

Caracterización geoespacial de infraestructura vial mediante machine learning en el distrito de San Isidro de El General

Geospatial characterization of road infrastructure through Machine Learning in the district of San Isidro de El General

Sebastián David Mena-Ureña¹, David Borge-Leandro²

Fecha de recepción: 24 de agosto, 2023
Fecha de aprobación: 3 de diciembre, 2023

Mena-Ureña, S.D; Borge-Leandro, D. Caracterización geoespacial de infraestructura vial mediante machine learning en el distrito de San Isidro de El General. *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, N° 3. Julio-Setiembre, 2024. Pág. 17-32.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6735>

-
- 1 Universidad Fidélitas. Costa Rica.
 msebasd.9918@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-5281-2356>
 - 2 Universidad Fidélitas. Costa Rica.
 dborge80034@ufide.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-9157-8438>

Palabras clave

Minería de datos; sistemas de información geográfica; clasificación no supervisada; clasificación supervisada; QGis; gestión vial.

Resumen

La propuesta para lograr conocer el valor estimado de la red de caminos de Pérez Zeledón será dividir los caminos por zonas homogéneas, estas presentan diferentes precios por metro cuadrado; además, del levantamiento de algunos caminos, estimación de cantidades de materiales con proyectos realizados en estas zonas. Se brinda un valor aproximado de la red vial del distrito de San Isidro de El General para el costo de metro cuadrado a superficies de riego, metro lineal de sistema de drenajes y metro cuadrado de aceras. Así, se concreta la idea de crear un modelo integrado a QGis y determine estas variables. Pasos para completar la metodología: Minería de datos: se extrae la mayor cantidad de información para integrar al modelo, revisión de expedientes físicos de los caminos, obtención de capas relevantes de la red por medio de los departamentos de Catastro y Gestión Vial en la Municipalidad de Pérez Zeledón, información geográfica del SNIT como capas hidrológicas, zonas homogéneas y orto fotos. Luego, para clasificar los resultados, se realiza clasificación supervisada al espectro de análisis (materiales). Una vez acomodados los datos, la clasificación no supervisada por medio de algoritmos de clustering, herramientas vectoriales y ráster, complementos API integrados al sistema, también como la digitalización avanzada o diferentes geoprocursos de un SIG que ajusten de manera óptima las características de la red vial. Estos parámetros se adaptan a los modelos que se encuentran en las bases presupuestarias y se establecen estimaciones acertadas. Se evalúa la red y se concluye con su estimación paramétrica.

Keywords

Data mining; geographic information systems; unsupervised classification; supervised classification; QGis; road management.

Abstract

The proposal to get to know the estimated value of the road network of Pérez Zeledón will be to divide the roads by homogeneous zones, these present different prices per square meter; in addition, from the survey of some roads, estimation of quantities of materials with projects carried out in these zones. An approximate value of the road network of the district of San Isidro de El General is provided for the cost per square meter of road surfaces, linear meter of drainage system and square meter of sidewalks. Thus, the idea of creating a model integrated to QGis and determine these variables is concretized. Steps to complete the methodology: Data mining: the largest amount of information is extracted to integrate into the model, review of physical files of the roads, obtaining relevant layers of the network through the departments of Cadastre and Road Management in the Municipality of Perez Zeledon, geographic information from SNIT as hydrological layers, homogeneous zones and orthophotos. Then, to classify the results, supervised classification is performed to the spectrum of analysis (materials). Once the data is accommodated, the unsupervised classification by means of clustering algorithms, vector and raster tools, API complements integrated to the system, also as advanced digitizing or different geoprocesses of a GIS that optimally adjust the characteristics of the road network. These parameters are adapted to the models found in the budget bases and accurate estimates are established. The network is evaluated and its parametric estimation is concluded.

Introducción

En una caracterización espacial primero es necesario saber de qué punto partir para poder ir incrementando el nivel de detalle [1], como es una red vial se abarca inicialmente la ubicación de todo su trayecto y de ahí que elementos viales la componen, ya sea superficies de tierra, lastre, mezcla asfáltica o concreto hidráulico; estos tramos presentan sistemas de drenaje como pasos de alcantarilla, alcantarillas de cuadro, cordón y caño, cunetas y puentes.

El uso de información física MOPT [2] hace muy tediosa la actualización de las bases donde los inventarios se completan mediante prosa y croquis de carácter muy subjetivo sin escala o calidad de precisión. Para intervenir con el óptimo desarrollo a una estimación paramétrica de los caminos del distrito, se solicita en; departamento de gestión vial y catastro, e instituciones como el Sistema Nacional de Información Territorial para extraer la información base que da forma al modelo en QGis que compete a una caracterización de elementos viales; mapas, imágenes, levantamientos, características jurídicas como derecho de vía, y no se han digitalizado, van a dar paso al desarrollo del análisis geoespacial y determinación de la red vial cantonal por medio de Machine Learning [3] en el distrito central San Isidro de El General de Pérez Zeledón.

La clasificación de imágenes es un proceso que consiste en agrupar los píxeles de una imagen en un número finito de clases, basándose en los valores espectrales de las distintas bandas, convirtiendo de este modo la información captada por los sensores como niveles digitales a una escala categórica fácil de interpretar [4]. “Los píxeles que pertenezcan a la misma clase deberán tener unas características espectrales similares. Los algoritmos de clasificación de imágenes son una de las técnicas más importantes utilizadas en el ámbito de la teledetección, ya que facilitan la interpretación de una gran cantidad de información contenida en sus bandas.” [5] Esto conviene a la clasificación de píxeles que forman parte de los elementos que comprende la red vial en el distrito.

Los satélites tienen sensores que pueden recoger información de la superficie de la Tierra, incluidas imágenes, temperatura e incluso niveles de contaminación. Esta técnica se conoce como Teledetección, y los datos recopilados se procesan para crear imágenes y mapas útiles [6]. Por esto, para el análisis y clasificación, es factible el uso Google Earth Engine y QGis, que ofrece a los usuarios la oportunidad de realizar muchos análisis avanzados, incluida la desmezcla espectral, los métodos basados en objetos, el análisis propio y el modelado lineal.

Materiales y métodos

En imágenes satelitales se establecen rangos que dirijan los datos en elementos con mismas características, esto lleva a establecer que dependiendo la respuesta espectral de onda emitida por los sensores esta determina las propiedades de los materiales en analizados, en propiedades ópticas: transmisión, absorción, reflectancia, opacidad en el rango UV-VIS-NIR [7] que se almacenan en las imágenes multispectrales obtenidas por medio de Maxar [8] con precisión 0.5m para el distrito, ortofotos 1:100 y 1:500 del SNIT y levantamiento ortomosaico realizado por el departamento de gestión vial en el casco central de 0.025m. Los espectros que presentan las imágenes satelitales, ya sea una, dos, tres, cuatro o más bandas, se han utilizado para determinar zonas de agricultura, zonas urbanas, zonas de riesgo, líneas como hidrografía y demás características. Todo esto va de la mano con la cantidad de información y calidad de precisión que contengan estos archivos [9].

Un procedimiento de SIG es la superposición de mapas, que produce una clasificación de un área espacial desde arriba (comenzando con lo general y terminando con lo específico). Cuantos más mapas se superponen, más detallada se vuelve el área, incorporando más temas

en el mapa [10] por eso la recolección de información se genera en la extracción de valores implícitos en el espectro y se validan con las metodologías y criterios técnico-profesional realizado para el distrito de San Isidro de El General en su red vial cantonal.



Figura 1. Diagrama de flujo para procesar información en SIG [11].

Para la caracterización de una red vial se establece una filtración de datos a converger en el resultado deseado y se integran capas que abarcan el trazado y codificación de los caminos municipales, capas de cauce y drenaje, capas de zonas homogéneas, levantamientos con dron en casco central y observaciones en sitio, y de esta manera mediante el trabajo y supervisión en conjunto con los ingenieros se proceda a validar y clasificar los datos en un modelo para el SIG. La información sobre clasificación a la superficie terrestre se ha integrado donde la ingeniería ha ido facilitando inspección detallada del sitio sin realizar visita con mapas e imágenes satelitales, la clasificación supervisada y la clasificación no supervisada que son conceptos claves en el manejo de datos [12] y donde se concluye a un presupuesto de elementos ya establecidos en la red vial, se accede a la base de datos municipal o el Sistema Integrado de Compras Públicas que presenten proyectos con los parámetros a establecer como; tipos de puentes, superficies de ruedo, elementos de drenaje y aceras.

El clustering como opción para determinar la red. Tal como señala [13], “K-means es uno de los algoritmos de aprendizaje no supervisado más simples que resuelve el conocido problema de agrupamiento”. La agrupación de k means, dirige a una clasificación de datos que, en un principio, contempla las distancias de los parámetros del clúster. Se van a contemplar dos distancias: una que determina si el clúster pertenece a un grupo K y otra que señala en qué tipo de K se está posicionado. Ante esta situación, se llega a un plan de caracterización mediante un híbrido de clasificación de bandas y clustering ROI (Region of Interest), para que converjan en el resultado que se busca.

Con la facilidad de alterar el RGB en la combinación de bandas, se procede a iterar la respuesta de espectro de cada material, donde la transposición de píxeles equivocados sea casi nula y se acople a la precisión real de la imagen multibanda. Previo a la agrupación se realiza el ajuste de transparencia y transposición de varias imágenes con diversas combinaciones en las bandas; así, el espectro individual que se vaya a analizar estará conformado por características únicas que facilitan su agrupación figura 2. Esto lleva también a que se unifiquen las características no deseadas y sean de menor problema. [14]



Figura 2. Visualización de imagen multiespectral en combinaciones RGB 123, 432, 341 y satélite de Google. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

Para una sectorización más ordenada, se desarrollan límites de los materiales que estructuran la red vial y determina la distancia K si el clúster pertenece a un grupo. Inicialmente, se colocan marcadores donde el tramo de vía presente un cambio, como en este caso; Figura 3, de mezcla asfáltica a cualquier otro material o incluso límite por jurisdicción, que ya no pertenezca a la red cantonal, pero sí continúe el mismo material.



Figura 3. Visualización de límites de mezcla asfáltica establecidos en trazado naranja. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

Esto se realiza para visualizar los centroides que van a convenir a cada tramo para esta agrupación de características específicas lo que quiere decir en qué tipo de K está posicionado el clúster.

Mediante el algoritmo de clustering, se empieza a conformar una superficie que será la encargada de almacenar la información relevante a la mezcla asfáltica y así con el lastre y concreto hidráulico.

Se continúa para realizar estas regiones de interés, o por sus siglas en inglés ROI, las cuales se ubicarán en los centroides anteriormente visualizados. Una vez completado el muestreo, se ejecuta el algoritmo para así empezar las iteraciones al resultado deseado [15] Se establece la opción en devaluar los tramos por niveles de severidad en patologías presentes. Esto para establecer y simplificar a 3 parámetros que determinan las condiciones que se presentan los tramos y dirigir el análisis a la ejemplificación fotográfica de severidad de daños facilitada por el Manual PCI en Manual de Daños referente a las patologías generadas en concretos asfálticos, figura 4, o concretos hidráulicos.



Figura 4. Niveles de severidad en piel de cocodrilo para carpetas asfálticas [16].

Estas 3 condiciones también basan en la funcionalidad de los tramos, para un presupuesto el departamento de gestión vial decide tomar como factor la calidad en el tránsito (revisar sección de Manual de Daños en Método PCI) la primera condición representa el 100% (1) esto de mano a los niveles de severidad en cada patología que pueda presentar el tramo donde no es necesaria la intervención o es parte del mantenimiento preventivo para gestión vial, la segunda 66% (2) donde es necesaria la intervención parcial en reparaciones al tramo y la tercera en un 33% (3) esta se aplica a los tramos que requieren intervención total, una reconstrucción, y así se aplica según los materiales en análisis según los niveles de severidad y opciones de reparación que indiquen las patologías (tener en claro que se toma en cuenta únicamente el material para efectos de presupuesto ya que no se evalúan factores para llevar a cabo reparaciones o similar en los tramos, se va inventariar los elementos y estimar un precio donde quiere decir que estas 3 condiciones indican en efecto práctico en cuanto porcentaje queda el tramo ya devaluado).

Para un modelo de acera, se obtiene el ancho de los 21 cuadrantes analizados, se extrae la longitud de acera que estos representan con 26975.49 metros que equivale a un 24.42% del total en aceras para corroborar que entra en el mínimo de muestra establecido con rango de una desviación estándar de 0.5 y un nivel de confianza del 90%.

Lo siguiente que debe hacer es convertir el nivel de confianza en una puntuación Z. Estas son las puntuaciones Z para los niveles de confianza más comunes:

90 % – Puntuación Z = 1,645

95 % – Puntuación Z = 1,96

99 % – Puntuación Z = 2,576

Se tabulan las muestras y se obtiene el valor de ancho promedio para modelo de acera de 1.80 cm, cuadro 1.

Cuadro 1. Muestreo de ancho de acera.

Muestreo de acerras	long (m)
1	1.5
2	2.2
3	1.4
4	1.7
5	1.6
6	1.9
7	1.3
8	1.5
9	1.9
10	2
11	1.9
12	1.4
13	1.8
14	1.7
15	2
16	2
17	2
18	2
19	2.6

20	2
21	1.8
Promedio	1.8
Desviación estándar	0.31
Error estándar	0.07

Para esta última etapa de clasificación de elementos que comprenden la red vial cantonal en el distrito de San Isidro, se determinan las estructuras necesarias para el manejo de cuerpos de agua. En seguida, se obtiene la capa de cauce y drenaje del SNIT que contiene la hidrografía nacional y se plantea que donde se intersequen los tramos de cada camino con un vector de esta hidrografía tiene que ubicarse uno de estos elementos.

A la hora de tomar en cuenta las intersecciones que generan los cuerpos de agua con una la red vial se genera con herramientas vectoriales de QGis, una interseccion vectorial a las capas de cauce y drejane que cubre el distrito con las capas de que corresponden a caminos de lastre, concreto asfáltico y concreto hidráulico para de esta manera ubicar los siguientes elementos: puentes, alcantarillas de cuadro y pasos de alcantarilla

En la Figura 5 se muestra la hidrografía que cubre el distrito.

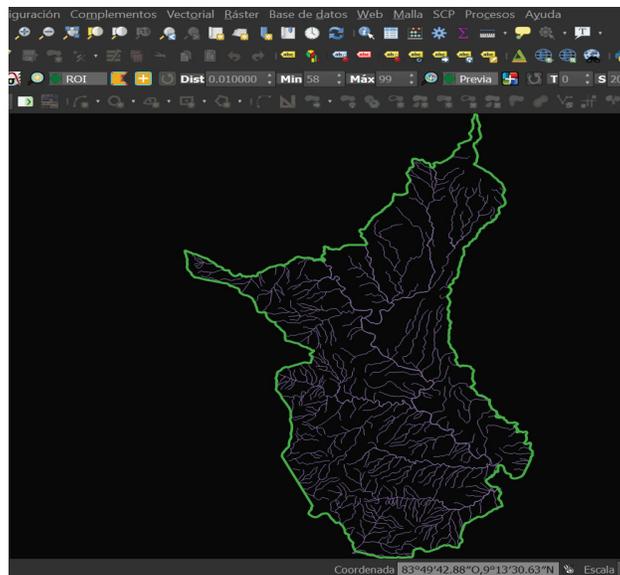


Figura 5. Capa vectorial de la hidrografía del distrito. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

En seguida, con la herramienta de intersección vectorial, se procede a ubicar cada una de las intersecciones presentes con las capas de lastre, mezcla asfáltica o concreto hidráulico, figura 6.

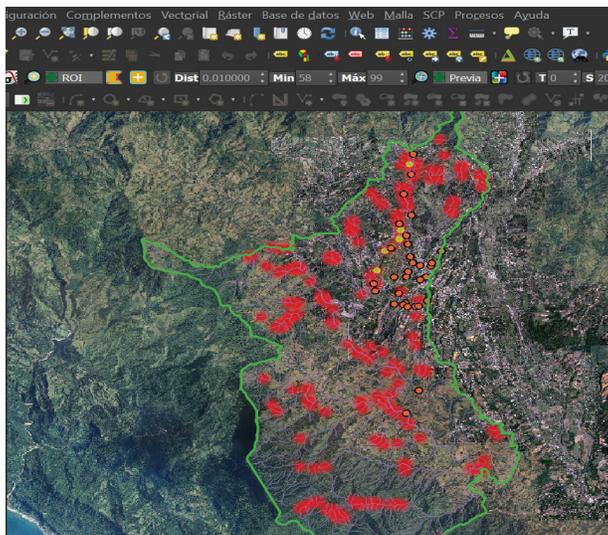


Figura 6. Intersección de los tramos de la red vial con la hidrografía.
Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

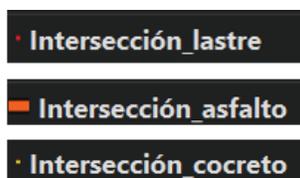


Figura 7. Simbología para las intersecciones.

Las intersecciones muestran tres tipos de cuerpos afluentes, los cuales son río, quebrada y quebrada intermitente.

Resultados

Cuando se haya completado la clasificación y el ajuste de las capas vectoriales, figura 8, para estas que indican los materiales se procede a codificar para enseguida evaluar la condición de dicho camino con respecto a los niveles de severidad que pueden mostrar las patologías.

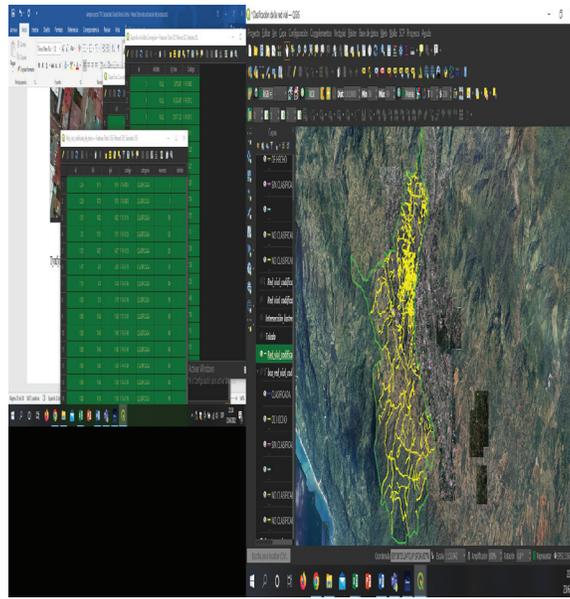
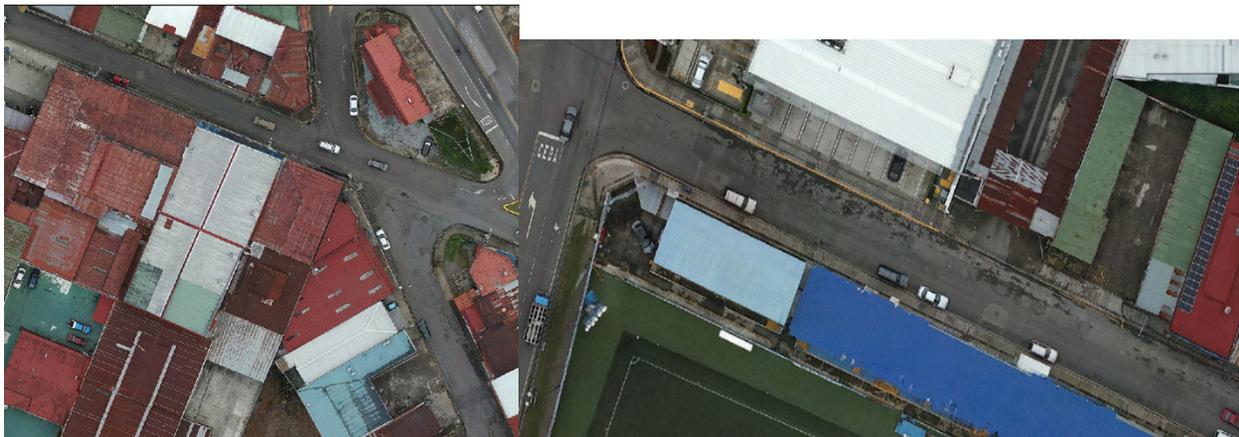


Figura 8. Visualización de las capas de la red vial que comprenden los materiales de lastre, mezcla asfáltica y concreto hidráulico. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).



(A)

(B)



(C)

Figura 9. A,B,C Visualización de los caminos de la red vial que comprenden las condiciones 1(A), 2(B) y 3(C) para devaluación en mezcla asfáltica. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

Para poder determinar las tres condiciones en las que podía encontrarse un tramo se basó en la observación de imágenes satelitales y realizar comparación con los ejemplos que ofrecen los niveles de severidad en patologías para caminos sin pavimentar y caminos pavimentados. En la figura 9 A, B, C se muestra la ejemplificación de los caminos que presentan las condiciones planteadas y revisadas en conjunto a los ingenieros del departamento de gestión vial para otorgar valor a la superficie analizada.

Una vez se hayan abarcado todos los parámetros establecidos para estimar el presupuesto que comprende la red vial cantonal en el distrito de San Isidro, se desglosa de la siguiente manera en el cuadro 2.

Cuadro 2. Área y valor de los terrenos.

Tabla resumen caminos		
Total área y valor de los terrenos donde se ubica la red vial cantonal del distrito de San Isidro	5.288	₡76 164 246 752.24
Total área y valor de los tramos de lastre en la red vial cantonal del distrito de San Isidro	1.061	₡1 493 365 958.43
Total área y valor de los tramos de mezcla asfáltica en la red vial cantonal del distrito de San Isidro	0.557	₡16 325 886 028.38
Total área y valor de los tramos de concreto hidráulico en la red vial cantonal del distrito de San Isidro	0.0555	₡2 327 964 498.66
Total longitud y valor de los tramos con cordón y caño en la red vial cantonal del distrito de San Isidro	110.453	₡9 829 287 228.71
Total longitud y valor de los tramos con cuneta en la red vial cantonal del distrito de San Isidro	93.893	₡1 173 661 145.00
Total longitud y valor de los tramos con acera en la red vial cantonal del distrito de San Isidro	110.453	₡1 627 887 219.89

Se establece hacer la mayor cantidad de levantamientos mediante naves no tripuladas que aporten precisión al modelo y para mantener calidad en la información se deduce en realizar levantamientos periódicos. El periodo será establecido por la Municipalidad para así actualizar en conjunto el modelo, ya que se encontraron expedientes que no han sido actualizados durante más de 20 años y en zonas donde las imágenes de satélite presenten mayor incertidumbre permitan dichas correcciones; y con esto paulatinamente se facilita la evaluación de los tramos mediante la metodología PCI en un modelo manejado en un sistema de información geográfica.

Se obtiene el valor total de los terrenos que abarcan la red vial para un total de 76 164 246 752.24 de colones en 5.288 kilómetros cuadrados, para hallar esta área fue necesario extraer el derecho de vía de los expedientes físicos que le corresponde a cada código de camino y gracias a las zonas homogéneas establecidas por el Ministerio de Hacienda asignar el valor por metro cuadrado que le corresponde a cada tramo. Con respecto al detallado y la visualización, para un mejor criterio o calidad en los resultados, se recomienda aumentar el nivel de detalle donde los tramos no se aprecien de forma correcta debido a vegetación o desfase de imagen para así a lo largo de la evaluación de caminos con la información integrada correctamente aplicar de manera óptima la clasificación de PCI que debido a escasos recursos en un gobierno local no permite enviar personal calificado en medidas de evaluar los caminos. Se estima el valor total en tramos de lastre que presentan tres tipos de condición y abarcan 1.061 kilómetros cuadrados con un monto de 1493 365 958.43 de colones.

Se estima el valor total en tramos de mezcla asfáltica que presentan tres tipos de condición y abarcan 0.557 kilómetros cuadrados con un monto de 16 325 886 028.38 de colones.

Se estima el valor total en tramos de concreto hidráulico que presentan tres tipos de condición y abarcan 0.0555 kilómetros cuadrados con un monto de 2 327 964 498.66 de colones.

Para continuar con los elementos de cordón y caño, cunetas y acera se hallan los tramos que pueden contener cordón y caño o cunetas, luego se extraen los tramos con acera, una vez esto asignó el valor de longitud de acera al cordón y caño para representar que todas las aceras cuentan con este elemento y así se obtuvo la diferencia en la longitud hallada para cordón y caño o cunetas que es asignada a longitud de cunetas. Se estima el valor total en tramos con cordón y caño que abarcan 110.452 kilómetros lineales con un monto de 9 829 287 228.71 de colones.

Se estima el valor total en tramos con cunetas que abarcan 93.893 kilómetros lineales con un monto de 1 173 661 145.00 de colones.

Se estima el valor total en tramos con acera que abarcan 110.452 kilómetros lineales con un monto de 1 627 887 219.89 de colones.

Se obtiene el valor total que abarca cada elemento presente en la intersección de la red con un cuerpo de agua, ya sea quebrada intermitente, quebrada o río, cuadro 3. Este desarrollo se presenta de manera más general en cuanto a las características de los elementos ya que llega a ser parte de la base necesaria para el departamento de gestión vial en avanzar con el inventariado de puentes y similares. Las intersecciones muestran tres tipos de cuerpos afluentes, los cuales son río, quebrada y quebrada intermitente.

Cuadro 3. Valor en alcantarillas de cuadro, pasos de alcantarilla y puentes.

Tabla resumen intersecciones con cauce o drenaje			
Alcantarillas de cuadro	En caminos de lastre	∅312 354 166.67	∅446 500 000.00
	En caminos de mezcla asfáltica	∅50 916 666.67	
	En caminos de concreto hidráulico	∅83 229 166.67	
Pasos de alcantarilla	En caminos de lastre	∅14 004 000.00	∅120 901 200.00
	En caminos de mezcla asfáltica	∅106 897 200.00	
Puentes bailey	En caminos de lastre	∅214 500 000.18	∅429 000 000.37
	En caminos de mezcla asfáltica	∅214 500 000.18	
Puentes MOPT con paso peatonal	En caminos de mezcla asfáltica	∅524 088 888.74	∅524 088 888.74
Puentes MOPT sin paso peatonal	En caminos de lastre	∅2 108 333 332.50	∅3 708 333 331.90
	En caminos de mezcla asfáltica	∅1 599 999 999.40	

Se observa que, para una mejor estimación y evaluación de estructuras más específicas como puentes, se utilice el equipo y metodología planteada en “Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual”.

La metodología pretende crear un modelo sin interacción en campo, pero siempre es recomendado realizar verificaciones en campo sobre valores o proyecciones que no se presenten como indicadores reales en un modelo, por eso se recomienda aumentar los estudios como en cauces para así poder controlar de una mejor manera el riesgo que puede presentar una estructura ya sea por sus dimensiones si planificación, estructuras obsoletas, provisionales o sin alguna intervención, ya que es tediosa la actualización de inventarios físicos el flujo de proyectos atrasa a las cuadrillas de campo completar dicha actualización por eso se recomienda partir de esta base de datos en el desarrollo de proyectos donde se asignen las características a un SIG de lo que se vaya realizando a tiempo real.

El total en alcantarillas de cuadro, figura 10, es de 446 500 000.00 de colones.

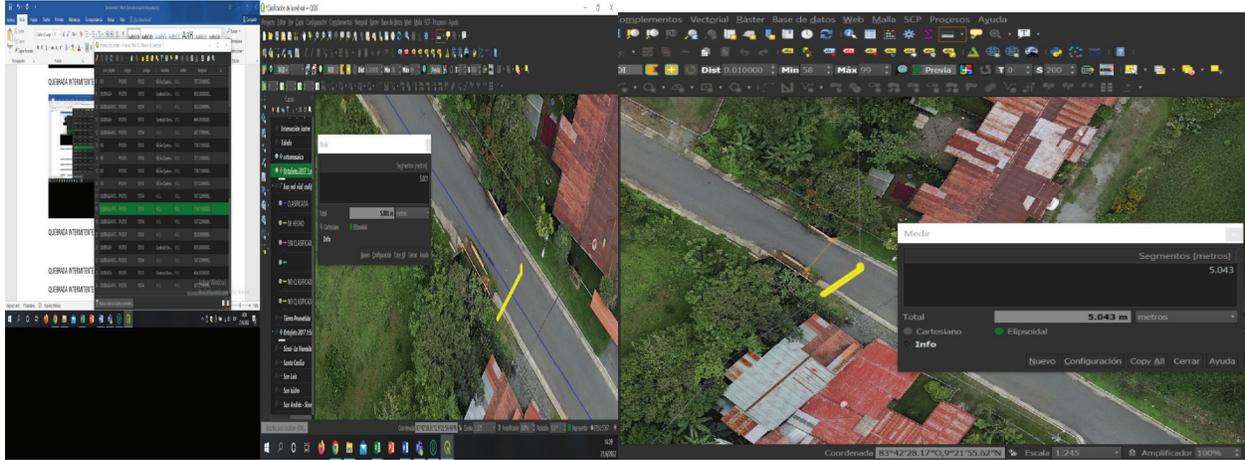


Figura 10. Modelos de alcantarilla de cuadro en intersección con tramo de mezcla asfáltica. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

El total en pasos de alcantarilla, figura 11, corresponde a 120 901 200.00 de colones.

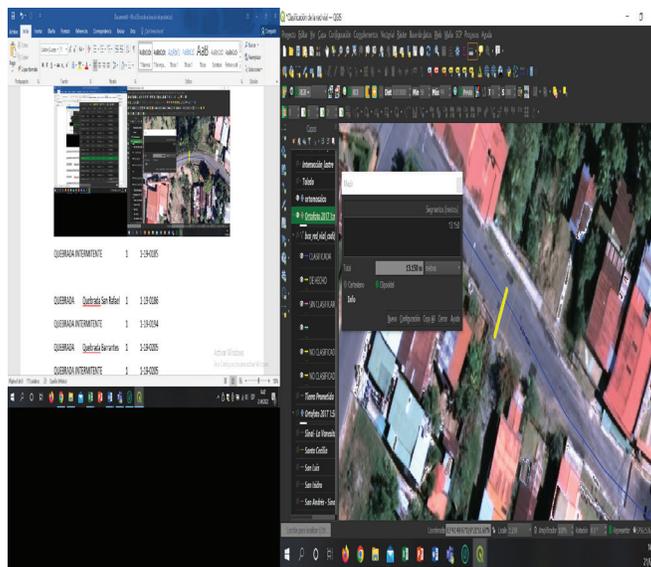


Figura 11. Pasos de alcantarilla en tramos de mezcla asfáltica. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

En cuanto a los puentes Bailey, figura 12, el total es de 429 000 000.37 de colones.

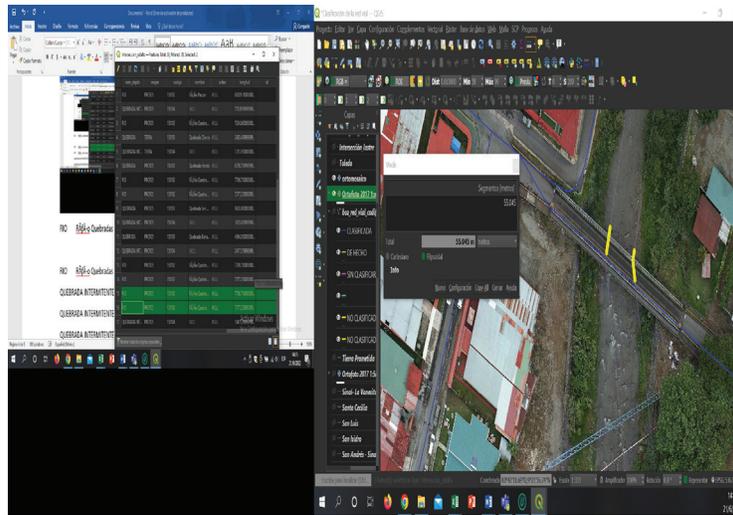


Figura 12. Puente Bailey en intersección con tramo de mezcla asfáltica. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

En puentes tipo MOPT con paso peatonal, figura 13, se estimó un total de 524 088 888.74 de colones.

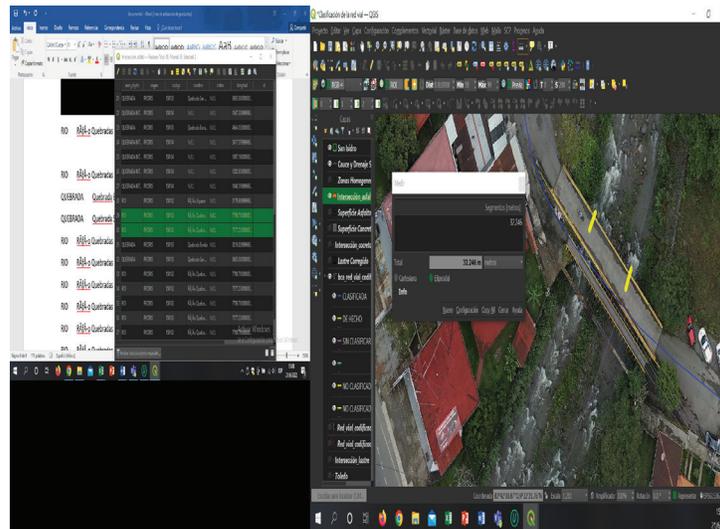


Figura 13. Puente tipo MOPT con paso peatonal en intersección con tramo de mezcla asfáltica. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

El total en puentes tipo MOPT sin paso peatonal, figura 14, es de 3 708 333 331.90 de colones.

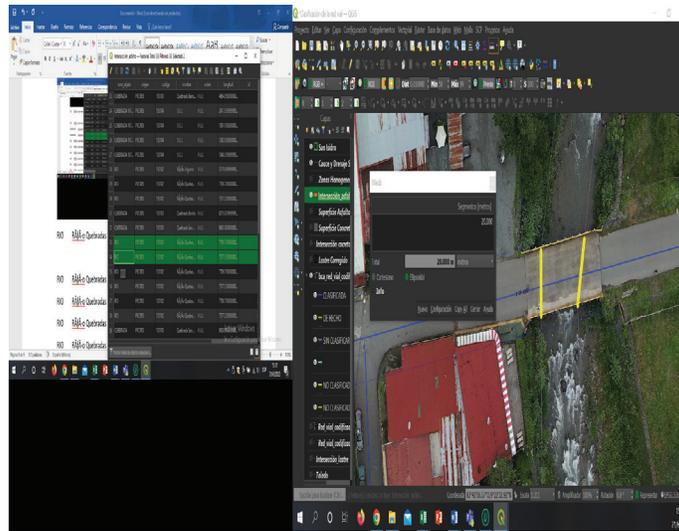


Figura 14. Puente tipo MOPT sin paso peatonal en intersección con tramo de mezcla asfáltica. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

Se concreta la estimación del presupuesto paramétrico en un total de 113 724 622 252.32 colones.



Figura 15. Visualización de orto-mosaico 2.5cm. Por medio de la herramienta QGis 3.10.0 (2022).

Conclusiones y/o recomendaciones (discusión)

Se logra recaudar la mayor cantidad de información para caracterizar los elementos básicos que comprende la red vial cantonal en el distrito de San Isidro de El General en Pérez Zeledón y estimar un presupuesto paramétrico de esta, la valoración que fue determinada puede cambiar de manera que se vaya interiorizando en las especificaciones de cada elemento por ejemplo en los puentes que se presentan como estructuras más complejas en la ingeniería, sus detalles conforme a la hidráulica e hidrología exigen una investigación aparte para establecer un valor más exacto [17].

Mediante la información obtenida, imágenes satelitales, levantamiento mediante nave no tripulada, figura 15, capas vectoriales, expedientes físicos y visitas de campo se integran a un modelo en la cobertura del distrito, se extraen los detalles relevantes mediante las herramientas que un API ofrece en plataformas o SIG, como lo es QGIS, sin embargo, en un sistema como lo es una red vial cantonal sus partes pasan en constante deterioro, reparación, reconstrucción, construcción y apertura de nuevas vías, por esta razón la metodología es parte de una base de datos que necesita actualizarse al paso de su desarrollo.

Gracias a comandos específicos que se aplicaron a la información digitalizada, se califican y cuantifican las características presentes en los elementos que se analizaron para determinar la red vial, a pesar de que no se haya aplicado una cuantificación específica mediante la clasificación PCI la metodología permite comparar las imágenes referentes al área de análisis con las imágenes de ejemplificación para daños en el manual PCI, el método parece cumplir su optimización en evaluar ya que por parte del departamento tampoco se realiza esta clasificación en aras de avanzar la actualización de la red y con esto se parte para completar la evaluación del cantón y facilitar una base de información óptima en su uso y actualización. Se determina una metodología para que mediante el uso de SIG se pueda optimizar la caracterización de la red vial, de manera que el desarrollo del presupuesto para toda la red vial cantonal aumente su avance notablemente.

Se concluye que, en el desarrollo de esta metodología planteada, el Departamento de Gestión Vial avanzó con su caracterización de la red en los caminos fuera del distrito en análisis; la comparación se realizó con la cantidad de códigos que se lograron abarcar por medio de la Municipalidad contra los códigos que se abarcaron en este trabajo. La Municipalidad completó la caracterización de ocho códigos de caminos, mientras que en este trabajo se lograron caracterizar 356 códigos de caminos; por lo tanto, la metodología planteada es óptima.

Referencias

- [1] Humacata, L. (2020). *Sistemas de Información Geográfica, Aplicaciones para el análisis de clasificación espacial y cambios de uso de suelos*. Impresiones Buenos Aires.
- [2] MOPT. (2014). *Manual de especificaciones técnicas para realizar el inventario y evaluación de la Red Vial Cantonal (Decreto No. 38578-MOPT- 21-10-2014)*. San José: Gaceta.
- [3] Hird, J., DeLancey, E., McDermid, G., & Kariyeva, J. (2017). Google Earth Engine, datos satelitales de acceso abierto y aprendizaje automático en apoyo del mapeo probabilístico de humedales de área grande. *MDPI Remote Sensing*, 9-1315.
- [4] Paul Mather, B. T. (2009). Métodos de clasificación para datos de detección remota. En B. T. Paul Mather, *Métodos de clasificación para datos de detección remota* (págs. 54-74). New York: Taylor y Francis Group.
- [5] Castañeda, R. A. (2021). Implementación del método máquinas de soporte vectorial en bases de datos espaciales para análisis de clasificación supervisada en imágenes de sensores remotos. *Revista Cartográfica*, 2-6.
- [6] Frank, I. N. (2017). *Teoría-Teledetección Espacial*. Geomática Ambiental S.R.L.

- [7] Eyco, L. (22 de Marzo de 2021). *¿Por qué es tan importante el Índice de Reflectancia Solar (SRI) para la construcción y cómo se mide?* <https://www.laboratorioeyco.com/por-que-es-importante-el-indice-de-reflectancia-solar-en-la-construccion/#queesreflectanciasolar>
- [8] Basemaps, M. I. (07 de 2020). *Maxar.com*. <https://resources.maxar.com/imagery-basemaps>
- [9] Congelo, L. (2017). *Semiautomatic classification manual-v5*. Obtenido de Semiautomatic classification manual-v5: https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/remote_sensing.html
- [10] Buzai, G. D. (2011). Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Evolución Teórico Metodológica Hacia Campos Emergentes. *Revista Geográfica de América Central*, 2(48E), 15-67.
- [11] Lythe, M. (2020). *Automating land classification with machine learning*. <https://www.lynker-analytics.com/the-blog/2020/4/24/automating-land-classification-with-machine-learning>
- [12] NASA Programa de capacitación en ciencias aplicadas. (22 de Octubre de 2015). *ARSET Fundamentos de la teledetección*. Fundamentals of Remote Sensing: https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/Fundamentals_RS_Session2_Land_Final.pdf
- [13] Mishra, S. (2017). Aprendizaje no supervisado y agrupación de datos. *Towards Data Science*. <https://towards-datascience.com/unsupervised-learning-and-data-clustering-eeecb78b422a>
- [14] Google Motor de Tierra. (28 de 10 de 2020c). *Supervised Classification*. <https://developers.google.com/earth-engine/guides/classification>
- [15] Google Motor de Tierra. (20 de 10 de 2020b). *Unsupervised Classification (clustering)*. <https://developers.google.com/earth-engine/guides/clustering>
- [16] Vásquez Varela, L. R. (2002). *Índice de condición del pavimento (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO HIDRÁULICO EN CARRETERAS*. Manizales: ingepav.
- [17] Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2013). *TERMINOS DE REFERENCIA TECNICOS PARA ESTUDIOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS PARA PUENTES*. *tr-hidrologicos-hidraulicos.pdf*. <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/27e089c0-24bf-47e4-b3d4-90bb757d77a7/tr-hidrologicos-hidraulicos.pdf?MOD=AJPERES>