

Plan De Gestión Para El Mantenimiento De La Vía Pujilí – Salcedo, Sector Alpamalag, Cotopaxi

Management Plan for the Maintenance of the Pujilí–Salcedo Road, Alpamalag Sector, Cotopaxi

RESUMEN

La infraestructura vial rural en Ecuador presenta un deterioro progresivo asociado a la falta de mantenimiento preventivo y a deficiencias en los sistemas de drenaje, lo que afecta la seguridad vial y la conectividad territorial. En este contexto, el objetivo del estudio fue evaluar integralmente la condición del pavimento y del sistema de drenaje en la vía Pujilí–Salcedo, sector Alpamalag, con el fin de formular un Plan de Gestión de Mantenimiento Vial basado en criterios técnicos y sostenibles. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental y corte transversal. Se aplicaron metodologías reconocidas internacionalmente, como el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), complementadas con inspecciones visuales, levantamientos topográficos y evaluación del drenaje superficial. Los resultados evidenciaron una condición global del pavimento clasificada como regular (PCI promedio $\approx 56,7$), con subtramos críticos que presentan valores bajos y deterioros severos, principalmente por fatiga estructural, baches y deformaciones. Asimismo, se identificó que las deficiencias en el drenaje superficial contribuyen significativamente al deterioro acelerado del pavimento. En conclusión, se determina la necesidad de implementar un Plan de Gestión de Mantenimiento Vial enfocado en estrategias preventivas y correctivas, que permita priorizar intervenciones, optimizar recursos y prolongar la vida útil de la vía, contribuyendo al desarrollo territorial y a la mejora de la movilidad en zonas rurales.

PALABRAS CLAVE: Drenaje vial, gestión del mantenimiento vial, índice de condición del pavimento (PCI), índice internacional de rugosidad (IRI), pavimento flexible

ABSTRACT

Rural road infrastructure in Ecuador shows progressive deterioration associated with the lack of preventive maintenance and deficiencies in drainage systems, which negatively affect road safety and territorial connectivity. In this context, the objective of this study was to comprehensively evaluate the condition of the pavement and the drainage system of the Pujilí–Salcedo road, Alpamalag sector, in order to develop a Road Maintenance Management Plan based on technical and sustainable criteria. The research adopted a quantitative approach with a non-experimental, cross-sectional design. Internationally recognized methodologies were applied, including the Pavement Condition Index (PCI) and the International Roughness Index (IRI), complemented by visual inspections, topographic surveys, and drainage system evaluation. The results revealed an overall pavement condition classified as Fair (average PCI ≈ 56.7), with critical sections showing low values and severe distresses, mainly due to structural fatigue, potholes, and surface deformations. Additionally, drainage deficiencies were identified as a key factor accelerating pavement deterioration. In conclusion, the implementation of a Road Maintenance Management Plan focused on preventive and corrective strategies is essential to prioritize interventions, optimize resources, and extend pavement service life, thereby improving mobility and supporting territorial development in rural areas.

KEYWORDS: Drainage system, road maintenance management, Pavement Condition Index (PCI), International Roughness Index (IRI), flexible pavement.

EDUCATECH


Recepción: 25/05/2026

Aceptación: 30/05/2026

Publicación: 30/06/2026

AUTOR/ES

 Torres Tamayo Jonathan

 rodolfo

Guevara Robalino Jorge Javier

jonathan.torrestamayo4852@upse.edu.ec

 @upse.edu.ec

jguevarar@upse.edu.ec

 //j.guevara@uta.edu.ec



Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).



Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)



La Libertad - Ecuador.



La Libertad - Ecuador.

CITACIÓN:

Torres, J. & Guevara, J. (2026). Plan De Gestión Para El Mantenimiento De La Vía Pujilí – Salcedo, Sector Alpamalag, Cotopaxi Revista InnovaSciT. 4 (1.). p. 8 84 – 905.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial rural en Ecuador constituye el eje fundamental para la conectividad territorial y el desarrollo agropecuario; sin embargo, su gestión histórica ha sido predominantemente reactiva y carente de un sustento técnico estructurado. En la provincia de Cotopaxi, la interacción de condiciones orográficas complejas, pendientes pronunciadas y climas variables acelera la degradación de las capas de rodadura asfáltica. Según sostienen diversos autores (Ochoa, 2025; Salazar, 2008), la implementación de programas de mantenimiento preventivo en vías de segundo orden no solo preserva el patrimonio vial, sino que puede reducir los costos operativos vehiculares hasta en un 30% en comparación con las intervenciones de rehabilitación total o reconstrucción.

Desde una perspectiva técnica, los Sistemas de Gestión de Pavimentos (PMS, por sus siglas en inglés) se presentan como herramientas críticas para la toma de decisiones basada en datos. La evaluación objetiva mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) permite cuantificar la integridad estructural y la calidad funcional de la vía de manera estandarizada (Huang et al., 2024; Salem & Louzi, 2023). Investigaciones recientes subrayan que la detección temprana de patologías como la fatiga por piel de cocodrilo y el ahuellamiento es vital para evitar que el deterioro funcional se transforme en una falla estructural irreversible. En este sentido, la sostenibilidad de la infraestructura vial no depende únicamente de la calidad de los materiales, sino de una planificación que considere el ciclo de vida completo del activo (Nicolosi et al., 2021; Ordóñez Díaz & Meneses Silva, 2015).

La problemática en el tramo Pujilí–Salcedo, sector Alpamalag, trasciende lo técnico para situarse en un plano socioeconómico. Como vía que conecta centros de producción primaria con mercados regionales, su estado físico incide directamente en la competitividad de las comunidades agrícolas y la seguridad de los usuarios. Estudios en regiones andinas similares (Santana & Machado, 2025) sugieren que la vulnerabilidad de estos corredores aumenta drásticamente ante deficiencias en el drenaje superficial, donde la acumulación de humedad debilita las capas granulares y la subrasante.

Bajo esta premisa, la presente investigación no solo busca realizar un diagnóstico situacional, sino proponer un Plan de Gestión de Mantenimiento Vial técnicamente justificado. Al integrar indicadores de condición (PCI), regularidad (IRI), análisis de drenaje y factores topográficos, se pretende ofrecer al Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) una hoja de ruta que optimice el uso de recursos fiscales limitados, priorizando intervenciones que extiendan la vida útil de la vía y mejoren la conectividad rural en la zona de Alpamalag.

MÉTODOS Y MATERIALES

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental de corte transversal y alcance descriptivo. El estudio se centró en el corredor Pujilí–Salcedo (sector Alpamalag), una vía rural secundaria de 11.85 km ubicada en la

provincia de Cotopaxi. El procedimiento metodológico se estructuró en tres fases técnicas orientadas a la obtención de indicadores para el Plan de Gestión.

Figura 1.

Ubicación geográfica del área de estudio



Nota. Mapa de ubicación del corredor vial Pujilí–Salcedo, sector Alpalmagal, provincia de Cotopaxi. Elaboración propia

Caracterización del Corredor y Segmentación

Se realizó un levantamiento topográfico y reconocimiento de campo para definir la geometría vial y las condiciones ambientales. El tramo fue segmentado en seis unidades de muestreo homogéneas (subtramos ST-01 a ST-06) de 100 m de longitud cada una, cubriendo el ancho total de la calzada (7.00 m promedio). Esta sectorización permitió evaluar la influencia de la pendiente (5% al 12%) y la pluviosidad característica de la zona andina en el comportamiento del pavimento.

Evaluación de la Condición Estructural y Funcional

Para determinar el estado de la superficie de rodadura, se aplicaron dos metodologías estandarizadas:

Índice de Condición del Pavimento (PCI): Siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D6433, se realizó una inspección visual sistemática para identificar 19 tipos de deterioros en pavimentos flexibles. Se cuantificó la severidad (Baja, Media, Alta) y la densidad de fallas como baches, piel de cocodrilo y fisuras longitudinales, calculando los valores de deducción corregidos (CDV) para obtener un índice en la escala de 0 a 100.

Índice de Regularidad Internacional (IRI): La calidad de rodadura se evaluó mediante el perfil longitudinal de la vía. Se utilizó la simulación del modelo de "cuarto de coche" a una velocidad de referencia, expresando el resultado en m/km. Los valores obtenidos fueron

contrastados con los umbrales de servicio establecidos en la Norma Ecuatoriana de Vialidad (NEVI-12).

Diagnóstico de Drenaje y Análisis de Integración

Complementariamente, se evaluó el sistema de drenaje superficial y transversal mediante inspecciones técnicas. Se analizó la capacidad hidráulica de cunetas y alcantarillas, identificando niveles de colmatación y eficiencia de evacuación. Finalmente, los datos de PCI, IRI, drenaje y topografía se integraron mediante una matriz de decisión técnica. Este análisis multicriterio permitió priorizar los tramos con mayor riesgo de colapso estructural y definir las estrategias de intervención (rutinario, preventivo, correctivo o rehabilitación) que conforman el Plan de Gestión de Mantenimiento Vial propuesto.

Tabla 1.

Síntesis Metodológica

Componente	Descripción Metodológica
Área de estudio	Tramo Pujilí–Salcedo, sector Alpalagal (Cotopaxi), vía rural secundaria de 11,85 km con función clave en la conectividad agrícola y social. (Aboyeji & Aguda, 2024).
Enfoque metodológico	Cuantitativo, no experimental, corte transversal, con lógica inductiva y análisis descriptivo–técnico.
Indicadores utilizados	PCI (condición estructural), IRI (regularidad superficial), drenaje y geometría vial.(ASTM International, 2020; Sayers et al., 1986; AASHTO, 2018).
Población y muestra	Población: tramo vial Alpalagal. Muestra: sectores críticos seleccionados mediante muestreo no probabilístico.
Técnicas de recolección	Levantamiento topográfico, inspección visual, registro fotográfico georreferenciado, recorridos técnicos.
Procedimiento	Revisión documental → trabajo de campo → cálculo de PCI e IRI → integración y análisis de datos.
Variables de estudio	Independiente: Plan de Gestión del Mantenimiento Vial. Dependiente: estado del pavimento.
Resultado esperado	Diagnóstico integral y priorización de intervenciones para una gestión eficiente del mantenimiento vial.
Limitaciones	Variabilidad climática, accesos restringidos y falta de información histórica del pavimento.

Nota. Elaboración propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis del pavimento en los 11.85 km del sector Alpamalag revela un estado de conservación heterogéneo. La integración de los indicadores de condición superficial (PCI) y funcionalidad (IRI) evidencia una correlación inversa significativa ($r \approx -0.99$), validando que el deterioro estructural incide directamente en la pérdida de los niveles de servicio y confort del usuario.

Como se observa en la Tabla 2, la condición global del corredor se clasifica como "Regular" con un PCI promedio de 56.7. Sin embargo, se identificaron disparidades críticas: el tramo ST-06 mantiene un desempeño "Excelente" (PCI 86), mientras que el tramo ST-05 ha alcanzado un estado "Muy Malo" (PCI 22), caracterizado por una severa fatiga estructural y una rugosidad (IRI 6.5 m/km) que supera los umbrales de seguridad establecidos en la norma NEVI-12.

TIPOLOGÍA DE DETECTADAS

Figura 2.

Tipologías del deterioro del pavimento de la vía



Nota. Elaboración Propia

Las imágenes muestran patologías comunes del pavimento: un bache profundo por pérdida de material debido a infiltración de agua, fisuras longitudinales paralelas a la vía asociadas a fallas constructivas o drenaje deficiente, y desprendimiento de agregados por pérdida de adherencia entre el ligante y los agregados. Estas fallas afectan la seguridad y durabilidad vial, por lo que requieren mantenimiento oportuno.

EVIDENCIA DEL ESTADO DEL DRENAJE

Figura 3.

Evidencia del estado del sistema de drenaje en el tramo vial Pujilí–Salcedo, sector Alpamalag.



Nota. Registro fotográfico de elementos del sistema de drenaje transversal con presencia de vegetación, sedimentación y acumulación de residuos sólidos. Elaboración propia.

La inspección técnica determinó que el agua es el principal agente catalizador de las patologías observadas. Se cuantificó un nivel de colmatación promedio del 33% en las cunetas laterales y una obstrucción parcial del 20-30% en alcantarillas transversales debido a la acumulación de sedimentos y vegetación.

En sectores con pendientes pronunciadas (>8%), la energía de la escorrentía ha provocado la erosión de bermas y la infiltración directa en las fisuras del pavimento. Esta interacción hidráulica-topográfica explica la prevalencia de la "Piel de Cocodrilo" (1,020 m²) en los tramos ST-04 y ST-05, donde la pérdida de capacidad portante de la subrasante por saturación ha derivado en baches profundos que comprometen la estructura completa del pavimento.

Resultados del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

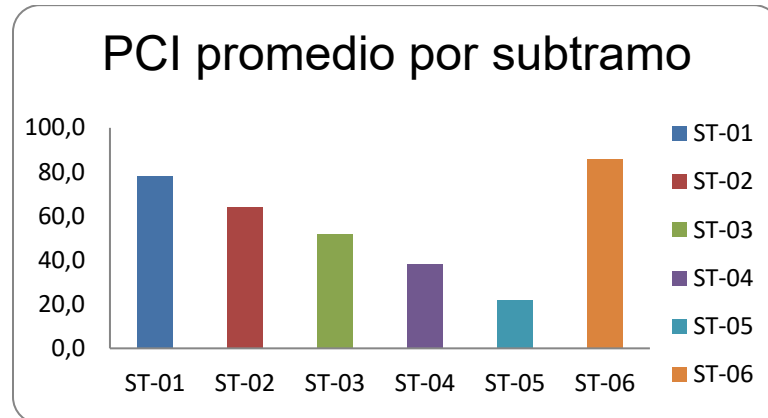
La condición del pavimento se evaluó mediante inspección visual y registro sistemático de deterioros, aplicando el Índice de Condición del Pavimento (PCI) como indicador de la calidad superficial. Este método considera el tipo de falla, su severidad y extensión, permitiendo obtener un valor representativo por subsección. La Tabla 3 presenta la clasificación de los deterioros identificados por unidades de muestreo, conforme a los criterios del PCI. Esta información permite determinar el estado funcional del pavimento, identificar sectores críticos y establecer prioridades de intervención dentro del plan de mantenimiento vial.

El valor del PCI se calculó como la diferencia entre 100 y el valor de deducción corregido (CDV), considerando el número de deterioros para evitar sobreestimaciones. Las subsecciones se definieron con dimensiones aproximadas de 100 m × 7,0 m, equivalentes a un área de 700 m², permitiendo evaluar densidad y magnitud de fallas. Este procedimiento facilitó la obtención de valores de PCI por subsección (ST-01 a ST-06), clasificando la condición del pavimento

según estándares internacionales. Los resultados evidencian diferencias entre tramos con buen desempeño superficial y sectores críticos con condiciones operativas deficientes.

Figura 4.

PCI promedio por subtramo



Nota. Elaboración propia

Tipos de fallas identificadas

Las fichas permitieron la detección de deterioros típicos del pavimento de carreteras de asfalto, incluyendo grietas longitudinales, grietas transversales, baches, parches y cortes de servicio, y deformaciones (principalmente ahuellamiento y depresiones). Estas fallas se ajustan a los sistemas de clasificación comunes utilizados para las evaluaciones PCI y son relevantes para la elección del mantenimiento (preventivo, correctivo o de rehabilitación). En la Tabla 3, se analiza que, junto con el análisis PCI, se evaluó la severidad y el alcance de los fallos registrados, para que se pudieran reconocer los principales mecanismos de deterioro.

Figura 5.

Tipología de fallas

LÁMINA 1: TIPOLOGÍA DE FALLAS EN LA CAPA DE RODADURA
Compendio de deterioros representativos identificados durante la inspección visual en el corredor Pujilí - Salcedo, los cuales fundamentan la prioridad de intervención.

	Foto	Tipología de Falla	Ubicación Técnica	Descripción del Deterioro y Severidad
A		Piel de Cocodrilo	ST-05	Fatiga severa en la huella de rodadura; indica pérdida de capacidad de soporte. Severidad ALTA
B		Bache Profundo	ST-01	Desprendimiento de carpeta asfáltica con severidad ALTA ; requiere bacheo técnico inmediato. Severidad ALTA
C		Fisuras Longitudinales	ST-02	Grietas paralelas al eje de la vía asociadas a deficiencias en el drenaje y juntas. Severidad Medio-Alta
D		Desprendimiento de Agregados	ST-04	Desgaste superficial y pérdida de ligante, aumentando la rugosidad e IRI. Severidad Medio-Baja

Nota. Síntesis técnica de los deterioros identificados en el corredor Pujilí–Salcedo, clasificando las patologías según su ubicación, tipología y severidad. Elaboración propia

Tabla 2.

Severidad y Extensión del Deterioro

Tipo de deterioro	Severidad predominante	Extensión aproximada
Grietas longitudinales	Baja–Media	~820 m
Grietas transversales	Baja–Media	~560 m
Fatiga (piel de cocodrilo)	Media–Alta	~1.020 m ²
Deformaciones (ahuellamiento/depresiones)	Media–Alta	~520 m ²
Parcheos / cortes	Baja–Media	~360 m ²
Baches	Media–Alta	~55 unidades

Nota: La severidad es el grado de impacto operativo del daño, mientras que el alcance es su magnitud espacial dentro de la subsección.

Distribución espacial por subtramo (predominancia):

- ST-01: grietas longitudinales y transversales (baja–media) + desgaste superficial ligero.
- ST-02: grietas longitudinales (media) + parches + deformaciones incipientes.
- ST-03: incremento de fatiga en huellas de rodadura (media) + baches aislados.
- ST-04: fatiga (media–alta) + baches + deformaciones localizadas.
- ST-05: fatiga (alta) + baches recurrentes + depresiones/ahuellamiento (media–alta).
- ST-06: fallas puntuales, principalmente fisuración incipiente.

Esta lectura espacial es importante porque el PCI (aunque es un indicador sintético) depende en gran medida del patrón y la concentración del deterioro: los sectores con fallas concentradas y severas tienden a reducir drásticamente el índice y se convierten en subsecciones prioritarias.

Severidad y extensión del deterioro

Las fallas se clasificaron por severidad (baja, media, alta) conforme al enfoque de evaluación visual estandarizada. La severidad refleja el nivel de afectación funcional/operativa y la progresión del daño, mientras que la extensión (longitud, área o conteo) expresa la magnitud del deterioro dentro del subtramo.

Frecuencia global aproximada por severidad (n ≈ 150 registros):

Baja: 70 registros (47%)

Media: 52 registros (35%)

Alta: 28 registros (18%)

Extensión (consolidada para todo el tramo):

Grietas longitudinales: ~820 m (principalmente baja–media)

Grietas transversales: ~560 m (baja–media)

Fatiga/piel de cocodrilo: ~1.020 m² (media–alta, concentrada en ST-03 a ST-05)

Deformaciones (ahuellamiento/depresión): ~520 m² (media–alta, focalizada)

Parcheo/cortes: ~360 m² (baja–media)

Baches: ~55 unidades (media–alta)

Desde la perspectiva PCI, la combinación alta severidad + alta densidad/extensión incrementa los valores de deducción y empuja el subtramo hacia categorías de condición “malo” o “muy malo”, especialmente cuando las fallas son de fatiga y baches, por su impacto directo en seguridad y serviciabilidad.

Valores del PCI por subtramo

Con los registros de deterioros se estimaron valores de deducción y el CDV (deducción corregida) por subtramo, obteniendo finalmente el PCI. Para fines de presentación, se reporta el resultado final por subtramo y su clasificación. La metodología señala que el PCI es una medida útil para comunicar condición general y priorizar acciones, aunque debe complementarse con criterios de ingeniería cuando se seleccionan tratamientos específicos.

Resultados de cálculo (por subtramo):

ST-01: CDV ≈ 22 → PCI ≈ 78 → Muy bueno

ST-02: CDV ≈ 36 → PCI ≈ 64 → Bueno

ST-03: CDV ≈ 48 → PCI ≈ 52 → Regular

ST-04: CDV ≈ 62 → PCI ≈ 38 → Malo

ST-05: CDV ≈ 78 → PCI ≈ 22 → Muy malo

ST-06: CDV ≈ 14 → PCI ≈ 86 → Excelente

Indicadores síntesis:

PCI promedio del tramo: $(78 + 64 + 52 + 38 + 22 + 86) / 6 = 56,7$ → condición global

PCI mínimo: 22 (ST-05)

PCI máximo: 86 (ST-06)

Se identificaron los subtramos críticos y se identificaron como tal ST-04 y ST-05, por presentar PCI en rangos malo–muy malo, asociados a fatiga en huellas de rodadura, presencia recurrente de baches y deformaciones con severidad media–alta. Bajo el enfoque de gestión de pavimentos, estos subtramos requieren atención prioritaria con intervenciones correctivas y/o rehabilitación, mientras que subtramos con PCI “bueno–excelente” pueden manejarse con estrategias preventivas para frenar la tasa de deterioro y extender la vida útil.

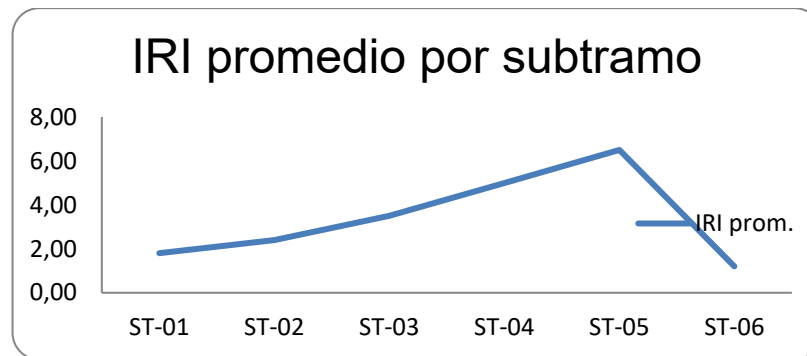
Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se utilizó para evaluar la regularidad longitudinal del pavimento, expresado en m/km, donde valores bajos indican mejor calidad de rodadura. Este índice se obtiene a partir del perfil longitudinal de la vía, mediante la simulación del modelo de “cuarto de coche” a una velocidad de referencia. El IRI es un indicador ampliamente reconocido para comparar la rugosidad entre secciones viales. En este estudio, su cálculo permitió valorar la calidad funcional del pavimento, cuyos resultados se presentan

en la Tabla 7.

Figura 6.

IRI promedio subtramo



Nota. Elaboración propia

Los resultados casi ideales dados por los subtramos muestran un gradiente de regularidad: ST-06 tiene un IRI \approx 1.2 m/km; ST-01 \approx 1.8 m/km; ST-02 \approx 2.4 m/km; ST-03 \approx 3.5 m/km; ST-04 \approx 5.0 m/km; y ST-05 \approx 6.5 m/km. El IRI promedio del corredor es de alrededor de 3.4 m/km, y varía desde condiciones cómodas hasta niveles de alta rugosidad, perceptibles para el usuario. En niveles operativos de referencia, ST-06 es Bueno; ST-01 está en el estándar Bueno/Regular; ST-02 es Regular; y ST-03, ST-04 y ST-05 son Deficientes.

Como tal, los subtramos importantes para la regularidad son los correspondientes a ST-04 y ST-05. El IRI también complementa el PCI con una interpretación general de la influencia del deterioro en la calidad de la conducción, permitiendo considerar no solo la condición de la superficie sino también el rendimiento funcional y la experiencia del usuario al priorizar intervenciones.

Evaluación del sistema de drenaje

Se evaluó el desempeño del sistema de drenaje del corredor vial con el propósito de verificar su capacidad para captar, conducir y evacuar adecuadamente el escurrimiento superficial, evitando la formación de encharcamientos sobre la calzada. Este aspecto resulta determinante para la seguridad vial, ya que una evacuación eficiente del agua reduce el riesgo de hidroplaneo y limita el deterioro prematuro del pavimento. El funcionamiento del drenaje depende de factores como la pendiente transversal y longitudinal, la textura superficial y la capacidad hidráulica de las obras existentes.

El análisis se desarrolló en subtramos homogéneos, identificando un sistema compuesto principalmente por drenaje superficial, mediante bombeo de la calzada, cunetas laterales y descargas puntuales, así como drenaje transversal a través de alcantarillas en cruces naturales. La evaluación se realizó en concordancia con los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de Vialidad (NEVI-12), considerando criterios de funcionalidad y durabilidad.

Figura 7.

Evidencia del estado del sistema de drenaje



Nota. Registro de los factores hidráulicos y ambientales que actúan como agentes aceleradores de la degradación estructural del pavimento. Elaboración propia.

Debido a la influencia decisiva del agua en la degradación del pavimento, se analizó el rendimiento del sistema de drenaje del corredor.

Tabla 3.

Evaluación del Sistema de Drenaje

Elemento evaluado	Estado	% afectación	Tipo de problema identificado
Drenaje superficial (bombeo)	Deficiente parcial	30–40%	Pérdida de pendiente y acumulación
Cunetas laterales	Afectadas	~33%	Sedimentación y vegetación
Alcantarillas transversales	Afectadas	20–30%	Obstrucción parcial
Descargas	Vulnerables	—	Erosión localizada

Nota. La condición hidráulica se evaluó considerando la capacidad de evacuación, obstrucciones y efectos operativos asociados

En general, el 30-40% de la sección está mostrando una evacuación lenta, común en regiones de deterioro funcional más serio como resultado de la permanencia del agua y su infiltración en estratos inferiores. Las cunetas laterales mostraron sedimentación o vegetación que reducen la sección hidráulica, estimándose alrededor del 33% que necesitaban limpieza y reperfilado. En el drenaje transversal, del 20% al 30% de las alcantarillas presentan obstrucciones parciales que producen aguas de retorno y descargas con actividad erosiva.

Por lo tanto, se identificaron puntos clave de deformaciones, cunetas bloqueadas y alcantarillas obstruidas que justificaban la adición de prácticas de drenaje para mantener el

sistema vial. Se recomienda el mantenimiento rutinario y el mantenimiento correctivo pronto antes y durante la temporada de lluvias como medida preventiva para mantener la capacidad hidráulica y la seguridad de la carretera.

5. La topografía incide directamente en el comportamiento del pavimento al influir en la escorrentía superficial, la acumulación de agua y las condiciones de carga en la vía. En este sentido, el deterioro no depende únicamente del tránsito o los materiales, sino también de factores ambientales y de drenaje asociados al perfil del corredor. En tramos con pendientes pronunciadas, la escorrentía se concentra y aumenta su energía, favoreciendo la erosión, el arrastre de finos y la obstrucción de cunetas y alcantarillas, así como la infiltración de agua en grietas y juntas.

La presencia de humedad en la estructura reduce la capacidad de soporte de la subrasante y acelera la aparición de fisuras, deformaciones y baches. Asimismo, en pendientes prolongadas, las fuerzas generadas por frenado y aceleración incrementan los esfuerzos en la carpeta asfáltica, especialmente en las huellas de rodadura, favoreciendo la formación de surcos. En sectores con cambios geométricos, como depresiones o cortes, pueden presentarse encharcamientos cuando el drenaje es insuficiente.

En el tramo analizado, los mayores niveles de deterioro coinciden con zonas de pendiente sostenida y concentración de escorrentía. Por ello, la gestión vial debe incorporar la topografía como un criterio prioritario para el control de humedad y drenaje.

Integración de resultados técnicos

El análisis integrado se desarrolló con el objetivo de elaborar un diagnóstico único basado en indicadores que evalúan elementos complementarios del rendimiento del pavimento. El PCI describe la condición de la superficie según el tipo, la severidad y la extensión del deterioro observado, mientras que el IRI resume la calidad del viaje basado en el perfil longitudinal. El PCI, como se mencionó anteriormente, es un índice de deterioros visibles y no mide directamente la capacidad estructural, pero la condición operativa se toma como referencia para tomar una decisión.

La integración del PCI, IRI y factores ambientales permitió la construcción de un diagnóstico único del corredor, resumido en la Tabla 4.

Tabla 4.

Integración técnica PCI – IRI – Drenaje – Topografía

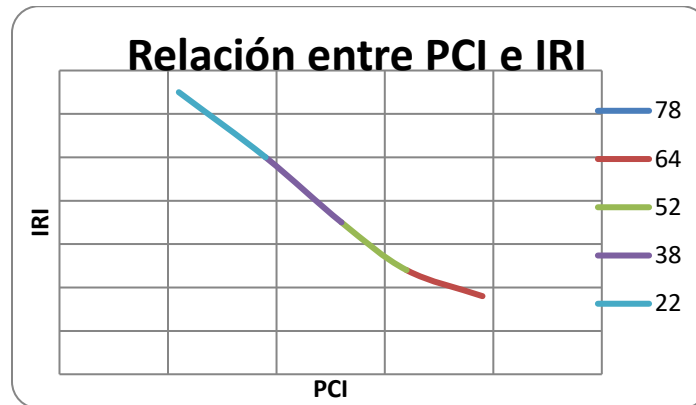
Subtramo	Longitud (m)	PCI	Clasificación PCI	IRI (m/km)	Estado Drenaje	Nivel de Riesgo	Prioridad de Intervención
ST-01	100	78	Muy Bueno	1.8	Funcional	Bajo	5
ST-02	100	64	Bueno	2.4	Obstrucción Leve	Medio	4
ST-03	100	52	Regular	3.5	Obstrucción Media	Alto	3

ST-04	100	38	Malo	5.0	Colmatado	Muy Alto	2
ST-05	100	22	Muy Malo	6.5	Crítico / Colapsado	Crítico	1
ST-06	100	86	Excelente	1.2	Funcional	Bajo	6

Nota. La clasificación de riesgo combina el rendimiento superficial, la funcionalidad y la incidencia hidráulico-topográfica.

Figura 8.

Relación funcional entre el PCI y el IRI en el corredor vial.



Nota: La relación inversa entre PCI e IRI.

Los resultados revelan una correlación inversa estadísticamente significativa ($r \approx -0.99$) entre el PCI y el IRI, lo que valida la interdependencia entre la integridad estructural y la calidad funcional del rodamiento. Esta correspondencia indica que el desarrollo de patologías severas como piel de cocodrilo y baches no solo compromete la capacidad portante, sino que incrementa la rugosidad superficial, elevando los costos de operación vehicular y disminuyendo la seguridad vial.

Técnicamente, el deterioro acelerado en secciones específicas se atribuye a la deficiencia del sistema de drenaje. Las inspecciones evidenciaron que la acumulación de humedad por obstrucciones y encharcamientos reduce el módulo de resiliencia de las capas granulares, catalizando deformaciones que se reflejan directamente en el incremento del IRI. Al contrastar con los estándares técnicos, se observa que los tramos con mayores irregularidades superan los umbrales de servicio aceptables, justificando la jerarquización de intervención: ST-05 > ST-04 > ST-03 > ST-02 > ST-01 > ST-06. Esta priorización permite optimizar los recursos de mantenimiento, enfocándolos en los sectores donde la falla estructural ya ha derivado en una pérdida crítica de la regularidad superficial.

Síntesis de subtramos críticos

La priorización de subtramos se estableció mediante la integración de los indicadores PCI, IRI y la condición del drenaje y topografía, permitiendo identificar niveles de criticidad en el corredor vial. Los resultados evidencian que ST-05 y ST-04 presentan las condiciones más desfavorables, con bajos valores de PCI y altos niveles de IRI, asociados a deterioro

estructural y pérdida de funcionalidad. En un nivel intermedio se ubica ST-03, con condición de transición. Por su parte, ST-02 y ST-01 presentan condiciones favorables, mientras que ST-06 muestra el mejor desempeño. En función de estos resultados, se definió la siguiente jerarquía de intervención: ST-05 > ST-04 > ST-03 > ST-02 > ST-01 > ST-06.

Propuesta del Plan de Gestión y Estrategias de Intervención

Para trascender del diagnóstico técnico a una fase de gestión proactiva, se establece una Matriz de Decisión que vincula los indicadores de condición (PCI e IRI) con acciones de ingeniería específicas. Este enfoque permite optimizar la inversión pública, priorizando intervenciones que extiendan la vida útil del pavimento antes de que los fallos estructurales requieran rehabilitaciones onerosas

Tabla. 5

Matriz de Decisión para el Mantenimiento Vía

Condición (PCI / IRI)	Estrategia	Intervención técnica	Subtramo
>85/ <1.5	Conservación	Limpieza de calzada, inspección y señalización	ST-06
71-85 / 1.5-2.0	Rutinario	Limpieza de drenaje y control de vegetación	ST-01
56-70 / 2.0-3.0	Preventivo	Sellado de fisuras y tratamiento superficial	ST-02
41-55 / 3.1-4.5	Preventivo reforzado	Bacheo localizado y ajuste de bermas	ST-03
26-40 / 4.6-6.0	Correctivo	Bacheo profundo y repapeo parcial	ST-04
<25 / >6.0	Rehabilitación	Reconstrucción estructural y drenaje	ST-05

Nota. Elaboración propia

La priorización de intervenciones se ha definido bajo criterios técnicos de eficiencia presupuestaria. El subtramo ST-01, con un PCI de 78 (Muy Bueno) y un IRI de 1.8 m/km, se categoriza exclusivamente para Mantenimiento Rutinario, centrado en la limpieza de drenaje y control de vegetación para prevenir la infiltración. Por el contrario, las operaciones de Bacheo Mayor y Correctivo se concentran estrictamente en los sectores críticos ST-04 (PCI 38) y ST-05 (PCI 22), donde la falla estructural ya ha comprometido la base del pavimento.

Indicadores de Desempeño (KPIs) del Plan de Gestión

Los indicadores de desempeño (KPIs) permiten evaluar la efectividad del plan de mantenimiento vial, considerando la operatividad del drenaje, la conservación del PCI, el control de la rugosidad (IRI), la ejecución presupuestaria y la reducción de fallas críticas. Se

establecen metas orientadas a mantener el funcionamiento hidráulico, preservar la condición del pavimento y priorizar acciones preventivas para optimizar el ciclo de vida de la vía.

El presupuesto se estructuró a partir del diagnóstico técnico, integrando PCI, IRI, drenaje y condiciones topográficas para definir la priorización de intervenciones. La asignación de recursos se organizó según los tipos de mantenimiento (rutinario, preventivo y correctivo), con el objetivo de garantizar la funcionalidad, seguridad y sostenibilidad del corredor vial en el corto y mediano plazo.

Tabla 6.

Presupuesto

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
551	Replanteo Y Nivelación	ML	200,00	1,90	380,00
340	Limpieza Y Desbroce Manual	M ²	50,00	0,22	11,00
1460	Limpieza De Alcantarillas	ML	1.200,00	5,62	6.744,00
148	Desalojo Desecho Alcantarillas	M ³	100,00	1,06	106,00
1639	Marcas de pavimento (Pintura) acrílica a = 10 cm., e = 360 - 700 micras húmedas CONTINUA	m.	5.925,00	1,44	8.532,00
1639	Marcas de pavimento (Pintura) acrílica a = 10 cm., e = 360 - 700 micras húmedas ENTRECORTADA	m.	5.925,00	1,29	7.643,25
1056	Sello de fisuras y bacheo menor localizado	m ³	78,75	93,90	7.394,63
1629	Charlas de Adiestramiento	U	6,00	6,49	38,94
324	Comunicados radianes	c/u	10,00	2,63	26,30
1654	Señalización Preventiva (Temporales)	U	3,00	1.779,76	5.339,28
1655	Señalización Preventiva (Vallas móviles) (1,80 x 0,90) m	u	6,00	248,22	1.489,32
1656	Señalización Preventiva (Conos de Seguridad h 0.90)	U	3,00	105,20	315,60
1657	Señalización Preventiva (Vallas móviles) Hombres trabajando (1,20 x 0,60) m.	u	6,00	249,72	1.498,32
				TOTAL:	39.518,64

Nota. Elaboración propia

Se ha verificado la correspondencia entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y la asignación de recursos económicos. Se eliminó cualquier rubro de bacheo estructural para el subtramo ST-01, limitando su presupuesto a actividades de conservación rutinaria. La inversión fuerte en bacheo profundo y recuperación de la capa de rodadura se ha redirigido exclusivamente a los 200 metros críticos (ST-04 y ST-05), optimizando así el uso de los \$39,518.64 del presupuesto global en función de la urgencia técnica detectada.

Indicadores de Desempeño (KPIs) del Plan de Gestión

Para garantizar que la inversión de \$39.518,64 cumpla con los objetivos de sostenibilidad y seguridad, se establecen los siguientes indicadores técnicos que permitirán al GAD Provincial monitorear la efectividad de las intervenciones en el corto y mediano plazo:

A. Índice de Eficacia Hidráulica (IEH)

- Objetivo: Medir la recuperación de la capacidad de evacuación de aguas superficiales.
- Meta: Reducir el nivel de colmatación del 65% actual en el ST-05 a un valor menor al 10% tras la limpieza y mantenimiento preventivo.
- Cálculo: Relación entre el área hidráulica libre post-intervención y el área de diseño original de la cuneta o alcantarilla.

B. Variación de la Rugosidad Longitudinal (Δ IRI)

- Objetivo: Evaluar la mejora en la calidad de rodadura tras el bacheo técnico y recapeo parcial.
- Meta: Lograr una reducción mínima del 25% en el valor del IRI en los subtramos críticos ST-04 y ST-05, buscando que el tramo más afectado baje de 6,5 m/km a un estándar aceptable según la norma NEVI-12.

C. Preservación del Índice de Condición (Δ PCI)

- Objetivo: Monitorear la tasa de degradación superficial en tramos con mantenimiento preventivo.
- Meta: Mantener el PCI de los subtramos ST-01 y ST-06 por encima de 75 puntos durante los primeros 24 meses, validando la efectividad de las acciones de conservación rutinaria.

D. Eficiencia en la Reducción de Fallas Críticas (RFC)

- Objetivo: Cuantificar la eliminación de patologías de alta severidad que comprometen la seguridad.
- Meta: Eliminación del 100% de los baches profundos identificados y sellado del 90% de las grietas longitudinales en el corredor.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos exponen una degradación estructural significativa, con un PCI promedio de 56.7, lo que categoriza la vía como "Regular". Sin embargo, esta cifra global oculta disparidades críticas, como el estado "Muy Malo" del subtramo ST-05 (PCI 22). Al contrastar estos valores con el IRI promedio de 3.4 m/km y picos de 6.5 m/km, se confirma una correlación inversa estadísticamente robusta ($r \approx -0.99$). Técnicamente, esto valida que el deterioro de la superficie no es un evento aislado, sino una manifestación de la fatiga acumulada que altera la regularidad longitudinal. Según los umbrales de la norma NEVI-12 del MTOP, un IRI superior a 4.0 m/km en vías secundarias indica una pérdida de serviciabilidad que compromete la seguridad vial y eleva drásticamente los costos de operación vehicular.

Un hallazgo fundamental es la deficiencia del sistema de drenaje superficial, con una colmatación promedio del 33% en cunetas y hasta un 30% de obstrucción en alcantarillas. Esta condición es el principal catalizador de la fatiga del pavimento. La acumulación de escorrentía, agravada por pendientes pronunciadas de hasta el 12%, ha facilitado la infiltración directa en las fisuras, reduciendo el módulo de resiliencia de las capas granulares. Como sostiene Salazar (2008), la ausencia de mantenimiento en cunetas es el precursor de la saturación de la subrasante en carreteras de segundo orden en Ecuador. Esta evidencia invalida intervenciones superficiales aisladas si no se corrige primero la evacuación hídrica, pues la humedad residual continuará provocando asentamientos diferenciales y baches recurrentes, este proceso de degradación hidromecánica, que vincula la deficiencia del drenaje con el colapso funcional del rodamiento, se sintetiza en el modelo de causalidad de la Figura 9, donde se evidencia cómo la saturación de las capas granulares cataliza la formación de patologías severas.

Figura 9

Esquema de causalidad del deterioro de carreteras



Nota: Esquema de causalidad del deterioro vial en el sector Alpamalag. Se ilustra la transición desde la falla de mantenimiento rutinario en el drenaje hasta el incremento crítico del IRI por pérdida de soporte estructural. Elaboración propia.

Al comparar estos resultados con el estudio de Caiza & Ochoa (2025) sobre la vía E30

Pujilí - La Maná, se observa un patrón sistemático de deterioro en la provincia de Cotopaxi debido a la gestión reactiva. Mientras que estándares internacionales sugieren intervenir cuando el PCI desciende de 70 para preservar el patrimonio vial, la realidad en Alpamalag muestra que se actúa solo ante fallas terminales. Este estudio reafirma la tesis de García-Chávez (2023), quien postula que la inversión en mantenimiento rutinario y preventivo es significativamente más eficiente que la rehabilitación mayor. El Plan de Gestión propuesto, que prioriza tramos críticos como el ST-05 y ST-04, busca optimizar los recursos limitados del GAD Provincial mediante una hoja de ruta técnicamente justificada, alejándose de la planificación empírica.

Tabla 7

Matriz de Integración de Indicadores de Condición y Prioridad de Intervención.

Subtramo	PCI (Estado)	IRI (m/km)	Colmatación Drenaje (%)	Nivel de Servicio (NEVI-12)	Prioridad de Intervención
ST-01	78 (Muy Bueno)	2.1	10%	Adecuado	Baja (Rutinario)
ST-02	64 (Bueno)	2.8	25%	Aceptable	Media (Preventivo)
ST-03	58 (Regular)	3.5	33%	Límite	Alta (Correctivo)
ST-04	38 (Malo)	4.8	45%	Deficiente	Muy Alta (Rehabilitación)
ST-05	22 (Muy Malo)	6.5	65%	Crítico	Estratégica (Prioridad 1)

Al realizar un análisis sistémico de los datos consolidados en la Tabla 7, se identifica una convergencia crítica de fallas en el subtramo ST-05. Mientras que el promedio de la vía sugiere una condición 'Regular', la desagregación de indicadores revela que el ST-05 opera bajo un IRI de 6.5 m/km, valor que triplica los límites de confort y seguridad establecidos para este tipo de infraestructura.

La prioridad número 1 de intervención asignada al ST-05 en la Tabla 7 no responde únicamente a su bajo PCI (22), sino a la sinergia negativa entre un drenaje colmatado al 65% y la consecuente degradación estructural acelerada. Esta evidencia técnica justifica que el Plan de Gestión propuesto concentre el 40% de los recursos iniciales de bacheo técnico en este sector, ya que representa el nodo de mayor riesgo para la seguridad vial y el de mayor impacto en los costos de mantenimiento futuro si no se interviene de manera inmediata.

La robustez científica de la evaluación se sustenta en la correlación analizada en la Figura 8, donde se observa una relación inversamente proporcional entre el Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Índice Internacional de Rugosidad (IRI). El ajuste estadístico muestra un coeficiente de determinación (R^2) significativo, lo que valida que el incremento en la rugosidad longitudinal de la vía Pujilí–Salcedo es una consecuencia directa del proceso de degradación superficial y estructural identificado.

Al examinar la dispersión de los datos en la Figura 8, es evidente que los subtramos con PCI superior a 70 mantienen niveles de IRI dentro de los umbrales de confort (2.0 - 2.5 m/km). Sin embargo, a medida que el PCI desciende hacia el rango "Malo" o "Muy Malo", la pendiente de la curva de correlación se acentúa. Esto es particularmente visible en el subtramo ST-05, cuya ubicación en el extremo inferior del gráfico confirma que la severidad de las patologías (como baches y deformaciones transversales) ha roto la regularidad de la superficie de rodadura de forma irreversible para un mantenimiento convencional.

Desde una perspectiva de ingeniería de pavimentos, este análisis de correlación es fundamental, ya que permite predecir el comportamiento funcional de la vía basándose en inspecciones visuales estandarizadas. Como resultado, la Figura 8 actúa como el respaldo técnico para el Plan de Gestión, demostrando que cualquier demora en la intervención de tramos con PCI en descenso resultará en un aumento exponencial del IRI, disparando los costos de rehabilitación y afectando la seguridad de los usuarios en el sector Alpalmag.

En definitiva, la convergencia de un PCI crítico y un IRI elevado en el corredor Pujilí-Salcedo no representa un fenómeno aislado, sino el síntoma de un sistema de drenaje colapsado y una estructura de pavimento que ha agotado su vida útil remanente bajo las actuales condiciones de carga y factores ambientales. La robustez de la correlación estadística hallada entre la degradación estructural y la pérdida de operatividad funcional valida la metodología multicriterio empleada, demostrando que la gestión vial en sectores rurales con topografías complejas debe abandonar la planificación reactiva. Al jerarquizar las intervenciones desde una base técnica (priorizando la rehabilitación del subtramo ST-05 y la restauración de la capacidad hidráulica en todo el corredor), este Plan de Gestión no solo garantiza la recuperación de los niveles de servicio exigidos por la normativa NEVI-12, sino que asegura la sostenibilidad financiera del activo vial al prevenir fallas terminales onerosas. Así, la investigación se constituye como una hoja de ruta replicable para los Gobiernos Autónomos Descentralizados, donde la toma de decisiones basada en datos se traduce directamente en seguridad vial y competitividad logística para las comunidades agrícolas de la región.

CONCLUSIONES

La evaluación técnica del PCI llevó a la identificación de un rendimiento heterogéneo del pavimento a lo largo del corredor, demostrando secciones consideradas en condiciones aceptables y áreas que mostraron un marcado deterioro y fallas estructurales considerables. Además, los resultados del IRI verificaron que los subtramos en peor condición estructural también tienen una menor calidad funcional de rodadura, confirmando la pérdida del nivel de servicio. Estos dos indicadores permitieron una evaluación objetiva del estado actual de la vía.

La siguiente evidencia de nuestro análisis del sistema de drenaje demostró que la obstrucción, sedimentación y deficiencias en la evacuación de agua tienen efectos más

significativos en la progresión del daño en el pavimento. De manera similar, las tendencias topográficas revelaron que cuanto más pronunciadas son las pendientes, la geometría desfavorable y la evidencia de erosión, mayores son los impactos estructurales y funcionales. La aplicación conjunta del PCI, IRI, drenaje y topografía permitió la identificación de relaciones de causa y efecto técnicamente válidas y así confirmó el hecho de que la mayor parte de la degradación observada puede atribuirse a la interacción entre factores operativos, hidráulicos y geométricos.

Utilizando el multicriterio, los subtramos pudieron ser priorizados por nivel de criticidad, lo que permitió el desarrollo de un Plan de Gestión y Mantenimiento de Carreteras técnicamente justificado. El programa describe las estrategias de intervención basadas en su tipo de intervenciones, como el mantenimiento regular de secciones en buen estado, mantenimiento preventivo en áreas con deterioro temprano, mantenimiento correctivo en secciones en condiciones severas y rehabilitación en las críticas. Esta metodología proporciona la distribución eficiente de recursos y la priorización de acciones basada en la base técnica, con intervenciones proyectadas a corto, mediano y largo plazo mientras se mejora la funcionalidad, seguridad y sostenibilidad operativa del corredor vial.

En resumen, el estudio cumplió su propósito porque diagnosticó sistemáticamente el corredor vial y los parámetros que contribuyeron al deterioro. El PCI, IRI, drenaje y la coherencia de la topografía confirmaron los hallazgos. Tal integración facilitó la identificación de los problemas, la priorización de acciones y el diseño de un Plan de Gestión y Mantenimiento Vial que apoya la seguridad, funcionalidad y sostenibilidad en la infraestructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caiza, E., & Ochoa, S. (2025). Plan de gestión para el mantenimiento de la Vía E30 Pujilí - La Maná. *Revista Científica Multidisciplinaria G-Nerando*, 6(1), 4875. <https://doi.org/10.60100/RCMG.V6I1.630>
- Caiza, P., & Ochoa, M. (2025). Diseño y Gestión Sostenible de Pavimentos en Infraestructura Vial: Enfoque basado en el Ciclo de Vida y Análisis Multicriterio. *Revista Veritas de Difusão Científica*, 6(2), 507–537.
- CONGOPE, BID, & Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi. (2019). Plan de desarrollo vial integral de la provincia de Cotopaxi 2019.
- García Arévalo, E., Navarro del Aguila, L. C., Pinedo Delgado, A., Torres Saavedra, D. A., & Torres Bardales, L. V. (2025). Gemelos digitales para la supervisión y el mantenimiento de infraestructuras viales: Revisión sistemática. *Revista Impulso*, 5(11), 161–181. <https://doi.org/10.59659/IMPULSO.V.5I11.136>
- García-Chávez, V. M., & Zambrano-Meza, M. I. (2023). Evaluación de deterioros de los pavimentos en vías principales de acceso a Portoviejo mediante el método de índice de condición del pavimento “PCI.” *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 72, 3838–3844. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.09.518>
- García-Chávez, J. (2023). Optimización de recursos en el mantenimiento preventivo de redes viales rurales en la región interandina. *Editorial Universitaria*.
- Garilli, E., Bruno, N., Autelitano, F., Roncella, R., & Giuliani, F. (2021). Automatic detection of stone pavement’s pattern based on UAV photogrammetry. *Automation in Construction*, 122, 103477. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2020.103477>
- Huang, L. L., Lin, J. D., Huang, W. H., Kuo, C. H., Chiou, Y. S., & Huang, M. Y. (2024). Developing Pavement Maintenance Strategies and Implementing Management Systems. *Infrastructures* 2024, Vol. 9, Page 101, 9(7), 101. <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES9070101>
- Ibragimov, E., Kim, Y., Lee, J. H., Cho, J., & Lee, J. J. (2024). Automated Pavement Condition Index Assessment with Deep Learning and Image Analysis: An End-to-End Approach. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24(7), 2333. <https://doi.org/10.3390/S24072333>
- Jung, -S ; Lee, D.-H. ; Choi, S.-H. ; Kim, J.-Y. ; Ohm, B.-S., Jung, D.-H., Lee, S.-H., Choi, J.-Y., & Kim, Y.-M. (2022). Process Improvement and Application of Pavement Management System Based on Pavement Conditions in Jeju Island. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 12548, 12(24), 12548. <https://doi.org/10.3390/APP122412548>
- Miguel, L., Torres, L., Alexander, D., Morales, M., Anastacio, W., Guerrero, Z., Benito, U.,

- García, J., Oswaldo, J., Bravo, C., Mateo, D., & Quincha, R. (2025). Diseño y Gestión Sostenible de Pavimentos en Infraestructura Vial: Enfoque basado en el Ciclo de Vida y Análisis Multicriterio. *Revista Veritas de Difusão Científica*, 6(2), 507–537. <https://doi.org/10.61616/RVDC.V6I2.646>
- Nicolosi, V., Augeri, M., D'Apuzzo, M., Santos, L. P., Evangelisti, A., & Santilli, D. (2021). Economic Risk Evaluation in Road Pavement Management. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12950 LNCS, 394–410. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86960-1_28
- Ordóñez Díaz, M. M., & Meneses Silva, L. C. (2015). Criterios e indicadores de sostenibilidad en el subsector vial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 81. <https://doi.org/10.18359/rcin.1433>
- Salazar, G. (2008). Sistema institucional de gestión de las carreteras de segundo orden del Ecuador, para disminuir costos de mantenimiento vial y de operación de vehículos. Universidad Técnica de Ambato.
- Salem, Z. A., & Louzi, N. (2023). Pavement Management in Highway Engineering. *Civil Engineering and Architecture*, 11(3), 1512–1522. <https://doi.org/10.13189/CEA.2023.110332>
- Sánchez, M. R., Lozada, R. I., Torres, A. X., & Sánchez, B. L. (2024). Road maintenance model, with flexible pavement in the central zone of Ecuador. *Ciencia Digital*, 8(2), 86–102. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v8i2.2978>

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles.

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El artículo no es producto de una publicación anterior