

Evaluación De La Estructura De Pavimento En Carreteras De Montaña

Evaluation Of Pavement Structures On Mountain Roads

Autores

Anthony Fabian Zapata Rogel¹, Manuel Elian Luna Guamán², Carlos Eugenio Sánchez Mendieta³, Yudy Patricia Medina Sánchez⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Huaquillas, azapata5@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, El Guabo, mluna5@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

⁴Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, ymedina@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La carencia de mantenimiento vial conlleva diversos problemas como el aumento de costos de operación de los vehículos, mayor riesgo de accidentes de tránsito, y reducción de la vida útil del pavimento. En este contexto, se presenta una metodología para evaluar la estructura del pavimento en carreteras de montaña aplicada a la vía Quera-Porotillo-Chilla con la finalidad de determinar si la vía ofrece un servicio vial adecuado. Esta metodología comprende el análisis de indicadores como el uso de suelo, el índice de condición de pavimento y ensayos de laboratorio. La evaluación comienza con una inspección visual que permite recopilar información sobre el uso del suelo para establecer la relevancia de la vía. Luego, se aplica el método del índice de condición del pavimento para clasificar el estado del pavimento según la normativa correspondiente. Posteriormente, se realizaron ensayos de laboratorio con muestras de suelo extraídas de la vía que proporcionan datos de granulometría y capacidad portante, los cuales son clasificados según las normativas establecidas por la ASTM y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Por último, se analizaron los resultados de los indicadores usados con lo cual se obtiene una ponderación final, indicando un estado regular de la estructura del pavimento en la vía estudiada. Se concluye que la evaluación de la vía mediante los indicadores empleados en este estudio permite identificar deficiencias superficiales y estructurales de manera precisa y confiable, esto facilita la formulación de propuestas de mejora para garantizar un adecuado servicio de vialidad.

Palabras claves: capacidad portante del suelo, evaluación de pavimento, índice de condición de pavimento, pavimento flexible, subrasante.

ABSTRACT

life. In this context, a methodology is presented to evaluate the pavement structure of mountain roads applied to the Quera-Porotillo-Chilla road in order to determine whether the road offers adequate road service. This methodology includes the analysis of indicators such as land use, pavement condition index and laboratory tests. The evaluation begins with a visual inspection to gather information on land use to establish the relevance of the road. Then, the pavement condition index method is applied to classify the condition of the pavement according to the corresponding standards. Subsequently, laboratory tests were carried out with soil samples taken from the road to provide data on granulometry and bearing capacity, which are classified according to the regulations established by ASTM and the Ministry of Transportation and Public Works. Finally, the results of the indicators used were analyzed to obtain a final weighting, indicating a regular condition of the pavement structure in the studied road. It is concluded that the evaluation of the road by means of the indicators used in this study allows identifying surface and structural deficiencies in a precise and reliable manner, which facilitates the formulation of improvement proposals to guarantee an adequate road service.

Keywords: bearing capacity of soil, pavement evaluation, pavement condition index, flexible pavement, subgrade.

1. INTRODUCCIÓN

Las carreteras constituyen un pilar esencial en la economía y desarrollo de un país porque permiten la accesibilidad y movilización de personas o bienes a diferentes comunidades [1], por tal razón, es importante que la estructura vial se mantenga en estado óptimo garantizando un alto nivel de seguridad a todos los usuarios [2]. Una buena movilidad es producto de una estructura de pavimento en buen estado, para lo cual se deben tener los espesores adecuados de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento, como lo son: la capa de rodadura, base y subbase, apoyadas sobre la subrasante [3]. Estos espesores de capas están en función de diferentes variables, como: características de los materiales, sollicitación del tráfico, propiedades mecánicas de la subrasante y factores climáticos que soporta el pavimento [4].

La provincia de El Oro, ubicada en Ecuador cuenta con 67,12% de vías en estado regular, 18,70% en pésimas condiciones y 14,18% en buen estado. El cantón Chilla cuenta con una longitud de 77,17 km de vías que representa el 2,38% del total de vías en la provincia, de la cual 40,38 km reciben un mantenimiento periódico y 6,85 km un mantenimiento rutinario, siendo este último el valor más bajo de toda la provincia según el Consorcio de gobiernos autónomos provinciales del Ecuador en el año 2019. Por esta razón, es importante utilizar metodologías que permitan evaluar la condición superficial del pavimento, y también realizar ensayos para determinar su comportamiento y propiedades mecánicas [5], de manera que se pueda decidir cuáles son los trabajos de mantenimiento eficientes y oportunos, evitando sobrecostos de operación y deterioro progresivo de la vía [6]. El autor González [7] menciona que el deterioro del pavimento está relacionado con los materiales, espesores de carpeta asfáltica, tránsito [8] y condiciones climatológicas [9]. Es por esto que, Silva [10] hace mención en su artículo científico acerca de la importancia de realizar un sistema de gestión de pavimentos, ya que sirve como base al momento de diseñar, evaluar y mantener una vía, facilitando la toma de decisiones, de tal manera que se permita tener una estructura vial en buenas condiciones durante el periodo de vida útil, optimizando la mayor cantidad de recursos y logrando reducir el costo de operación.

Según Gadha, Setyawan y Syafi'i [11] mencionan que el método de PCI [12] se utiliza ampliamente en todo el mundo para evaluar la condición de los pavimentos y priorizar las reparaciones de mantenimiento. Este método se basa en una evaluación visual de la superficie del pavimento, en la que se identifican y puntúan una serie de tipos de daños, como grietas, baches y desgaste superficial. En diversas ubicaciones, varios investigadores han empleado esta metodología debido a su capacidad para cuantificar y cualificar con precisión el nivel de deterioro de la infraestructura vial [13]. Ejemplos notables de su aplicación incluyen el estudio de Almuhanha, Ewadh y Alasadi [14] en Kerbala-Irak, la investigación de Al-Neami, Al-Rubae y Kareem [15] llevada a cabo en Kut-Irak, el trabajo de Putra y Suprpto [16] en Maringá-Brasil, así como la evaluación realizada por Cruz y Gutiérrez [17] en Lima-Perú y la contribución de Baque [18] en Manta-Ecuador. Con la aplicación de esta metodología se obtiene una medida del estado actual del pavimento lo que permite desarrollar planes de mantenimiento preventivo y prolongar la vida útil.

El índice de condición de pavimento se puede determinar a través de evaluaciones objetivas y subjetivas, mediante el método PCI [12]. La diferencia entre estas dos evaluaciones es que la objetiva se realiza mediante fichas de observación, registrando cada tipo de falla, por su parte, la evaluación subjetiva depende de la percepción del evaluador. Pinatt [19] menciona en su artículo que se puede utilizar el método subjetivo para facilitar el proceso en la evaluación de las vías puesto que es un procedimiento más rápido y simple en comparación con la evaluación objetiva, ya que los resultados fueron cercanamente iguales. Sin embargo, Pescador, Prado y Barbosa [20] mencionan que la diferencia minúscula que existe entre estos métodos podría ser a causa de que en la inspección objetiva se consideran todos los defectos de la vía, en cambio en el otro método el evaluador podría omitir ciertas fallas ya que considera que no representan mayor importancia. Por lo tanto, para este trabajo de investigación se optó por utilizar la evaluación objetiva puesto que se obtendrán resultados más técnicos y confiables, con la finalidad de obtener los tramos más deteriorados para con ese mayor daño realizar un estudio de la estructura de pavimento e investigar la causa que origina la falla a través de los resultados que se obtienen de los ensayos de laboratorio. El método PCI está definido en la norma ASTM D 6433 - 07 [12] y consiste en determinar el índice de condición del pavimento según la clase, severidad y cantidad del tipo de falla.

Por otra parte, la expansión urbana, agrícola, turística y el desarrollo de infraestructuras producidas por el ser humano son algunos de los factores que inciden directamente en el cambio del uso del suelo [21]. En Carolina del Norte, Estados Unidos los autores Pulugurtha y Mathew [22] realizaron una investigación con la finalidad de determinar la influencia del uso del suelo, las características e importancia de la vía. En este sentido, la integración del análisis del uso de suelo en la evaluación de una carretera adquiere relevancia ya que se puede relacionar con el índice de condición del pavimento [12], debido a la influencia directa que las actividades de desarrollo y cambios en las zonas laterales ejercen sobre el flujo vehicular. Cuando una región experimenta un crecimiento urbano significativo o se produce un cambio en las zonas laterales, esto a menudo resulta en un aumento del tráfico y una mayor carga sobre las carreteras. Este aumento en el flujo vehicular puede acelerar el desgaste del pavimento, lo que a su vez tiene un impacto negativo en el PCI [12]. Por lo tanto, la comprensión de cómo el uso del suelo afecta el flujo vehicular es esencial para evaluar y prever la condición del pavimento y tomar decisiones informadas sobre su mantenimiento y mejora.

Con respecto a los ensayos de laboratorio como granulometría y CBR, son fundamentales para clasificar las distintas capas que componen la estructura del pavimento y determinar la capacidad portante de la vía, garantizando su alineación con las especificaciones establecidas por las diversas normativas vigentes en el país. Estos ensayos permiten evaluar si el suelo cumple con los estándares establecidos y clasificar su conformidad con las normas aplicables, asegurando así la calidad y seguridad de la infraestructura vial.

El propósito de realizar la combinación de los tres elementos es evaluar el estado de una carretera. El índice de condición de pavimento (PCI) se utiliza para determinar el estado de la carpeta asfáltica, mientras que se analiza el uso de suelo para obtener el nivel de importancia de la vía. Además, se realizan ensayos de laboratorio para evaluar el nivel de resistencia que presenta el suelo, lo que permite identificar el tipo de fallo presente en la estructura de pavimento. Esta combinación de elementos proporciona una evaluación completa de una carretera de montaña.

1. 1. Alcance Y Objetivos

La finalidad de este trabajo de investigación es la evaluación de la estructura de pavimento en carreteras de montaña mediante una propuesta metodológica que consideró indicadores como el uso de suelo, índice de condición de pavimento (PCI) y ensayos de laboratorio, para un adecuado servicio de vialidad en la carretera Quera-Porotillo-Chilla. Con estos resultados se obtuvo una visión completa y precisa del estado de la estructura de pavimento, lo que permitirá tomar decisiones fundamentadas para su mantenimiento y mejora. Los resultados del presente estudio se exponen mediante tablas, con el objeto de exhibir a mayor detalle la evaluación realizada.

2. METODOLOGÍA

El uso continuo de las carreteras por cargas de tránsito y factores ambientales provocan un deterioro progresivo denominado como degradación de calidad que sufre el pavimento [23], aquello repercute en el confort de los actores de tránsito, pues en ciertas ocasiones conlleva a que los vehículos sufran daños físicos en sus equipos por problemas suscitados durante el viaje. Es por esta razón que el objeto de estudio es la carretera Quera-Porotillo-Chilla, ya que los usuarios de la vía no reciben el servicio adecuado de mantenimiento vial. La longitud es de 42,00 km de largo y está ubicada en el Noreste de Chilla. Actualmente la vía está constituida por dos carriles de doble sentido y cuenta con un ancho de 6,30 metros. En la figura 1 se presenta la extensión del objeto de estudio.

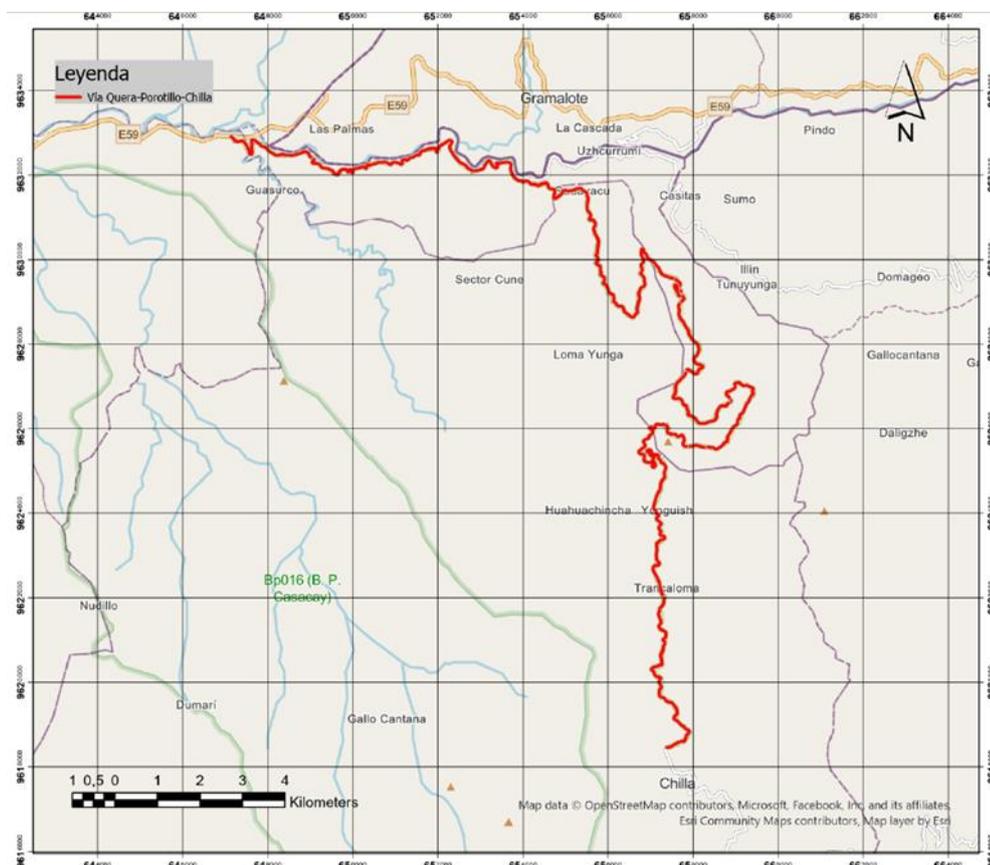


Figura 1: Vía de estudio Quera-Porotillo-Chilla

Sobre la base de los requerimientos de este trabajo se aplicó un enfoque mixto, dado que los tipos de investigación que permitieron llevar a cabo el presente estudio fueron: documental, ya que hace referencia a la búsqueda de información en fuentes como artículos científicos, trabajos de maestría, textos guía, entre otros y, de campo, puesto que se sustenta mediante información proveniente del lugar de estudio, como fichas de observación, cuestionarios, evaluación visual y ensayos de prospección.

Se planteó utilizar como primera variable el estudio del uso del suelo, con el propósito de determinar el nivel de importancia de la vía Quera-Porotillo-Chilla, a través de los resultados que se obtienen del análisis de los diferentes tipos de superficies encontradas en las zonas laterales de la vía, ver tabla 1. Se consideró el análisis de la superficie utilizada para fines agrícolas, industria ligera y residencial unifamiliar en una zona de influencia de 30 metros medida a partir del borde de la vía.

Tabla 1: Categorías del uso del suelo

Categorías de uso del suelo	Descripción
Agrícola	Superficie utilizada con fines agrícolas.
Servicio comercial	Farmacia, peluquería, notaría, cooperativa banco, distribuidora de gas.
Gobierno	GAD, registro de la propiedad, biblioteca, subestación eléctrica, UPC, centro de salud.
Institucional	Unidades educativas.
Industria ligera	Área minera (cantera de materiales pétreos).
Oficina	Oficina de información turística, ministerio de inclusión económica y social.
Recreativo/social	Hotel, parque, iglesia, balneario, cancha deportiva.
Venta minorista	Área comercial minorista.
Residencia unifamiliar	Área con viviendas unifamiliares.
Transporte	Cooperativas y paradas de autobuses.

Para establecer el tipo de fallo de la estructura de pavimento, se deben conocer las características mecánicas del suelo, las cuales se obtienen mediante el ensayo de CBR, siendo este el método que permite cuantificar la capacidad portante del suelo. Las calicatas realizadas en este trabajo de investigación para determinar las características y propiedades del suelo, contaron con dimensiones de 1,50 m x 1,00 m a una profundidad a 1,50 m para realizar los ensayos de laboratorio correspondientes. Estos ensayos son: granulometría, proctor modificado y CBR, con el fin de realizar un análisis comparativo entre los resultados y las especificaciones técnicas establecidas por la normativa MTOP [24] y ASTM D 1883 - 07 [25].

El proceso metodológico se detalla en la tabla 2, donde se inicia la evaluación de la estructura de pavimento a través del análisis de uso de suelo, para lo cual se toman en cuenta indicadores como la importancia de la vía y conectividad vial. Estos indicadores se evalúan mediante criterios como la influencia de las zonas laterales en la carretera y la existencia de conectividad para diferentes sectores con la finalidad de determinar el grado de importancia de cada categoría con la vía. Posteriormente se procede a determinar el estado actual de la carpeta asfáltica mediante el método PCI [12], con el fin de establecer si el pavimento se encuentra en óptimas condiciones. Finalmente, se realizaron dos calicatas en los dos tramos con mayor deterioro según los resultados del PCI, con el propósito de realizar los ensayos correspondientes y así determinar si las fallas son resultado de deterioros superficiales o fallos en la estructura.

Tabla 2: Indicadores para evaluar la estructura de pavimento

Proceso	Indicador	Descripción	Instrumento	Técnica	Criterio
Uso de Suelo	Importancia de la vía	Nivel de importancia de la vía en función de las diferentes variables	Fichas de observación	Observación de campo	Cumple la vía con importancia representativa para el lugar
Método PCI	Condición de la carpeta asfáltica	Estado actual del pavimento	Fichas de observación	Observación de campo, Análisis de contenido	Cumple con un pavimento en óptimas condiciones
Análisis de la estructura de pavimento	Capacidad de la estructura de pavimento	Nivel de resistencia presente en la estructura del suelo	Equipos de laboratorio	Análisis comparativo	Cumple con las especificaciones establecidas por la ASTM

La valoración de los indicadores se llevó a cabo mediante el método multicriterio, empleando fichas de cotejo completadas por profesionales y expertos en el ámbito de suelos y servicio de vialidad, permitiéndoles expresar la importancia relativa que asignan a cada indicador en relación con los demás. Siguiendo la pauta establecida en el artículo de Gadha, Setyawan y Syafi'i [11], se aplicó un enfoque de análisis multicriterio para asignar valores que reflejaran el nivel de importancia de un indicador sobre otro. Estos valores son: uno cuando ambos indicadores presentan igual importancia, tres cuando un indicador es moderadamente importante, cinco cuando es fuertemente importante, siete cuando la importancia es muy fuerte y, finalmente, nueve cuando la importancia es extremadamente fuerte. Con base en estos datos iniciales, se procedió a realizar el proceso analítico jerárquico (AHP) que consiste en la inversa del valor numérico asignado por el especialista hacia cada indicador y así obtener las ponderaciones para cada una de las variables. Finalmente, las valoraciones definitivas de cada indicador se calcularon promediando los valores de los distintos expertos. La tabla 3 detalla las ponderaciones resultantes de cada especialista y presenta la ponderación final.

Tabla 3: Ponderaciones de cada indicador

	Especialista 1	Especialista 2	Especialista 3	Especialista 4	Ponderación Final
Uso de suelo	0,15	0,10	0,10	0,20	0,15
PCI	0,35	0,25	0,21	0,30	0,30
Análisis del suelo	0,50	0,65	0,69	0,50	0,55
TOTAL	1	1	1	1	1

La valoración final de la evaluación de la estructura de pavimento se determina mediante la suma de la ponderación de cada indicador. A través de la tabla 4, que incorpora criterios técnicos fundamentados en la experiencia de los especialistas evaluados en el análisis jerárquico, es posible determinar el estado de la vía. Esta tabla presenta tres categorías de clasificación, lo que permite una evaluación precisa y completa de la estructura del pavimento.

Tabla 4: Evaluación de la estructura de pavimento

Ponderación	Estado de la vía
0,76 - 1	Bueno
0,51 - 0,75	Regular
0 - 0,5	Malo

3. RESULTADOS

Para asignar la ponderación a cada indicador, se contó con la opinión de un grupo cuatro de especialistas. Estos evaluaron los resultados obtenidos en cada proceso y otorgaron calificaciones siguiendo los criterios delineados en la tabla 2. A continuación, se presentan los resultados específicos de cada variable.

En base a los resultados del estudio realizado en una franja de 30 metros a cada lado de la vía, se determinó que el 0,40% representa a las viviendas, el 0,87% a sector agrícola y el 98,73% a zona arbustiva, por lo tanto, el uso de suelo no representa mayor influencia en el flujo del tránsito, debido a que se obtuvo un mayor porcentaje de zona boscosa, por lo tanto, las zonas laterales que están a lo largo de la vía no influyen significativamente en la importancia de la vía. Sin embargo, es la única vía que permite el acceso al cantón Chilla, a la parroquia Uzhcurrumi y otros sectores a lo largo de su recorrido, por lo que es muy importante para el sector, y por esta razón se le otorgó la máxima ponderación de 0,15.

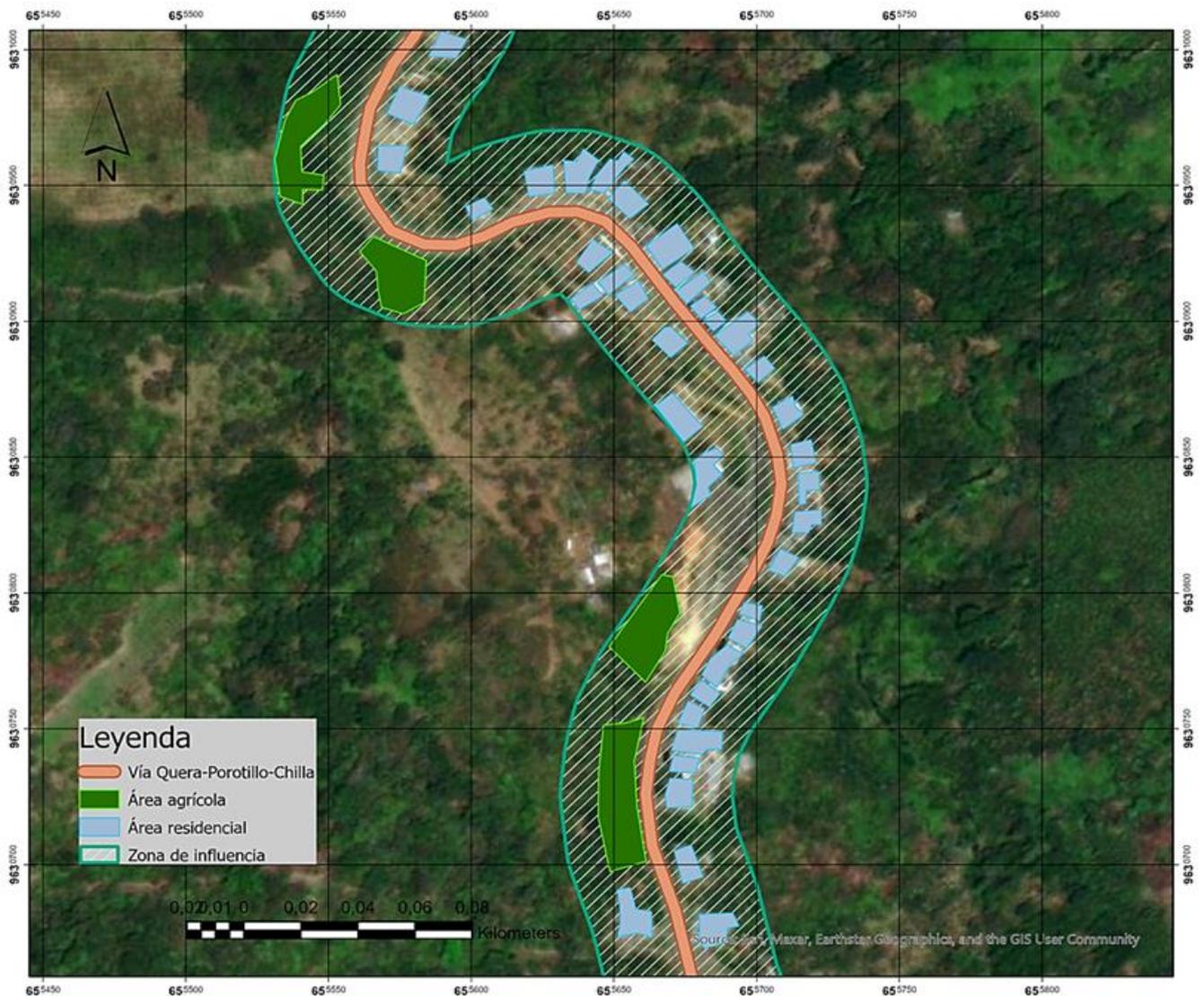


Figura 2: Franja de 30 metros en la vía de estudio

En cuanto a la evaluación PCI, se consideró una longitud de muestra de 50 metros, lo que resulta en una superficie de 315 m², manteniéndose dentro del rango permitido por la ASTM D-6433 [12]. Teniendo en cuenta la longitud de la muestra se determinó que el número total de unidades de muestreo es de 840, además, se utilizó una desviación estándar de 10 y un error admisible de 5%, valores que fueron tomados de la norma ASTM D6433 [12]. Mediante un cálculo matemático se determinaron 16 unidades de muestra a evaluar, con un intervalo de 52 unidades, es decir, cada 2600 metros. Se identificó que el desprendimiento de agregados está presente en todos los tramos de la vía, representando un significativo 80,09 % de la totalidad de las fallas observadas. Por otro lado, la grieta de borde es la falla con menor incidencia, siendo detectada en tan solo un 0,17% de las unidades de muestra. Finalmente, como resultado de la evaluación de PCI se obtuvo un valor de 49,93, lo que indica que el estado de la carpeta asfáltica de la vía Quera-Porotillo-Chilla es considerado "Regular", al encontrarse dentro del rango de 41 a 55. En base a este resultado se le asignó una calificación de 0,15 sobre 0,30, ya que el PCI obtenido representa el 50% de la evaluación total. En la tabla 4, se presentan los tramos evaluados con su respectiva ponderación obtenida de la evaluación PCI, así mismo con su clasificación del pavimento.

Tabla 4: Resultados de la evaluación PCI

Resumen de clasificación de PCI							
Unidad de muestra	Prog. Inicial (km)	Prog. Final (km)	Área (m ²)	Max VDC	(PCI) Calculado	Clasificación del pavimento	Color
M - 01	KM 0+000	KM 0+050	315	65,01	34,99	Malo	Rojo
M - 02	KM 2+650	KM 2+700	315	30,80	69,20	Bueno	Amarillo
M - 03	KM 5+300	KM 5+350	315	71,95	28,05	Malo	Rojo
M - 04	KM 7+950	KM 8+000	315	71,88	28,12	Malo	Rojo
M - 05	KM 10+600	KM 10+650	315	72,27	27,73	Malo	Rojo
M - 06	KM 13+250	KM 13+300	315	47,22	52,78	Regular	Naranja
M - 07	KM 15+900	KM 15+950	315	75,65	24,35	Muy malo	Marrón
M - 08	KM 18+550	KM 18+600	315	15,80	84,20	Muy bueno	Verde claro
M - 09	KM 21+200	KM 21+250	315	10,27	89,73	Excelente	Verde oscuro
M - 10	KM 23+850	KM 23+900	315	13,11	86,89	Excelente	Verde oscuro
M - 11	KM 26+500	KM 26+550	315	34,79	65,21	Bueno	Amarillo
M - 12	KM 29+150	KM 29+200	315	39,31	60,69	Bueno	Amarillo
M - 13	KM 31+800	KM 31+850	315	51,72	48,28	Regular	Naranja
M - 14	KM 34+450	KM 34+500	315	65,03	34,97	Malo	Rojo
M - 15	KM 37+100	KM 37+150	315	93,08	6,92	Fallado	Gris
M - 16	KM 39+750	KM 39+800	315	43,30	56,70	Bueno	Amarillo

Después de llevar a cabo la evaluación del Índice de Condición del Pavimento, se seleccionaron los tramos más deteriorados, específicamente las muestras M-07 y M-15. Esta elección se efectuó con el propósito de llevar a cabo ensayos de prospección y discernir si el deterioro observado se origina en daños superficiales o en la estructura misma del pavimento. Estos tramos fueron identificados como los más críticos durante la evaluación y mediante ensayos de laboratorio basado en las normativas MTOP [24] y ASTM D 1883 – 07 [25], se pudieron determinar las propiedades mecánicas de la estructura del pavimento en la vía Quera-Porotillo-Chilla.

El análisis granulométrico se realizó considerando los diferentes tipos de clasificación para una base y subbase según el MTOP [24], donde establece que la capa de base se puede clasificar como base clase I tipo A, clase I tipo B, clase II, clase III y clase IV. Por otra parte, la clasificación de subbase puede ser clase 1, clase 2 y clase 3. Mediante la realización de ensayos de granulometría, se logró establecer el grado de conformidad de los materiales granulares extraídos de dos puntos específicos en la carretera en cuestión.

En el kilómetro 15+900, a una profundidad de 0,50 metros, los resultados demostraron que el material cumple con los requisitos para ser clasificado como base clase I tipo B ya que el porcentaje del material pasante se encuentra dentro de la curva granulométrica que especifica la normativa MTOP [24], así como también cumple con las condiciones necesarias para pertenecer a la categoría de base clase II. No obstante, al investigar a una profundidad mayor de 1,00 metro, se constató que dicho material no se ajusta a ninguna de las categorías establecidas para los tres tipos de subbase según las especificaciones emitidas por el MTOP, ya que los valores del material pasante no se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa. En el caso del kilómetro 37+100, la muestra recolectada a una profundidad de 0,50 metros no se encontró dentro de los límites estipulados para ser considerada como material granular de base. Sin embargo, el material granular tomado a 1,00 metro de profundidad satisface las condiciones requeridas para ser clasificada en las categorías de clase 1, clase 2 y clase 3 de material de subbase.

A partir de la ejecución del ensayo de proctor modificado, se logró identificar la humedad óptima para las dos muestras de suelo obtenidas en las abscisas previamente mencionadas. Los resultados de este procedimiento arrojaron que, para la primera muestra, a una profundidad de 1,50 metros, la humedad óptima alcanzó un valor de 9,94%, acompañada de una densidad seca máxima de 2,14 gr/cm³. En el caso de la segunda muestra, se determinó una humedad óptima de 19,03%, y una densidad seca máxima de 1,842 gr/cm³. Estos resultados sentaron las bases para la evaluación de la capacidad de soporte del suelo a través del ensayo de California Bearing Ratio (CBR).

Mediante el ensayo CBR, se obtuvo la resistencia que presenta el suelo y la capacidad para soportar cargas del pavimento. Los resultados revelaron que la primera muestra tenía una densidad seca de 1,926 gr/cm³ y un CBR de 41,20% a una compactación del 90%, lo cual la clasifica como subrasante de muy buena calidad, según la ASTM D 1883 – 07 [25]. En cambio, para la segunda muestra se logró determinar una densidad seca de 1,658 gr/cm³ y un CBR de 19,90%. Estos resultados colectivamente contribuyen a la categorización de una subrasante regular, ya que se encuentra posicionada en el intervalo de 10–20% según la escala de clasificación definida por Bowles [26] y expuesta en la tabla 6. Todos estos hallazgos significativos se encuentran presentados de manera más organizada y detallada en la tabla 5, facilitando su comprensión y comparación.

Tabla 5: Valores de CBR y densidad seca

Calicata 1 (1,50 m)	Calicata 2 (1,50 m)
Compactación	Compactación
90 %	90 %
Densidad seca (gr/cm³)	Densidad seca (gr/cm³)
1,926	1,658
CBR %	CBR %
41,20	19,90

Tabla 6: Clasificación del suelo según CBR

CBR (%)	Clasificación
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular
> 20	Subrasante muy buena

Para la ponderación del último indicador, se llevó a cabo un análisis considerando cada una de las capas presentes en la estructura del pavimento. Se asignó una calificación máxima de 0,09 para cada una de las capas: base, subbase y subrasante, en cada punto de muestreo. En el caso de no cumplir con las especificaciones técnicas se otorgará un valor de 0,00. Primero, se evaluaron los resultados de la subrasante, otorgándole un valor de 0,07 a la primera calicata debido a que la muestra fue clasificada como subrasante regular, en cambio, para la segunda muestra se otorgó la máxima calificación de 0,09 ya que la muestra demostró ser de subrasante muy buena. En cuanto a la base, la primera muestra cumplió con los requisitos para ser considerada como tal, lo que se tradujo en un valor de 0,09 y en la segunda muestra se le asignó el valor de 0,00 ya que los resultados se encontraron fuera del rango permitido por el MTOP. Por último, en la clasificación de subbase, la primera muestra no cumplió con la normativa por lo tanto no se le asignó un valor, en cambio la segunda muestra sí cumplió con las especificaciones técnicas, por lo que, se asignó un valor de 0,09. Tras completar el proceso de ponderación para cada capa de la estructura del pavimento, se sumaron los valores resultantes, arrojando un indicador final de 0,34. A continuación, se presenta de manera detallada en la tabla 7 los resultados obtenidos mediante la metodología aplicada.

Tabla 7: Resultados de la evaluación

Indicador	Descripción	Ponderación
Importancia de la vía	Nivel de importancia de la vía en función de las diferentes variables	0,15
Condición de la carpeta asfáltica	Estado actual de la carpeta asfáltica	0,15
Capacidad de la estructura de suelo	Nivel de resistencia presente en la estructura del suelo	0,34
TOTAL		0,64

Según la metodología propuesta, se obtuvo una ponderación de 0,64, lo cual indica, de acuerdo con la tabla 8, que la estructura de pavimento de la vía Quera-Porotillo-Chilla se encuentra en estado regular. Esto se atribuye a las causas que se mencionan en la interpretación de resultados de cada indicador.

Tabla 8: Resultado de la evaluación

Ponderación	Estado de la vía
0,51 – 0,75	Regular

4. CONCLUSIONES

A través de la revisión bibliográfica se han podido identificar métodos empleados en la evaluación de la estructura de pavimento que garanticen un servicio adecuado de vialidad. En este sentido, se propuso la metodología que considera tres indicadores como: uso de suelo, índice de condición de pavimento y análisis de la estructura del pavimento. La valoración de estos indicadores se llevó a cabo mediante un enfoque de método multicriterio, que implicó la participación de profesionales y expertos altamente capacitados en el campo de suelos y servicios viales. Estos especialistas completaron fichas de cotejo diseñadas para expresar la importancia relativa que asignan a cada indicador en comparación con los demás, permitiendo así un análisis exhaustivo y bien fundamentado.

Se determinó la importancia de la vía en función de los resultados obtenidos a través del uso de suelo los cuales indican que, las zonas laterales como agricultura y viviendas tienen cierta influencia en la vía, sin embargo, su impacto no resulta significativo debido a que predominan extensas zonas arbustivas en los alrededores. Por ende, para este trabajo, la relevancia de la vía de estudio radica principalmente en su función de conectividad, al ser la única ruta de acceso al cantón y a diversas localidades circundantes.

Se evaluó la estructura de pavimento usando el método PCI para determinar la condición de la carpeta asfáltica y los ensayos de laboratorio para obtener una comprensión detallada sobre su composición estructural. A través de los resultados obtenidos se menciona que esto servirá como base para la toma de decisiones y aplicar el tipo de mantenimiento adecuado en la vía.

Se analizaron los resultados obtenidos mediante el enfoque multicriterio en la evaluación de la estructura de pavimento, los cuales permitieron establecer un panorama completo y detallado del estado de la carretera, demostrando que la vía Quera-Porotillo-Chilla se encuentra en un estado regular. Esta metodología resultó de gran importancia, ya que a través de los indicadores es posible identificar deficiencias superficiales y estructurales en la vía, lo cual facilita la formulación de propuestas de mejora con el objetivo de asegurar un nivel de servicio adecuado en términos de vialidad.

1. B. H. Paladines, E. J. Oyola, L. O. Carrion, and E. A. Romero, "Análisis geométrico de la rotonda del monumento a la paz en la ciudad de Huaquillas," *Revista Ciencia y Construcción*, vol. 3, no. 4, pp. 21–30, 2022, Accessed: Jan. 24, 2023. [Online]. Available: <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/147/109>
2. J. Y. Nuñez, L. A. Salguero, and F. E. Vera, "Asfalto natural alternativa de rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial del Alto Magdalena Colombia," *Centro Sur*, vol. 4, no. 1, 2020, Accessed: Jan. 27, 2023. [Online]. Available: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/384/3841574005/index.html>
3. C. A. Poveda, "Diseño de estructuras de pavimento flexible y rígido sobre la malla vial del SITP en la localidad de Tunjuelito Calle 55 Sur entre Carreras 19A y 19B con estabilización de subrasante incluyendo material tipo rajón," Universidad Militar Nueva Granada, 2020. Accessed: Mar. 07, 2023. [Online]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/37284>
4. M. Sánchez, R. Lanz, and T. Martínez, "Detection of deterioration in flexible pavements from the processing of images and models of its surface," *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 13, no. 1, 2019, Accessed: Feb. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/1939/193958877006/>
5. O. J. Reyes, M. Mejia, and J. S. Useche, "Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su aplicación en el análisis de pavimentos," *Revista EIA*, vol. 16, no. 31, pp. 189–207, Jan. 2019, doi: 10.24050/reia.v16i31.1215.
6. N. X. Ríos Cotazo, B. Bacca Cortés, E. Caicedo Bravo, and A. Orobio Quiñónez, "Revisión de métodos para la clasificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles," *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 30, no. 2, pp. 109–127, Dec. 2020, doi: 10.18359/rcin.4385.
7. H. González, P. Ruiz, and D. Guerrero, "Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el índice de condición del pavimento (PCI)," *Ciencia en su PC*, vol. 1, no. 4, pp. 58–71, 2019, Accessed: Feb. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358738015/>
8. F. de M. Zevallos and S. Muñoz, "Vista de Los Factores influyentes en la resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles_ Una revisión literaria _ Ciencia Nicolaita," *Ciencia Nicolaita*, vol. 81, pp. 83–99, 2020, doi: <https://doi.org/10.35830/cn.vi81.535>.
9. M. T. Do, V. Cerezo, and C. Ropert, "Questioning the approach to predict the evolution of tire/road friction with traffic from road surface texture," *Surf Topogr*, vol. 8, no. 2, 2020, doi: 10.1088/2051-672X/ab8ba9.
10. A. Silva, O. D. Leguizamón, and L. L. Valiente, "Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión," *Ingeniería Solidaria*, vol. 14, no. 26, Sep. 2018, doi: 10.16925/in.v14i26.2417.
11. F. Gadha, A. Setyawan, and Syafi'i, "System model for physical conditions of road components in Magetan district," *MATEC Web of Conferences*, vol. 195, Aug. 2018, doi: 10.1051/mateconf/201819504005.
12. ASTM, "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys," 2008.
13. S. De La Cruz, C. E. Ibañez, and D. Y. Coaquira, "Determinación de índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú," *Infraestructura Vial*, vol. 24, no. 43, pp. 1–8, May 2022, doi: 10.15517/iv.v24i43.48563.
14. R. R. A. Almuhanha, H. A. Ewadh, and S. J. M. Alasadi, "Using PAVER 6.5.7 and GIS program for pavement maintenance management for selected roads in Kerbala city," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 8, pp. 323–332, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.cscm.2018.01.005.
15. M. Al-Neami, R. Al-Rubae, and Z. Kareem, "Assessment of Al-Amarah street within the Alkut city using pavement condition index (PCI) and GIS technique," *MATEC Web of Conferences*, vol. 162, Mar. 2018, doi: 10.1051/mateconf/201816201033.
16. D. A. Putra and M. Suprpto, "Assessment of the road based on PCI and IRI roadroid measurement," *MATEC Web of Conferences*, vol. 195, Aug. 2018, doi: 10.1051/mateconf/201819504006.
17. J. Cruz and J. Gutiérrez, "Evaluación superficial de vías urbanas empleando vehículo aéreo no tripulado (VANT)," *Métodos y Materiales*, vol. 8, no. 1, pp. 23–32, 2019, doi: 10.15517/mym.v8i1.34113.

18. B. Baque, "Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta.," *Dominio de las ciencias*, vol. 6, no. 2, pp. 203–228, 2020, Accessed: Feb. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.dominiodelasciencias.com/index.php/es/article/view/1163>
19. J. M. Pinatt, M. L. Chicati, J. S. Ildelfonso, and C. R. G. D. arce Filetti, "Evaluation of pavement condition index by different methods: Case study of Maringá, Brazil," *Transp Res Interdiscip Perspect*, vol. 4, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.trip.2020.100100.
20. A. Pescador, C. Prado, and H. Barbosa, "Comparação de métodos de avaliação da condição de pavimentos flexíveis com o auxílio de um SIG-T comparison of evaluation methods of flexible pavement condition with a GIS-T assistance," *Revista CIATEC-UPF*, vol. 10, no. 1, pp. 95–103, 2018, doi: 10.5335/ciatec.v10i1.7297.
21. L. Arriaga, "Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar," *Investigación Ambiental*, vol. 1, no. 1, pp. 6–16, 2009.
22. S. S. Pulugurtha and S. Mathew, "Modeling AADT on local functionally classified roads using land use, road density, and nearest nonlocal road data," *J Transp Geogr*, vol. 93, May 2021, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103071.
23. O. J. Adrianzen, J. J. Azula, C. F. Pacherras, E. D. Rodriguez, and S. P. Muñoz, "Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria," *Infraestructura Vial*, vol. 24, no. 43, pp. 1–16, Feb. 2022, doi: 10.15517/iv.v24i43.47931.
24. Ministerio de Obras Publicas, "ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES," 2002.
25. ASTM, "Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils," 2009. [Online]. Available: www.astm.org,
26. J. E. Bowles, *Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería civil*. 1980.