo esta propuesta permite hacer monitoreo y toma de decisiones óptimas en la fase de postconstrucción, mantenimiento y rehabilitación.

**Palabras clave:** condición de pavimento; sistemas de información geográfica; vehículo aéreo no tripulado.

## Abstract

The research proposes an efficient means to manage information on the condition, type and maintenance actions of pavements through the geographic information system (GIS). For its development, Quantum GIS (QGIS) was used, in which a database of 3 090,8 m of pavement was created. In addition, the information on the condition of the pavements was recorded using the ASTM D 6433-07 evaluation sheet. The inventory of failures was carried out by visual inspection in situ and by taking images assisted by an unmanned aerial vehicle (UAV). The results obtained using the GIS and UAV in the evaluation of pavements show that the efficiency in relation to the conventional method in time and cost is 27,3 % and 24,9 % respectively. On the other hand, there is no significant difference in the values of the condition index between both methods. In conclusion, with the use of GIS and UAV, efficient and structured management is made. Consequently, the results of the condition of the pavement are obtained much faster and cheaper than the traditional evaluation. In the same way, this proposal allows monitoring, and making optimal decisions in the post-construction, maintenance and rehabilitation phases.

**Keywords:** pavement condition; geographic information systems; unmanned aerial vehicle.

## 1. Introducción

Los métodos habituales en la gestión de pavimentos no permiten un acceso eficiente a la información sobre el estado de los pavimentos por parte de los gobiernos locales y regionales. Asimismo, gran parte de los municipios cuentan con una cantidad mínima o nula de información disponible. Incluso, cuando existe información, esta se encuentra desactualizada en medios físicos u hojas de cálculo, los cuales no son los mejores gestores para las bases de datos. Además, los municipios carecen de recursos humanos y presupuesto para llevar a cabo evaluaciones regulares del estado de los pavimentos. Sotil (2014) sostiene que en Perú no existe el hábito de recolectar información histórica sobre el estado de los pavimentos, y los mantenimientos que se realizan están más orientado a decisiones políticas que a un análisis técnico económico. Por otra parte, Macea Mercado et al. (2016) afirman que, en ausencia de mecanismos de gestión de información y herramientas tecnológicas que la ciencia proporciona a medida que avanza, existe el riesgo de formular planes poco eficientes, especialmente en países en desarrollo donde los recursos son escasos. La falta de disponibilidad de registros históricos de mantenimiento y la planificación inadecuada de manera empírica e incorrecta aumentan el porcentaje de deterioro de los pavimentos, lo que a su vez incrementa los costos de uso para los usuarios y los gobiernos locales (Bazlamit et al., 2017; Pereira et al., 2019).

La implementación del SIG y VANT conduce a obtener una propuesta que gestione información sobre el estado de los pavimentos, con una aplicación accesible para los gobiernos locales, lo que permite una administración eficiente del estado del pavimento, así como la optimización de tiempo y los costos de evaluación, evitando también el cierre temporal o total de las vías para su evaluación. Esta propuesta facilita la selección rápida y económica de los tramos de las vías que requieren intervención, lo que resulta en la toma de decisiones fundamentadas. Una limitación del método tradicional es que no es aplicable en ciertas áreas de las vías urbanas donde existen restricciones de uso de VANT en zonas geográficas. Por su parte, el valor del índice de condición del pavimento (PCI) varía ligeramente pero no lo suficiente como para influir en la descripción del tipo de condición. De acuerdo a Balaguera et al. (2018) y Amaral Manso et al. (2016), los SIG empleados en la gestión de pavimentos deberían ser uno de los principales objetivos para las entidades responsables de la construcción y conservación de las redes viales en todo el mundo. Con respecto a la conservación, afirman que consiste, en primer lugar, en evaluar el estado de los pavimentos de la manera más óptima posible, es decir, utilizando un método que no requiera mucho tiempo, además de analizar los beneficios y costos mediante el uso eficiente de los recursos. Añaden que una gestión adecuada de los pavimentos reduce el costo de construcción del pavimento de dos a cuatro veces, y también destacan que la edad del pavimento aumenta considerablemente.

Yunus y Hassan (2010) afirman que el desarrollo y crecimiento económico de una nación están estrechamente relacionado con su sistema de transporte disponible. Las instalaciones de infraestructura de transporte por carretera buenas y eficientes, promoverán el desarrollo industrial y socioeconómico. Dicho de otra manera, los beneficiarios de esta forma de gestión de los pavimentos serán los mismos pobladores de los distritos y/o provincias, ya que, por ejemplo, mediante trabajos de conservación apropiadamente adoptados, formulados y programados, se garantizará un buen estado del pavimento a lo largo del tiempo, ofreciendo seguridad y comodidad al usuario. Por otro, lado García Juan y Vallina Rodríguez (2019) y France-Mensah et al. (2017) sostienen que los SIG son herramientas muy versátiles en el

procesamiento de datos, la contextualización de la información y la gestión integrada de base de datos. Además, cuentan con un gran número de complementos gratuitos de fácil instalación y permiten la conexión con distintos gestores de base de datos. Por otra parte, afirma que los SIG pertenecen a un grupo más amplio denominado TIG (tecnologías de la información geográfica) y que en la actualidad se está implementando la tecnología Big Data para el manejo de datos e información de gran volumen.

En otra investigación, Rusu et al. (2015) indican que el proceso de pavimentación se ha desarrollado en tres direcciones principales: construcción de pavimentos, gestión de pavimentos e investigación de pavimentos. Si bien la construcción de pavimentos se encarga de la creación de nuevos pavimentos y la rehabilitación de pavimentos existentes, incluyendo el desarrollo de especificaciones y el aseguramiento de la calidad, la gestión de pavimentos implica el seguimiento de las carreteras después de la construcción, el mantenimiento preventivo y los tratamientos de rehabilitación para abordar el deterioro, así como el análisis económico de alternativas basado en el análisis del costo del ciclo de vida. Por otra parte, Pinatt et al. (2020), Al-Rubae et al. (2020) y Bartelme (2022) afirman que el uso de herramientas SIG en la gestión de pavimentos resulta eficiente, ya que permite una mayor agilidad y mejora significativamente la calidad en el proceso de toma de decisiones debido a la fácil visualización de las características de la vía. A través de los mapas, la visualización es directa y toda la información se puede observar en un mismo espacio. Además, los datos son fáciles de guardar y recuperar.

Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue plantear una forma eficiente de gestionar la información sobre la condición y las acciones de mantenimiento utilizando SIG en los pavimentos. Asimismo, se buscó obtener información del pavimento mediante inspección visual in situ y toma de imágenes asistidas por vehículos aéreo no tripulados, los cuales identificaron el tipo de daño en términos de clase, severidad y extensión en los pavimentos de la zona en estudio. Además, se determinó el PCI de las muestras. Cabe mencionar que este estudio se limita a presentar una propuesta de gestión utilizando SIG Y VANT, que consiste en crear una base de datos que relacione la condición del pavimento con la ubicación exacta de cada muestra evaluada. Asimismo, se aplicó esta propuesta de gestión en la zona de estudio y se evaluó la eficiencia que ofrece la vinculación entre SIG y VANT.

## 2. Metodología

### 2.1. Diseño metodológico

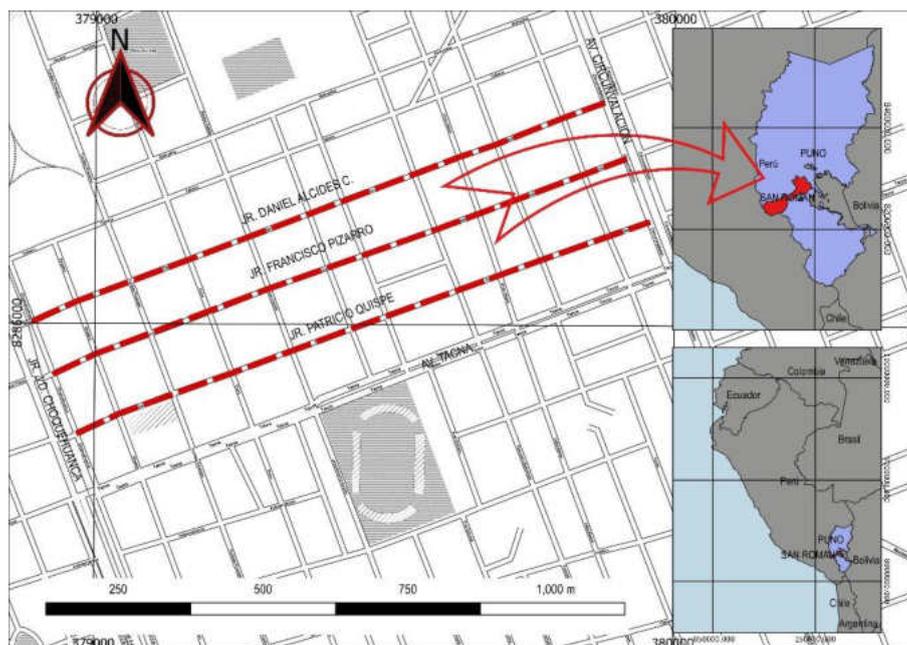
El tipo de investigación, de acuerdo a los tipos de datos analizados, es del enfoque cuantitativo. Según el objetivo perseguido, se trata de una investigación tecnológica. Mientras tanto, el diseño de investigación más apropiado es el no experimental, de la clase transeccional o transversal descriptivo. Sampieri et al. (2014) explican que esta clase tiene como finalidad indagar sobre la repercusión de los niveles de una o más variables en una población. Por su parte, Borja (2012) afirma que Una de las características principales de la investigación descriptiva es la capacidad para seleccionar las características fundamentales del objeto de estudio y proporcionar una descripción detallada de las partes, categorías o clases de dicho objeto”.

## 2.2. Diseño muestral

El área de estudio corresponde a un lugar céntrico de la ciudad de Juliaca. En la figura 1 se indica la población, que incluye todos los pavimentos del Jr. Daniel Alcides Carrión, Jr. Francisco Pizarro y Jr. Patricio Quispe. Todos ellos están ubicados entre la Av. Circunvalación y el Jr. José Domingo Choquehuanca.

**Figura 1**

*Mapa de ubicación del área de estudio*



Por otra parte, el tipo de muestreo elegido es el no probabilístico, ya que los datos de cada muestra no pueden generalizarse a toda la población. En cuanto a la unidad de análisis serán las muestras de pavimentos rígidos y flexibles, es decir, cada unidad de análisis es una división de pavimento que tiene una longitud calculada en función al método PCI, el tamaño de muestra incluye las unidades dentro de la población mencionada, por lo tanto, se evaluaron 62 muestras.

## 2.3. Instrumentos

Para identificar la condición del pavimento se empleó el inventario físico de Registro fundamentado en la norma internacional ASTM D 6433-07 (anexo 7.1), Este método es utilizado para cuantificar la condición de un pavimento y se denomina Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). Fue implementado por profesionales e ingenieros de las fuerzas armadas de los EE. UU. En la tabla 1 se muestra los rangos del PCI con las descripciones cualitativas y simbólicas que sugiere la norma. Por otro lado, la técnica para la recolección de datos fue la observación.

**Tabla 1**

*Rangos del índice de condición de pavimentos (PCI)*

Rango	Descripción	Símbolo
85-100	Excelente	
70-85	Muy bueno	
55-70	Bueno	
40-55	Regular	
25-40	Malo	
10-25	Muy malo	
0-10	Fallado	

*Nota.* Adaptado de (Shahim, 2005).

## 2.4. Equipos y Herramientas

La herramienta para la gestión de información es el Quantum GIS (QGIS) de la versión 3.14.16-Pi de código abierto, el programa mencionado es uno de los sistemas GIS o SIG, soporta gran cantidad de formatos ráster y vectoriales, por otra parte, permite recopilar, organizar, administrar, analizar y compartir información alfanumérica mediante tabla de atributos, así mismo muestra información geográfica mediante mapas compuestos por objetos espaciales como polígonos, líneas y puntos. En cuanto al equipo utilizado para la captura de imágenes es el dron EVO II PRO V2, con velocidad máxima de entre 15 y 20 m/s, tiempo de vuelo promedio de 35 min, cámara de 20 megapíxeles y resolución a 6K como características principales para el fin que se persigue.

## 2.5. Proceso metodológico

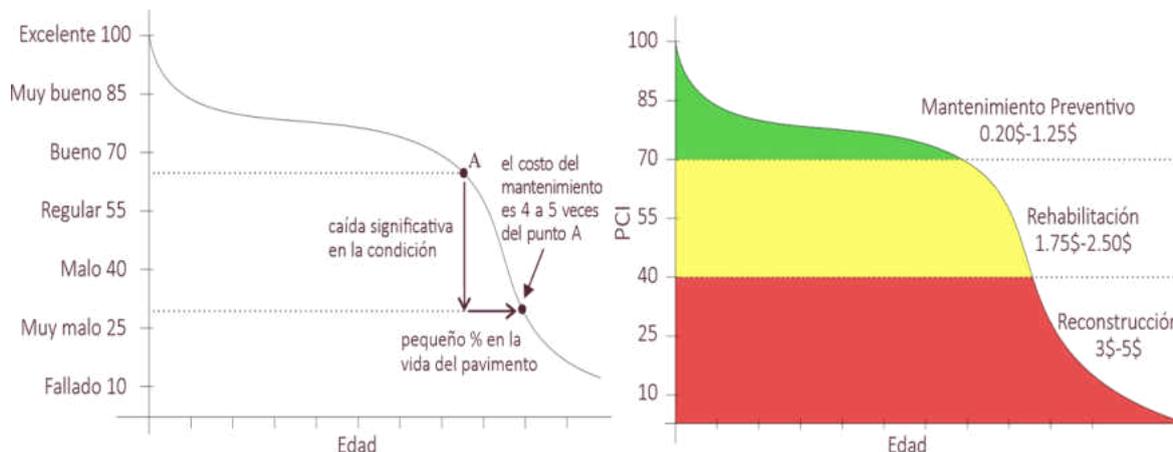
Para cumplir el objetivo planteado se siguió una serie de pasos: la selección de vías para la zona de estudio, en primera instancia; luego la determinación de las unidades de muestreo; seguido de la evaluación de las unidades de muestra, este paso mediante inspección visual in situ (tradicional) además del VANT Y SIG; posteriormente el cálculo del PCI; finalmente la digitalización de información incluida la creación de base de datos en el SIG y la presentación de resultados.

Con respecto a las acciones de mantenimiento, los pavimentos que se encuentran en condición de bueno, muy bueno y excelente, deben realizarse antes del que la edad del pavimento llegue al punto A (ubicado entre 55 y 70 en función del PCI) mostrado en la Figura 2, de ahí que, al pasar dicho punto entra en una zona crítica donde la condición del pavimento disminuye radicalmente en muy poco tiempo, de esta manera se podrá optimizar los costos en los mantenimientos, de forma similar las acciones de mantenimiento se establecen en función al PCI, estas tres zonas están delimitados desde 0-40, 40-70 y 70-100. Asimismo, los costos por pie cuadrado de pavimento se estimaron en otros trabajos para las tres áreas, cabe mencionar

que, en la zona de estudio estos costos llegar a variar, sin embargo, las proporciones serán similares.

**Figura 2**

*Ciclo de vida de la condición, acciones de mantenimiento y costos por tipo de mantenimiento de los pavimentos*



Nota. Adaptado de Almuhanha et al. (2018); Balaguera et al. (2018) y Shahim (2005).

## 2.6. Confiabilidad

En cuanto a la confiabilidad de los resultados obtenidos en la propuesta, se utilizó una prueba para variables cuantitativas y muestra relacionada. Se compararon los promedios de la condición del pavimento obtenidos mediante el método convencional, el SIG y el VANT. Para determinar el tipo de prueba estadística, se siguieron dos pasos: en primer lugar, se determinó la distribución de los datos y la prueba estadística bajo el supuesto de normalidad. En consecuencia, se identificó si los datos eran paramétricos o no paramétricos. Para los datos paramétricos, se aplicó la prueba de t de Student, mientras que, para los datos no paramétricos, se utilizó la prueba de Wilcoxon. En el segundo paso, se planteó la hipótesis de diferencia de promedios y se llevó a cabo la prueba estadística según el primer paso, lo cual condujo a la aceptación o el rechazo de la hipótesis nula. Para el análisis de datos, se utilizó el software SPSS Statistics en su versión 27, y los valores obtenidos se presentan en la sección de resultados.

## 3. Resultados

En la propuesta de gestión de información utilizando el SIG y el VANT en la evaluación de pavimentos, se desarrollaron tres esquemas. Para una mejor comprensión, en la figura 3 se muestra el sistema de gestión de pavimentos, que describe de manera general los pasos seguidos para la construcción y/o mantenimiento de vías. En la figura 4 se observa el sistema de gestión para el mantenimiento de pavimentos, donde los pasos son cíclicos. Se propone que, al realizar un tipo de mantenimiento, se vuelva a recopilar información después de cierto tiempo para monitorear y tener control sobre el estado del pavimento.

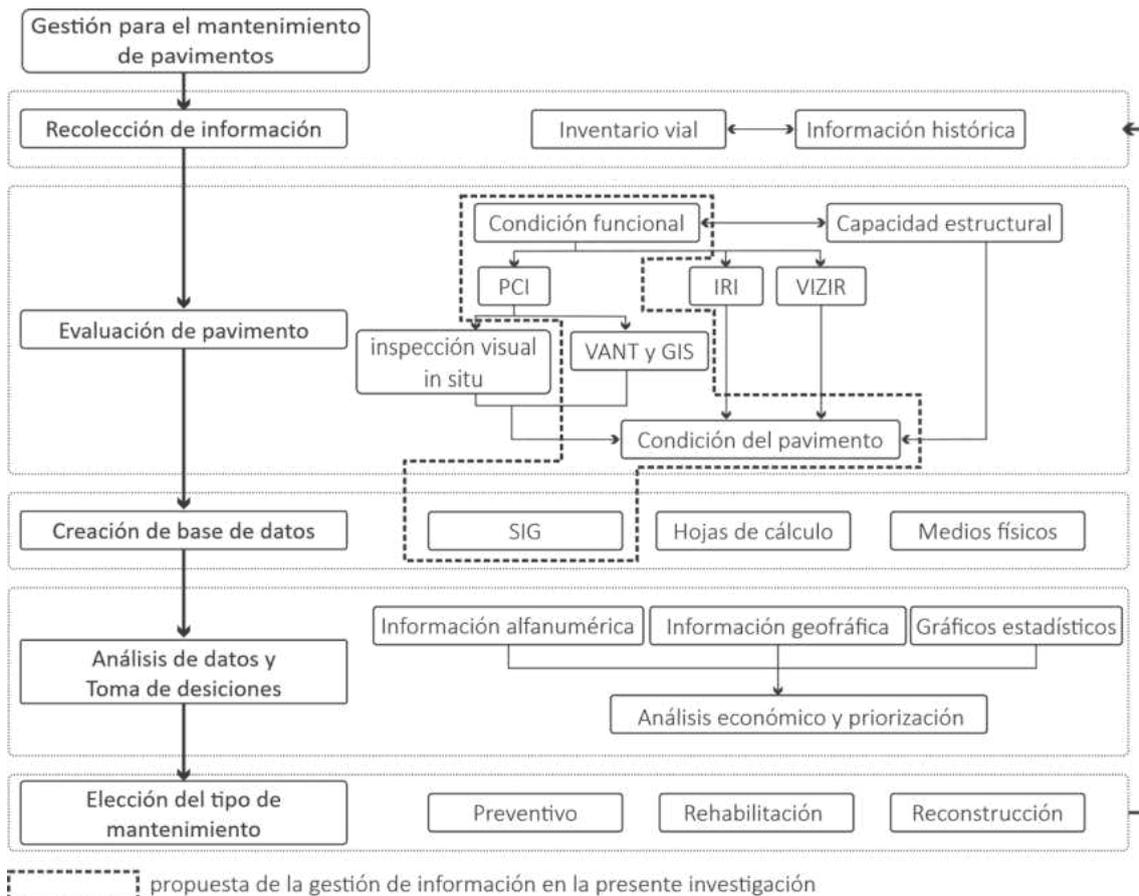
Figura 3

Sistema de gestión de pavimentos



Figura 4

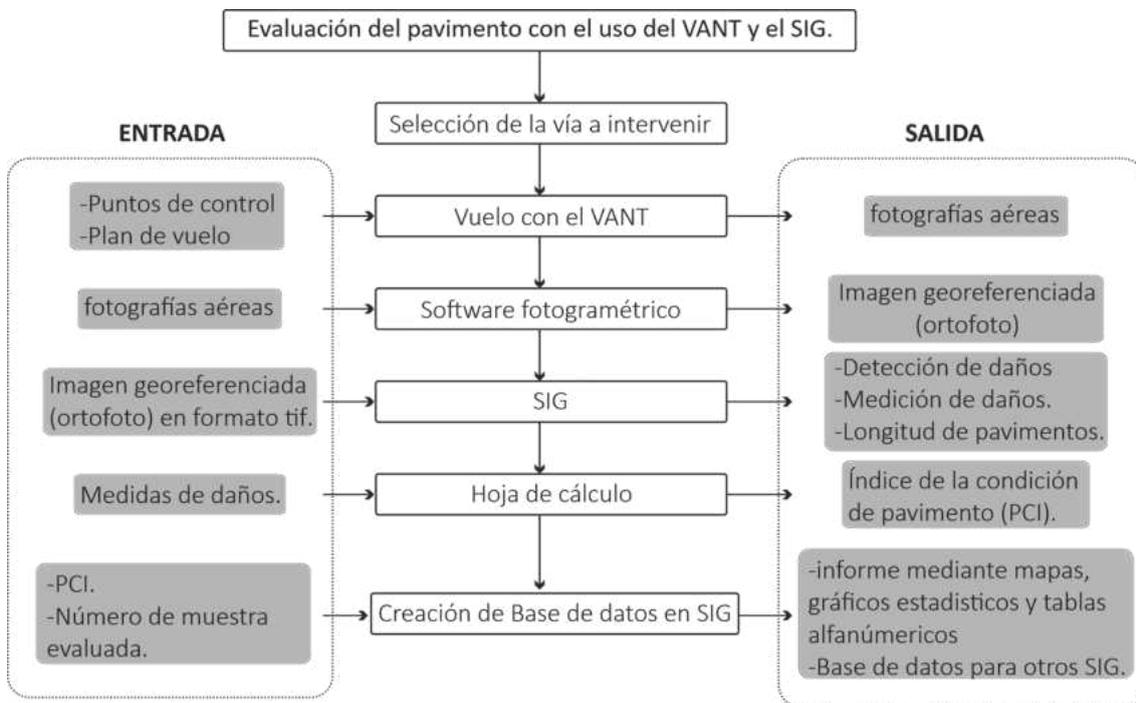
Sistema de gestión para el mantenimiento de pavimentos



En la figura 5 se visualiza el desarrollo de la propuesta de gestión de información, que explica la eficiente forma de gestionar información y de obtener la condición de un pavimento, se muestra los datos de entrada y salida de cada herramienta utilizada en el proceso de gestión.

Figura 5

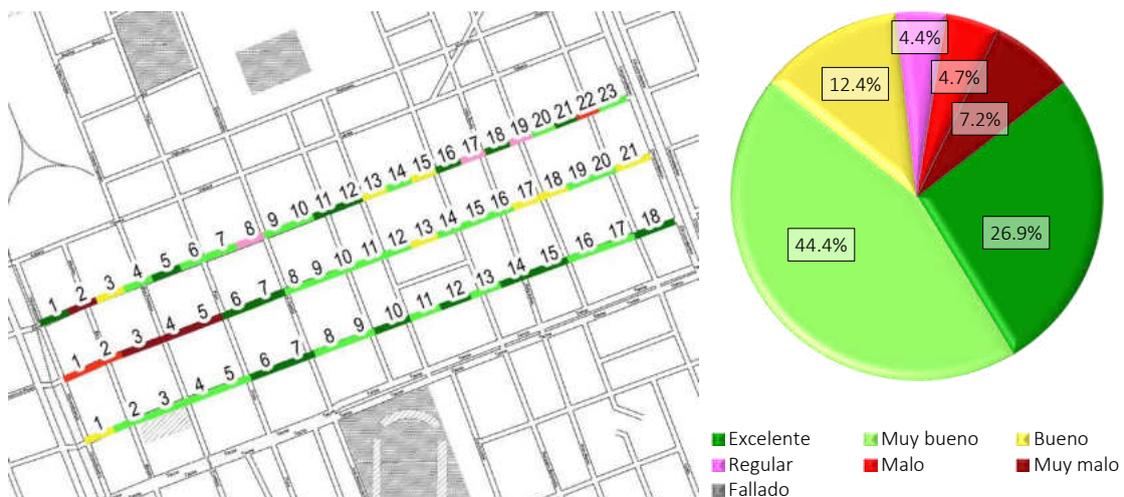
Desarrollo de la propuesta de gestión de información



En la figura 6 y la tabla 2 se observa el resultado al emplear la propuesta de gestión de información mostrado en la figura anterior, podemos observar el PCI obtenido por el VANT y el SIG de cada muestra y el porcentaje por tipo de condición, para el análisis se utilizó los datos recolectados del lugar de estudio.

Figura 6

Índice de la condición de los pavimentos



**Tabla 2**

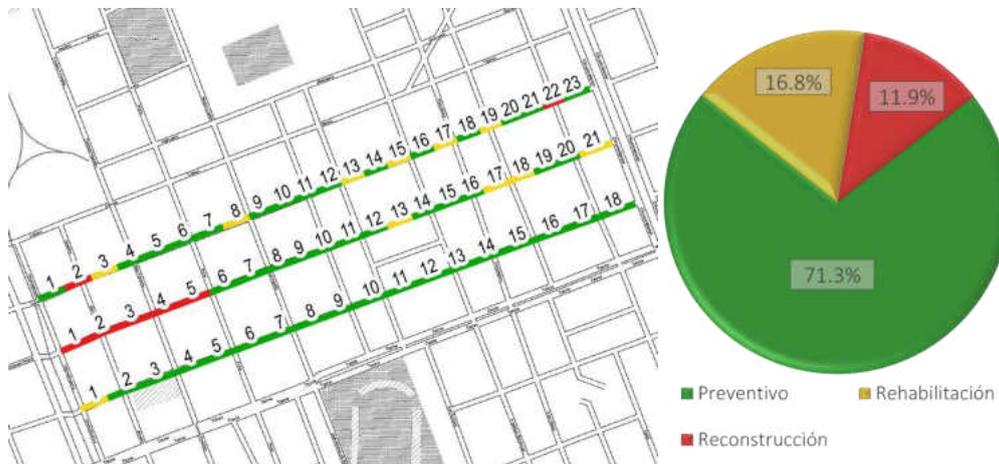
*Longitud y porcentaje de la condición de los pavimentos*

Descripción	PCI	Longitud (m)	Porcentaje (%)
Excelente	100-85	831,6	26,9
Muy bueno	85-70	1 372,3	44,4
Bueno	70-55	384,4	12,4
Regular	55-40	134,9	4,4
Malo	40-25	144,2	4,7
Muy malo	10-25	223,4	7,2
Fallado	10-0	0,0	0,0
Total		3 090,8	100,0

Las informaciones como la ubicación exacta de cada muestra, la visualización interactiva y los porcentajes de daño son generados automáticamente en el SIG luego de generar la base de datos. De la misma manera se genera el tipo de mantenimiento en cada muestra cómo se visualiza en la figura 7 y la tabla 3, el criterio para obtener tal figura es clasificar el tipo de mantenimiento en función a los rangos definidos en la figura 2.

**Figura 7**

*Tipo de mantenimiento en los pavimentos*



**Tabla 3**

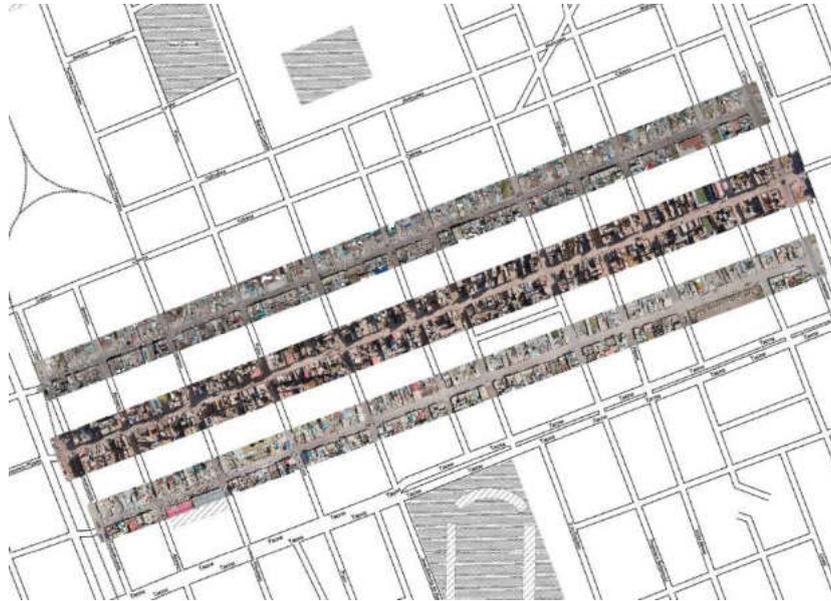
*Porcentaje de tipos de mantenimiento en los pavimentos*

PCI	Tipo de mantenimiento	Longitud (m)	Porcentaje (%)
70-100	Preventivo	2 203,8	71,3
40-70	Rehabilitación	519,3	16,8
0-40	Reconstrucción	367,6	11,9
Total		3 090,8	100,00

La figura 8 muestra las tres imágenes georreferenciadas (ortofotos) obtenidas mediante las capturas tomadas por el dron. Estas imágenes se añaden al GIS para su evaluación y mantienen las dimensiones reales in situ. Por lo tanto, las áreas y longitudes de los daños son precisas.

**Figura 8**

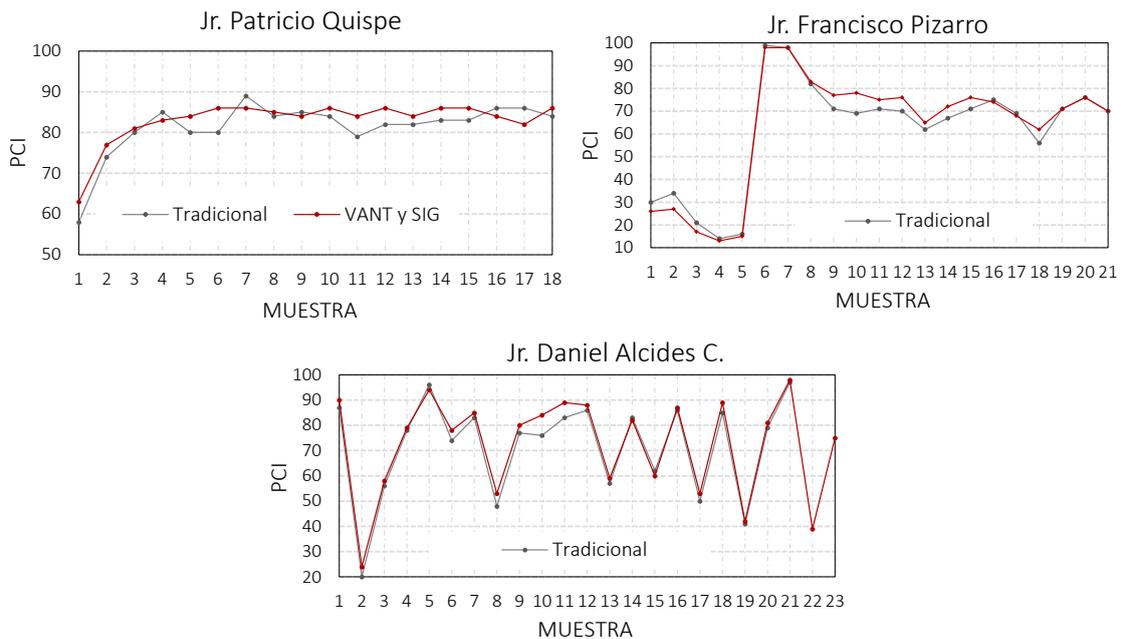
*Ortofoto vinculada al GIS*



Luego, la figura 9 presenta gráficamente la variación de los resultados de ambos métodos de las tres vías evaluadas.

**Figura 9**

*Gráfico comparativo de la variación del PCI*



A partir de la evidencia anterior, se realizó una prueba estadística para determinar si existe alguna diferencia entre los resultados obtenidos mediante el método tradicional en comparación con el uso de VANT y SIG. Los datos utilizados fueron los índices de condición obtenidos por ambos métodos. El resultado del primer paso indica que, para un nivel de confianza del 95 %, los datos siguen una distribución normal, lo que implica que son datos paramétricos. Por lo tanto, se aplicó la prueba estadística t-Student. En el segundo paso, al plantear la hipótesis de diferencia, se llegó a la conclusión de que, para un nivel de confianza también del 95 %, no existe una diferencia significativa en la media del PCI.

Además de esta situación, es importante analizar la eficiencia de la propuesta en el estudio. Con este fin, se presenta en la tabla 4 el análisis de tiempo y costos. Es importante destacar que este análisis de costos y tiempo invertido se refiere a un kilómetro de pavimento.

**Tabla 4**

*Análisis de costo y tiempo de evaluación*

Método de evaluación	Tiempo de evaluación	Costo de evaluación					
		Recurso	Unidad	Cantidad	Precio (S/)	Parcial	
VANT y SIG	Tiempo de identificación de fallas	4,0	<i>Mano de obra</i>				
	Tiempo de cuantificación de fallas	4,0	evaluadores	hh	16	14	224,0
	Tiempo de cálculo de PCI	8,0	<i>Maq. y/o equipos</i>				
			Dron	glb	1	80	80,0
	Tiempo total de obtención. de PCI por km: horas	16,0	costo total de evaluación por km:				S/304,0
Convencional	Tiempo de identificación de fallas	12,0	<i>Mano de obra</i>				
	Tiempo de cuantificación de fallas	2,0	Evaluadores	hh	22,0	14	308,0
	Tiempo de cálculo de PCI	8,0	<i>Materiales</i>				
			Fichas	Und.	25	0,2	5,0
			Lapicero	und	4	0,5	2,0
			Conos	und	4	10	40,0
			Flexómetro	und	1	15	15,0
			Chalecos	und	2	15	30,0
	Wincha de lona	und	1	5	5,0		
	Tiempo total de obtención de PCI por km: horas	22,0	costo total de evaluación por km:				S/ 405,0

Nota. Hh = horas hombre; Glb = global; Und. = unidad.

La síntesis de la anterior tabla y la eficiencia del método VANT y SIG en tiempo y costo con respecto al método tradicional se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Eficiencia del uso del VANT y SIG*

Método de evaluación	Tiempo de Evaluación (h)	Costo de evaluación (\$/)
Convencional	22,0	405,0
VANT y SIG	16,0	304,0
Eficiencia de VANT y SIG	27,3 %	24,9 %

## 4. Discusión

El proceso que se muestra en la figura 5 explica específicamente la propuesta de gestión de información. Este procedimiento es una parte importante de la gestión para el mantenimiento de vías, tal como se plantea en la figura 4. Ambas propuestas son imprescindibles dentro del sistema de gestión de pavimentos, especialmente en la etapa de evaluación y planificación. La aplicación de la gestión de información en el área de estudio se evidencia en las figuras 6 y 7, además de las tablas 2 y 3. Cabe destacar que todas las salidas al crear la base de datos se manejan en un solo lugar, que son los SIG. En cuanto a la eficiencia mostrada en la tabla 5, se obtuvo utilizando la teoría de variación porcentual. Al analizar los costos y el tiempo, se demostró que la propuesta planteada es más eficiente.

La propuesta de gestión de información, junto con la vinculación del SIG y el VANT, constituyen los hallazgos más relevantes del estudio. Existen investigaciones que muestran resultados de manera independiente sobre este sistema y equipo utilizado para evaluar pavimentos. Por ejemplo, las ideas expuestas por Santos et al. (2020) y Shtayat et al. (2020) se enfocan únicamente en el uso de herramientas como los drones (VANT) o vehículos equipados con dispositivos de captura de imágenes para la recolección de información de pavimentos. Por otro lado, estudios de Balaguera et al. (2018), Bartelme (2022) y Bazlamit et al. (2017) se centran exclusivamente en el uso de SIG para la gestión de información de pavimentos. Lo que se hizo fue vincular ambas investigaciones para su estudio y análisis. El tiempo de evaluación para un kilómetro con la implementación del SIG y el VANT es menor que los obtenidos por Cruz Toribio y Gutierrez Lazares (2019) y Pucha Aguinsaca y Zárate Torres (2020). Mientras que el tiempo de evaluación con el método tradicional se encuentra dentro y cerca de los tiempos encontrados por Ventura Fernández y Benitez Zúñiga (2020). El tiempo de evaluación con el método propuesto es ligeramente menor que otros debido a que el SIG complementa muy bien al VANT.

En relación a las limitaciones, es importante mencionar que uno de los factores con los que se debe lidiar es la calidad de imagen durante la captura con el VANT. Esta calidad determinará la confiabilidad de los resultados en la evaluación de pavimentos. En vías urbanas donde hay edificios altos e irregulares, se requiere mayor distancia de sobrevuelo para capturar imágenes con el VANT, lo que puede afectar la calidad de las imágenes. Otro factor limitante es la sombra que proyectan las viviendas cercanas a la vía. Además, las "zonas geo" son sitios

restringidos para el uso de drones, lo cual ocurre principalmente cerca de los aeropuertos. Sin embargo, en la zona de estudio, se logró completar la captura de imágenes en todas las muestras, obteniendo imágenes de muy buena resolución y resultados confiables.

Es importante destacar que se tuvieron en cuenta tanto los pavimentos rígidos como los flexibles, por lo que la propuesta puede ser aplicable en todo tipo de vías pavimentadas. Por otro lado, durante el desarrollo de la investigación y la búsqueda de información surgieron nuevas hipótesis que merecen ser investigadas, como la aplicación y uso de algoritmos para procesar digitalmente imágenes de pavimentos mediante redes neuronales artificiales, con el objetivo de obtener el PCI en la evaluación de pavimentos.

## 5. Conclusiones

La aplicación de la propuesta de gestión de información optimiza el tiempo y los costos, además de prescindir de personal para la evaluación in situ. Dentro de este contexto, se demostró que la eficiencia del uso del VANT y el SIG en comparación con el método tradicional es del 27,3 % y del 24,9 % respectivamente, tanto en tiempo como en costos. Por otro lado, se realizó una prueba de hipótesis (t-Student) para verificar la diferencia en el valor promedio del PCI entre ambos métodos. Con un margen de error del 5 %, se concluye que no existe una diferencia significativa en la media de ambos métodos, lo que evidencia su confiabilidad. La contribución del SIG y el VANT también ayudó a determinar el tipo de mantenimiento requerido en el área de estudio.

Las actividades en la etapa de mantenimiento y postconstrucción deben realizarse después de un análisis técnico-económico. Por lo tanto, la recopilación de información es más precisa, los datos son consistentes y se organizan de manera más efectiva para su análisis.

## 6. Referencias Bibliográficas

- Al-Rubaei, R. H. A., Shubber, A. A. M., & Khaleefah, H. S. (2020). Evaluation of rigid pavement using the Pavement Condition Index: A Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1), 012128. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/737/1/012128>
- Almuhanna, R. R. A., Ewadh, H. A., & Alasadi, S. J. M. (2018). Using PAVER 6.5.7 and GIS program for pavement maintenance management for selected roads in Kerbala city. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.01.005>
- Amaral Manso, M. L., Gelmi, M., Vornetti, A., & Améndola, G. (2016). Utilización de un Sistema de Información Geográfica en la red carretera rural del distrito de Olavarría. *Ingeniería*, 20(1), 46–56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750927005>
- Balaguera, A. S., Leguizamón, O. D., & Valiente, L. L. (2018). Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión. *Ingeniería Solidaria*, 14(26). <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Bartelme, N. (2022). Geographic Information systems-pavement management system. *Springer handbooks*, 121–149. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53125-6\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53125-6_6)

- Bazlamit, S. M., Ahmad, H. S., & Al-Suleiman, T. I. (2017). Pavement maintenance applications using geographic information systems. *Procedia Engineering*, 182, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.123>
- Borja, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. In *Chiclayo - Perú* (Vol. 1).
- Cruz Toribio, J. O., & Gutierrez Lazares, J. W. (2019). Evaluación superficial de vías urbanas empleando vehículo aéreo no tripulado (VANT). *Métodos y Materiales*, 8, 23–32. <https://doi.org/10.15517/mym.v8i1.34113>
- France-Mensah, J., O'Brien, W. J., Khwaja, N., & Bussell, L. C. (2017). GIS-based visualization of integrated highway maintenance and construction planning: a case study of Fort Worth, Texas. *Visualization in Engineering*, 5(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0046-1>
- García Juan, L., & Vallina Rodríguez, A. (2019). SIG y bases de datos. Oportunidades y retos en la transición de los sistemas tradicionales al Big Data. *Espacio Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía*, 6(12), 135. <https://doi.org/10.5944/etfvi.12.2019.25124>
- International ASTM D 6433-07. (2007). Standard Practice for Road and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- Macea Mercado, L. F., Morales, L., & Márquez Díaz, L. G. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>
- Pereira, L. A., Silva Junior, C. A. P., & Fontenele, H. B. (2019). Escala visual para evaluación de pavimentos urbanos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(1), 45–54. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732019000100045>
- Pinatt, J. M., Chicati, M. L., Ildefonso, J. S., & Filetti, C. R. G. D. arc. (2020). Evaluation of pavement condition index by different methods: Case study of Maringá, Brazil. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 100100. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100100>
- Pucha Aguinsaca, P. A., & Zárate Torres, B. A. (2020). Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Avances Investigación En Ingeniería*, 17(2), 1–15. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6599>
- Rusu, L., Taut, D. A. S., & Jecan, S. (2015). An integrated solution for pavement management and monitoring systems. *Procedia Economics and Finance*, 27(15), 14–21. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00966-1](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00966-1)
- Sampieri, R. H., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). Metodología de la investigación (sexta). Sexta edición.
- Santos, B., Almeida, P. G., Feitosa, I., & Lima, D. (2020). Validation of an indirect data collection method to assess airport pavement condition. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00419. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00419>
- Shahim, M. Y. (2005). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. In *Springer Science* (2nd ed.). <https://n9.cl/o74e7>

