

RESEARCH ARTICLE

Impacto del Geotextil Tejido de alto módulo en la infraestructura vial: Un análisis comparativo en la parroquia El Valle, Ecuador

María José Barriga Zhindón ¹  Paola Verónica Delgado Garzón ¹  Pablo Tiberio Vásquez Quiroz ¹ 

¹ Universidad Católica de Cuenca. Unidad Académica de Posgrado. Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable.

✉ Correspondencia: maria.barriga.61@est.ucacue.edu.ec  + 593 969040866

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj82217>

Resumen: Esta investigación evalúa el impacto del uso de geotextiles tejidos de alto módulo en la infraestructura vial, mediante un análisis comparativo– cuantitativo aplicado a tramos de la parroquia El Valle, Ecuador, seleccionados según la capacidad portante CBR. La problemática considera la necesidad de mejorar la eficiencia estructural, reducir costos y disminuir la dependencia de materiales pétreos no renovables, cuya extracción y transporte afectan la sostenibilidad de proyectos viales. A partir de los diseños definitivos viales provistos por el Gobierno Parroquial, se evaluaron tres alternativas: el diseño original de pavimento que incorpora suelo estabilizado con cemento, un diseño tradicional sin refuerzo y un tercer diseño que considera refuerzo con geotextil tejido de alto módulo. La metodología combinó el procedimiento de diseño AASHTO-93 con un enfoque complementario que incorpora el Traffic Benefit Ratio (TBR). Este enfoque permite calcular el beneficio estructural del geotextil mediante la comparación de la capacidad de soporte entre secciones reforzadas y no reforzadas, ajustando el número estructural requerido y estimando la reducción posible en los espesores de capa granular, en función del refuerzo incorporado. Los resultados mostraron un incremento promedio del 20% en el número estructural para TBR=4. Una reducción de hasta el 25.59% en espesores granulares y un ahorro económico del 3% respecto al diseño tradicional en la vía con menor CBR. En comparación con el diseño original estabilizado, el modelo reforzado presentó un ahorro del 7% en costos directos. Estos hallazgos confirman la viabilidad del geotextil tejido como alternativa técnica y sustentable para optimizar estructuras viales.

Palabras claves: Geotextil Tejido, TBR (Traffic Benefit Ratio), pavimento flexible, AASHTO-93, infraestructura vial sostenible.



Check for
updates

Cita: Barriga Zhindón, M. J., Delgado Garzón, P. V., & Vásquez Quiroz, P. T. (2025). Impacto del Geotextil Tejido de alto módulo en la infraestructura vial: Un análisis comparativo en la parroquia El Valle, Ecuador. Green World Journal, 08(01), 217. <https://doi.org/10.53313/gwj82217>

Received: 20/May/2025

Accepted: 12/June/2025

Published: 13/June/2025

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2025 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.
Creative Commons Attribution (CC BY).

High-Modulus Woven Geotextile Impact on Road Infrastructure: A Comparative Analysis in El Valle Parish, Ecuador

Abstract: This research examines the influence of high-modulus woven geotextiles on road infrastructure performance through a comparative and quantitative analysis, applied to selected road segments in El Valle Parish, Ecuador, based on their CBR values. The study addresses the need to enhance structural efficiency, lower construction costs, and minimize reliance on non-renewable granular materials, whose extraction and transport negatively impact the sustainability of road development projects.

Using the final road design plans provided by the Parish Government, three pavement alternatives were assessed: the baseline design utilizing cement-stabilized soil, a conventional unreinforced section, and a third configuration incorporating a high-modulus woven geotextile as reinforcement.

The methodology integrated the AASHTO-93 design procedure with a complementary approach that utilizes the Traffic Benefit Ratio (TBR). This combined framework enables the evaluation of the structural contribution of the geotextile by comparing the load-bearing capacity of reinforced and unreinforced pavement sections. It further allows for the adjustment of the required structural number and provides an estimate of the potential reduction in granular layer thickness based on the reinforcement applied.

The findings revealed an average increase of 20% in structural number when $TBR = 4$ was applied. Granular layer thicknesses were reduced by up to 22.63%, and in the segment with the lowest CBR, the geotextile-reinforced design achieved a cost saving of 3% compared to the traditional unreinforced design. When compared to the cement-stabilized design, the geotextile alternative demonstrated a 7% reduction in direct construction costs. These outcomes highlight the technical and environmental feasibility of using high-modulus woven geotextiles as a sustainable solution for improving pavement structures.

Keywords: Woven Geotextile, TBR (Traffic Benefit Ratio), flexible pavement, AASHTO-93, sustainable road infrastructure.

1. Introducción

La infraestructura vial constituye uno de los pilares esenciales para desarrollo socioeconómico de los países, ya que facilita el transporte de bienes y personas, promoviendo la integración regional y el crecimiento económico. Las inversiones en infraestructura vial generan rentabilidad que oscilan entre el 5 % y el 20 %, además de mejorar el acceso a servicios esenciales como la salud y la educación. En países en vías de desarrollo, las obras viales desempeñan un rol estratégico conectando zonas urbanas con rurales, fomentando la integración productiva y reduciendo desigualdades territoriales [1].

En el caso de Ecuador, la planificación de redes viales ha sido objeto de diversas iniciativas públicas orientadas a su repotenciación y ampliación. Actualmente el Plan Vial 2025 contempla una inversión de aproximadamente 5.200 millones de dólares para la repotenciación y mejora de las vías en el país [3]. Este plan responde a la necesidad de transformar una red en la que, según datos del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas), menos del 13% de las vías se encontraban en óptimas condiciones [4]. Además de asignar recursos económicos, dicho plan promueve la incorporación de tecnologías constructivas más eficientes y sostenibles.

Sin embargo, a pesar de los aumentos de inversión pública, los métodos tradicionales de diseños de pavimentos siguen presentando limitaciones importantes. Los pavimentos flexibles

convencionales, estructurados por capas granulares sobre subrasantes compactadas, dependen en su mayoría del uso de materiales pétreos cuya explotación implica un alto impacto ambiental y costos crecientes conforme se alejan de fuentes de abastecimiento. La dependencia de agregados naturales no renovables y los elevados costos de transporte y mantenimiento alertan la necesidad de explorar alternativas innovadoras [2]. En zonas con suelos de baja capacidad portante ($\text{CBR} \leq 5$), estas secciones requieren de espesores considerables para alcanzar el número estructural requerido, lo que lleva a un aumento de inversión inicial y genera dificultades técnicas en la construcción [2]. Además, estos sistemas presentan vulnerabilidad frente a condiciones climáticas extremas y tránsito pesado, lo que resulta en fallas prematuras y altos costos de mantenimiento [6].

Ante esta situación, estudios recientes han identificado el uso de geosintéticos como una alternativa con potencial para mejorar el diseño estructural de pavimentos flexibles. En particular, los geotextiles tejidos han demostrado ser efectivos para reducir los espesores de las capas granulares entre un 28 % y un 45 %, especialmente en suelos con baja capacidad portante ($\text{CBR} < 5$ %) [5]. Dentro de este grupo, los geotextiles tejidos de alto módulo destacan por su capacidad de refuerzo en pavimentos flexibles. Estos geotextiles están comúnmente fabricados a partir de polímeros como el poliéster de alta tenacidad (PET), mismos que han demostrado una alta efectividad como material de refuerzo en estructuras de pavimento, especialmente en subrasantes de baja capacidad portante. Su principal ventaja se enfoca en su capacidad para movilizar resistencia a la tracción a muy bajas deformaciones [7]. En términos mecánicos, estos geotextiles presentan altos valores de módulo secante, parámetros que refleja la rigidez con la que el material responde a la deformación. Su incorporación permite mejorar la resistencia al corte, evita la contaminación entre capas de la estructura del pavimento y reduce la deformación vertical acumulada [8].

La aplicación de geotextiles tejidos de alto módulo en pavimentos flexibles se fundamenta en tres mecanismos principales: la restricción lateral de los agregados, el incremento de la capacidad de soporte y el efecto membrana tensionada [7], [9], [10]. La interacción suelo-geotextil es un aspecto determinante en el desempeño del sistema. [11] resalta que el refuerzo de pavimentos con geotextiles genera mejoras estructurales significativas al modificar los mecanismos de transferencia de carga dentro del sistema. A través del análisis de múltiples estudios y secciones de prueba a escala real, el autor muestra como la interacción entre el geotextil y los materiales granulares pueden reducir deformaciones, aumentar rigidez en el sistema y extender la vida útil, especialmente en subrasantes de baja capacidad portante.

Otro factor utilizado en la literatura para cuantificar el beneficio estructural de los geotextiles de alto módulo es el Traffic Benefit Ratio (TBR), que representa la relación entre el número de cargas repetidas soportadas por una sección reforzada frente a una sin refuerzo, antes de alcanzar una condición de falla. El uso de geotextiles tejidos de alto módulo permite incrementar el TBR entre 2 y 4 veces, dependiente de la calidad del suelo y del diseño de la estructura de pavimento. Investigaciones recientes han validado la capacidad de estos materiales para reducir los espesores de capas granulares manteniendo el mismo desempeño estructural [5]. La incorporación de geotextiles tejidos puede permitir una reducción de hasta un 25% en el espesor de la base

granular sin comprometer la capacidad estructural del pavimento, representando también un ahorro económico significativo en materiales y transporte [12].

El acelerado proceso de urbanización, junto con el crecimiento constante del parque automotor, ha incrementado significativamente la demanda funcional y estructural sobre la infraestructura vial existente. En este contexto, las soluciones convencionales, basadas en el uso intensivo de materiales pétreos extraídos de canteras, no sólo implica altos costos, sino también genera impactos ambientales considerables. Esta situación plantea la necesidad de adoptar estrategias sostenibles y eficientes para el diseño y la rehabilitación de vías, priorizando tecnologías que optimicen recursos y reduzcan dependencia de insumos tradicionales.

Diversos estudios han demostrado que el empleo de geotextiles tejidos en la construcción vial permite optimizar recursos y mejorar el rendimiento estructural de los pavimentos [13], [14]. [15] evaluaron la efectividad de los geotextiles en sistemas de pavimentos flexibles, evidenciando una extensión en su vida útil y una reducción en los costos de mantenimiento.

El objetivo principal de este estudio es evaluar el impacto del uso de geotextiles tejidos de alto módulo en el diseño de pavimentos flexibles en la parroquia el Valle, provincia del Azuay, Ecuador. Esta localidad ha sido seleccionada por presentar condiciones geotécnicas típicas de zonas del país: suelos de baja resistencia (CBR promedio de 3%) y una red vial en crecimiento que demanda soluciones duraderas y rentables. Para ello se realizará un análisis comparativo-cuantitativo a partir de datos técnicos obtenidos de los estudios definitivos de diseño vial proporcionados por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la parroquia el Valle, los cuales fueron elaborados conforme las normas vigentes y contienen parámetros de diseño, características de tránsito y resultados de ensayos de laboratorio geotécnico. A partir de esta información fueron seleccionados vías representativas de acuerdo a sus valores de CBR bajo, intermedio y alto, a fin de cubrir el rango de condiciones de subrasantes presentes en la zona de estudio. Cabe destacar que el diseño original contempla una estructura formada por carpeta asfáltica, base granular y una capa de suelo estabilizado con cemento. No obstante, la elevada rigidez de esta última capa limita la actuación efectiva de los mecanismos de refuerzo proporcionados por el geotextil de alto modulo, impidiendo que el material trabaje en condiciones de deformación suficientes. Por ello, se modificó el diseño teniendo un nuevo método base formado por subbase, base y carpeta asfáltica, para permitir la correcta evaluación del comportamiento del sistema con refuerzo.

El proceso metodológico se estructuró en dos fases complementarias. En la primera fue aplicada la metodología AASHTO-93 [16], ampliamente reconocida para el diseño de pavimentos flexibles. Mediante esta se determinaron los números estructurales requeridos (SN_{req}) y se calcularon los números estructurales sin refuerzo (SN_{sr}), considerando las propiedades de cada capa, el tránsito estimado en ejes equivalentes (W₁₈), el índice de servicio, y los módulos resilientes de la estructura.

En la segunda fase, se incorporó el uso del geotextil tejido de alto módulo siguiendo una propuesta metodológica que adapta el método AASHTO mediante la incorporación del factor Traffic Benefit

Ratio (TBR). Este factor permite ajustar el tráfico W18, multiplicándolo por el TBR correspondiente al geotextil utilizado, para determinar un número estructural reforzado (SNref) [5]. La diferencia entre SNref y SNsr representa el aporte estructural del geotextil, el cual se utiliza para reducir espesores de las capas superiores, manteniendo constante la capacidad portante de la sección. En esta investigación se consideraron tres valores de coeficientes TBR (TBR=2,3 y 4), en correspondencia con distintas propiedades de geotextiles tejidos de alto módulo.

Finalmente, se realizó un análisis económico comparativo, entre el diseño convencional, el diseño original con suelo estabilizado, y el diseño reforzado con geotextil, empleando precios (costos directos) del mismo estudio de los tramos viales, y cotizaciones de ellos geotextiles considerados. Este enfoque permite evaluar no solo la viabilidad técnica de la solución, sino también su eficiencia económica y su contribución a la sostenibilidad constructiva.

Este estudio contribuirá al campo de la ingeniería civil al proporcionar evidencias cuantificables sobre los beneficios del uso de geotextiles tejidos en infraestructura vial. Además, servirá de referencia para futuras investigaciones y proyectos de construcción vial en Ecuador y otros países con condiciones geotécnicas similares. Finalmente, su aplicación podría traducirse en una mayor eficiencia en la inversión de recursos públicos y privados destinados a la infraestructura vial.

Se espera consolidar el uso de geotextiles tejidos como una solución innovadora y sostenible para la construcción de pavimentos flexibles, contribuyendo al desarrollo de infraestructura vial más eficiente y sustentable en Ecuador y la región.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

En el presente estudio, se parte de información contenida en los proyectos definitivos de diseño vial para diversas vías ubicadas en la parroquia El Valle, cantón Cuenca (provincia del Azuay), las cuales suman aproximadamente 15 km de longitud. De un total de nueve vías, se seleccionaron tres para el análisis, basándose en sus valores de CBR (California Bearing Ratio). Tal como se detalla en la Tabla 1, se seleccionaron, la vía con CBR más bajo, la de CBR más alto y otra con un CBR intermedio. Estos tramos corresponden a la Vía 5- Castilla Cruz- El Coco, la Vía 7- Santa Martha- Gualalcay y la Vía 9- Primero de enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento.

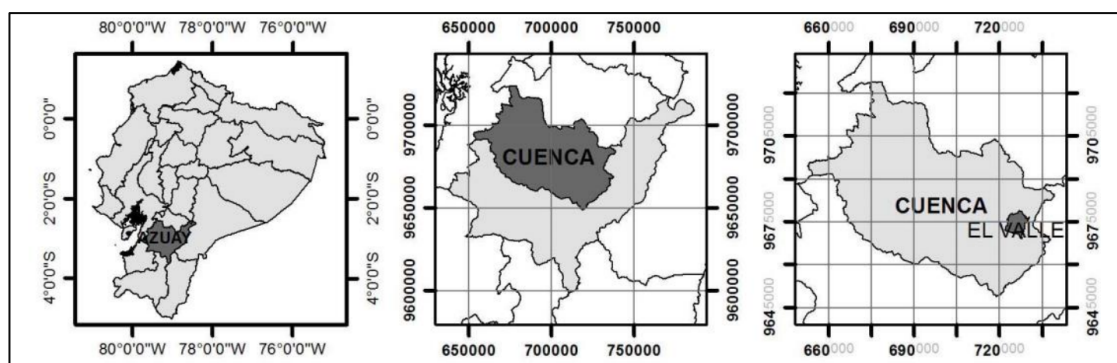


Figura 1: Área de estudio parroquia El Valle, cantón Cuenca, provincia del Azuay

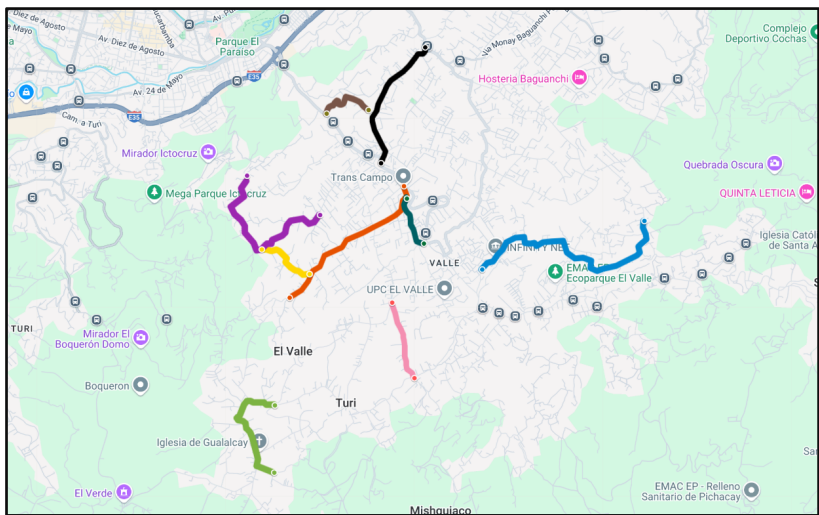


Figura 2: Tramos viales de la parroquia el Valle

Tabla 1: Vías seleccionadas para el análisis, Vía 5- Castilla Cruz El coco, Vía 7- Santa Martha- Gualalcay, Vía 9- Primero de enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento

NÚMERO TRAMOS VIALES	DESCRIPCIÓN VÍAS IDENTIFI CADOR	COORDENADAS				LONGITUD VÍA (Km)	CBR %
		INICIO		FIN			
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE		
1	San José- San Antonio- "Y" Santa Marianita	724433.33 m	E9675698.68	m723498.77	m9676186.74 m	2.5	1.7
2	Cementerio- San Pedro- Tierras coloradas	726537.64 m	E9674983.92	m728641.96	m9675598.45 m	3.2	1.8
3	San Juan Loma- San Miguel	725526.15 m	E9676051.60	m724050.89	m9674622.40 m	2.28	1.7
4	San Isidro- "Y" San Antonio	724309.45 m	E9674929.89	m723687.01	m9675239.42 m	0.78	4.1
5	Castilla cruz- el coco	725074.98 m	E9677030.71	m724525.53	m9676981.07 m	0.97	3.8
6	Barrio Artesanal	725662.07 m	E9673586.32	m725373.60	m9674552.12 m	1	1.4
7	Santa Martha- Gualalcay	723854.94 m	E9673239.49	m723838.85	m9672373.44 m	1.56	1.3
8	Limas	725787.96 m	E9675316.82	m725562.95	m9675894.17 m	0.7	1.8
9	Primero de enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento	725235.02 m	E9676345.77	m725810.59	m9677834.77 m	1.86	4.3
						14.85	Km

El diseño original de las vías contempla una estructura formada por carpeta asfáltica, base granular y suelo estabilizado con cemento por las características de los tramos viales. Sin embargo, al existir una capa tan rígida (la estabilizada), la contribución de un geotextil de alto módulo sería ilimitada, pues la rigidez de la capa estabilizada reduce el efecto del refuerzo. Por lo tanto, para evidenciar de mejor manera el aporte del geotextil, se rediseñaron las mismas vías sin incluir la capa estabilizada, quedando solo con subbase, base y carpeta asfáltica. En cuanto a los materiales granulares considerados en los diseños, corresponden a tipos comúnmente utilizados en obras viales dentro de la parroquia El Valle. Si bien el estudio de diseño no especifica el origen exacto de los áridos, es razonable suponer, con base en la ubicación geográfica, que estos provienen

principalmente de la cuenca del río Paute, dada la cercanía y disponibilidad de recursos aluviales y triturados. En este rediseño se aplican tanto la normativa de diseño vial NEVI- 12 [17] como la metodología AASHTO-93 para pavimentos flexibles.

Posteriormente, se procedió a incorporar geotextiles de alto módulo, cada uno con valores distintos de TBR (Traffic Benefit Ratio), en este caso 2,3 y 4 con el fin de evaluar cómo varía el comportamiento estructural. El factor TBR se integra en la metodología AASHTO para cuantificar el incremento de capacidad portante que el refuerzo de geotextil genera en el pavimento. Para ello, se sigue la metodología planteada por [5], compuesta por los pasos que se describen a continuación:

2.2 Métodos

Para el presente análisis se utilizó un enfoque cuantitativo-comparativo para evaluar el desempeño estructural y económico de pavimentos flexibles con y sin el uso de geotextiles tejidos de alto módulo. Esta metodología toma como base la propuesta estructural desarrollada por Goud et al., que incorpora el factor Traffic Benefit Ratio (TBR) para estimar el aporte del refuerzo en términos del número estructural y proyectar reducciones de espesor sin comprometer la capacidad portante del pavimento [5]. Asimismo, el enfoque comparativo adoptado ha sido validado en estudios recientes que evalúan la eficiencia del refuerzo geosintético en términos de comportamiento estructural y ahorro económico frente a diseños convencionales [12].

2.2.1 Diseño sin refuerzo (método base)

- Se calculó el número estructural requerido (SN_{req}) para cubrir el tránsito W₁₈ previsto, utilizando la ecuación AASHTO-93 en función del módulo resiliente de la subrasante, nivel de confiabilidad y otros factores inherentes a la metodología.

$$\log W_{18} = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log (SN_{req} + 1) - 0.2 + \frac{\log \frac{\Delta PSI^{2.7}}{1094}}{0.4 + \frac{1}{(SN_{req} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad \text{Ec. 1}$$

- Se diseñó el pavimento con las capas de subbase, base y carpeta asfáltica y se obtuvo el número estructural del pavimento sin refuerzo (SN_{sr}), determinado por la suma de los productos entre el espesor de cada capa y su respectivo coeficiente estructural (ajustado o no por el factor de drenaje, si aplica.)

$$SN_{sr} = (axd)_{asfalto} + (axdxm)_{base} + (axdxm)_{subbase} \quad \text{Ec. 2}$$

- Se verificó que el número estructural sin refuerzo (SN_{sr}) calculado sea mayor o igual al número estructural requerido (SN_{req}) para tener una estructura que cumpla con los parámetros de diseño.

$$SN_{sr} \geq SN_{req} \quad \text{Ec. 3}$$

2.2.2 Incorporación de geotextil tejido de alto módulo y definición del TBR

- Al diseño se incorporó el geotextil de alto módulo caracterizado por diferentes valores de TBR (Traffic Benefit Ratios), elegidos según fichas técnicas e información dada por el fabricante. El método AASHTO- 93, tal como se describe en [5], permite ajustar el tránsito efectivo W_{18} multiplicando el valor original de W_{18} por el factor TBR, con lo cual se obtiene una capacidad de carga equivalente mayor.

$$W_{18}(\text{reforzado}) = TBR \times W_{18}(\text{sin refuerzo}) \quad \text{Ec. 4}$$

- Con el nuevo tránsito W_{18} reforzado se determinó un número estructural reforzado (SN_{ref}) aplicando la misma ecuación de AASHTO-93.

$$\log W_{18}(\text{reforzado}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log (SN_{ref} + 1) - 0.2 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{2.7}}{0.4 + \frac{1094}{(SN_{ref} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad \text{Ec. 5}$$

2.2.3 Cálculo del aporte estructural del geotextil y optimización de espesores

- El aporte estructural dado por la inclusión del geotextil tejido de alto módulo se obtuvo de la diferencia entre el número estructural reforzado (SN_{ref}) y el número estructural sin refuerzo [SN_{sr}]. Gracias a esta contribución adicional, se puede reducir el espesor de algunas capas (sea subbase, base o incluso la carpeta asfáltica).

$$SN_{\text{geotextil}} = SN_{ref} - SN_{sr} \quad \text{Ec. 6}$$

- Seguido de esto se comparó que el número estructural último ($SN_{\text{último}}$) calculado con los nuevos espesores reducidos gracias al aporte del geotextil de alto módulo cumpla con el número estructural sin refuerzo (SN_{sr}) solicitado por la estructura del pavimento para asegurar que el mismo cumpla con las exigencias de tránsito y confiabilidad. Por ende, la metodología brinda una optimización de espesores sin sacrificar el desempeño del pavimento.

$$SN_{\text{último}} = (axd)_{\text{asfalto}} + (axdxm)_{\text{base}} + (axdxm)_{\text{subbase}} + SN_{\text{geotextil}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$SN_{\text{último}} \geq SN_{sf} \geq SN_{req} \quad \text{Ec. 8}$$

- Se efectuó una comparativa de diseño entre la sección convencional y la sección con geotextil para cada vía, analizando el efecto del TBR seleccionado (2,3 y 4)

2.2.4 Análisis económico

- Se realizó un análisis de costos asociados al diseño original con suelo estabilizado, el diseño convencional sin refuerzo y el diseño incorporando geotextil tejido de alto módulo, tomando en cuenta los precios (costos directos) de los rubros identificados en los estudios y los precios de los geotextiles de alto módulo dados por el fabricante.

1. Área de estudio

Información de estudios definitivos de diseños viales de la parroquia el Valle

Selección vías de estudio de acuerdo a CBR de subrasante, un total de tres vías.

Vía 5: Castilla Cruz- El Coco
Vía 7: Santa Martha- Gualacay
Vía 9: Primero de Enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento

Se descarta capa estabilizada con cemento y se adopta:
Subbase granular- Base granular- Carpeta Asfáltica



2. Métodos

Enfoque cuantitativo- comparativo

2.1 Diseño sin refuerzo metodología AASHTO-93

Sub Base, base, carpeta asfáltica
Número estructural sin refuerzo ($SN_{sr} \geq SN_{req}$)

2.2. Incorporación geotextil (TBR)

$TBR = 2, 3, 4$
 $W18 \text{ reforzado} = TBR \times W18 \text{ sin refuerzo}$
Nuevo SN_{ref}

2.3 Aporte estructural metodología Goud et al (2020)

Cálculo aporte estructural
 $SN_{geotextil} = SN_{ref} - SN_{sr}$
Cálculo de nuevos espesores
 $SN_{último} \geq SN_{sf} \geq SN_{req}$

2.4 Análisis económico

Comparación de costos
a) Diseño original
b) Diseño sin geotextil tejido de alto módulo
c) Diseño con geotextil tejido de alto módulo

Figura 3: Esquema metodología

3. Resultados

Diseño sin refuerzo- Método Base

En la Tabla 2, se presentan los parámetros de diseño sin refuerzo (Método base), incluyendo características geométricas, valores de CBR, número de ejes equivalentes proyectados ($W18$), módulos resilientes y configuraciones estructurales determinadas de cada vía.

Tabla 2: Caracterización de vías- Parámetros de diseño sin refuerzo

Vía	CBR	Periodo de diseño	W18	Confiabilidad	Desviación Estándar Normal	Error Estándar	Índice de Servicio Inicial	Índice de Servicio Final	Pérdida de Servicio	Módulo Resiliente Subrasante
	%	Años	Esals	R	Zr	So	Po	Pf	ΔPSI	Psi
5	3.80		94,484.00							5,700.00
7	1.30	10	90,704.00	0.80	-0.84	0.45	4.20	2.20	2.00	1,950.00
9	4.30		113,379.00							6,450.00

La Tabla 3 muestra resultados de diseño desarrollado con base en la metodología AASHTO-93 Ec.1 y Ec.2 verificando que el número estructural sin refuerzo (SN_{sr}) obtenido sea igual o superior al requerido (SN_{req}) para cada caso Ec.3. Los espesores resultantes para carpeta asfáltica, base y sub base granular fueron calculados considerando coeficientes estructurales según el tipo de material y las condiciones de drenaje.

Tabla 3: Resultado espesores de estructura pavimento (Método base)

VÍA	Carpeta Asfáltica (cm)	Base Granular (cm)	Sub Base Granular (cm)	Snreq	Sn _{sr}
VIA 5- Castilla cruz- El coco	5.08	18.00	18.00	2.40	2.5
VIA 7- Santa Martha- Gualalcay	5.08	29.50	29.50	3.52	3.60
VIA 9-Primero de Enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento	5.08	18.00	16.00	2.35	2.42

$$SN_{sr} \geq SN_{req} \text{ OK}$$

Diseño con refuerzo- Incorporación geotextil de alto módulo

En la Tabla 4 se presentan las fichas técnicas de los geotextiles de alto módulo brindado por el fabricante de estos materiales, además de los valores TBR (Traffic Benefit Ratio) correspondientes a las propiedades mecánicas de los geotextiles Fortex BX2, BX3 y BX4 respectivamente.

Tabla 4: Geotextiles tejidos de alto módulo (Fichas Técnicas)

PROPIEDADES MECÁNICAS		NORMA DE ENSAYO	UNIDAD	DATOS		
				Forte BX 2	Forte BX 3	Forte BX 4
Método Grab						
Resistencia a la rotura	MD	ASTM	N	2390	3160	4160
	TD	D4632		2370	3040	4040
Método Tira ancha						
Módulo secante al 2% de elongación				700	850	1150
Resistencia @ 2% de elongación	(MD/TD)	ASTM D4595	kN/m	13/14	16/17	21/23
Resistencia @ 5% de elongación	(MD/TD)			31/30	40/40	57/52
Resistencia máxima disponible para diseño a 75 años		GRI GT7	kN/m	30	42	57

Resistencia al punzonamiento estático CBR		ASTM D6241	N	7360	9760	12470
Resistencia al rasgado trapezoidal	MD	ASTM D4533	N	920	1010	1400
	TD			929	930	1240
Estabilidad UV-Resistencia retenida después de 500 h		ASTM D4355	%	>70	>70	>70
Propiedades Hidráulicas		NORMA DE ENSAYO	UNIDAD	DATOS		
				Forte BX 2	Forte BX 3	Forte BX 4
Tamaño de abertura aparente		ASTM D4751	mm	0.3	0.3	0.3
Permeabilidad		ASTM D4491	cm/s	0.091	0.083	0.063
Permitividad			S^{-1}	0.913	1.035	0.671
Tasa de Flujo			l/min/m ²	2738	3104	846
<i>MD: Dirección de las máquinas a lo largo de los rollos</i> <i>TD: Dirección transversal a través del largo de los rollos</i>						

En el presente estudio, los valores de Traffic Benefit Ratio (TBR) asignados a los geotextiles de alto módulo presentados en la Tabla 5, han sido proporcionados directamente por el fabricante, quien fundamenta dichos valores en una correlación técnica basada en ensayos experimentales desarrollados por [18] en los Estados Unidos. Dicho estudio, respaldado por el Departamento de Transporte del Estado de Montana, se enfoca en el análisis comparativo del comportamiento estructural de secciones de pavimento sometidas a cargas cíclicas bajo condiciones controladas, algunas de ellas reforzadas con geotextiles tejidos. A través de uso de pistas de pruebas a escala real e instrumentación detallada, el estudio permitió establecer indicadores de mejora como el TBR. Si bien los ensayos no se realizaron específicamente sobre los modelos utilizados en este trabajo, sus resultados sirven como base experimental para que la empresa fabricante establezca equivalencias de comportamiento mediante la comparación de propiedades clave como la rigidez a baja deformación, la resistencia a la fluencia y la capacidad de control de deformación acumulada en suelos de baja capacidad portante.

Tabla 5: Geotextiles tejidos de alto módulo y su respectivo TBR

Geotextil tejido de alto módulo - TBR	
Geotextil	TBR (Traffic Benefit Ratio)
Forte BX 2	2 a 3
Forte BX 3	3 a 4
Forte BX 4	4 a 5

En la Tabla 6 se presenta el resultado de tránsito reforzado (Ec.4) y los nuevos números estructurales (SNref) (Ec.5).

Tabla 6: Resultados tráfico reforzado W18reforzado y número estructural reforzado SNref

VÍA	VIA 5 - Castilla cruz- El coco	VIA 7 - Santa Martha- Gualacay	VIA 9 -Primero de Enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento
W18(sin refuerzo)	94,484.00	90,704.00	113,379.00
W18(reforzado)			
TBR=2	188,968.00	181,408.00	226,758.00
TBR=3	283,452.00	272,112.00	340,137.00
TBR=4	377,936.00	362,816.00	453,516.00
CBR %	3.80	1.30	4.30
TBR	SN Reforzado	SN Reforzado	SN Reforzado
TBR=1 (Sin refuerzo- Método Base)	2.50	3.60	2.42
TBR=2	2.68	3.91	2.63
TBR=3	2.85	4.14	2.80
TBR=4	2.99	4.32	2.94
Incremento SN	19%	20%	21%

A partir de los datos presentados en la Tabla 6, se obtiene la Figura 4, la cual ilustra la relación entre los números estructurales obtenidos con la incorporación del geotextil tejido, considerando distintos valores de TBR y variaciones en la capacidad portante de la subrasante.

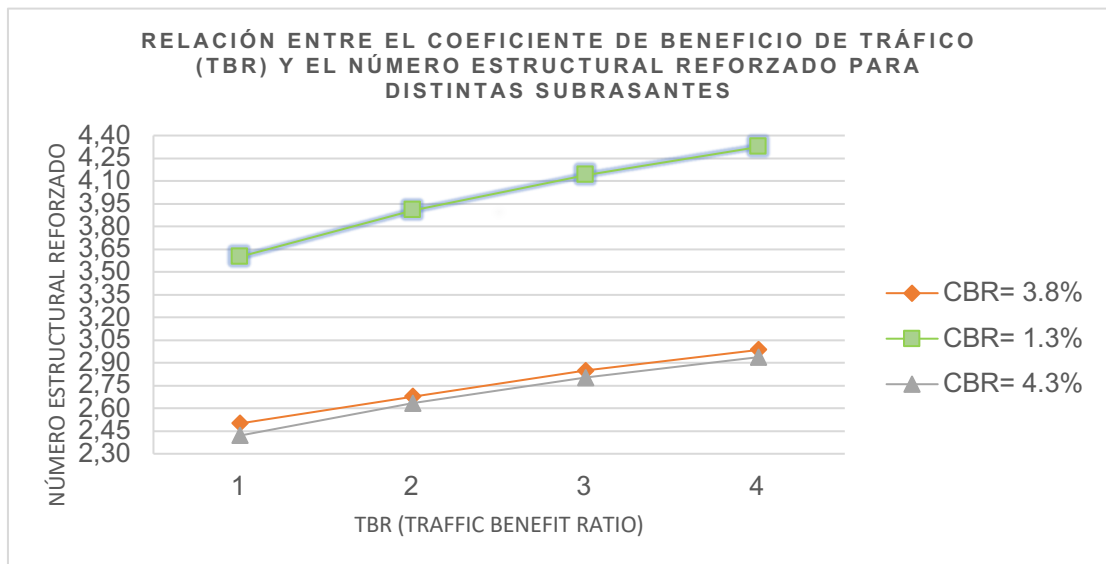


Figura 4: Relación entre coeficiente de beneficio de tráfico TBR y número estructural reforzado (SNref) para distintas subrasantes (CBR)

La Tabla 7 presenta el aporte estructural del geotextil SNgeotextil (Ec.6) siguiendo la metodología propuesta por [5]. Con estos valores se pudo optimizar el diseño mediante la reducción de espesores de la capa base y subbase granular, asegurando que la estructura mantenga el número de desempeño estructural (Ec7. y Ec 8.)

Tabla 7: Resultados aporte estructural por geotextil tejido de alto módulo y espesores de diseño reforzado.

Resultado aporte estructural por geotextil de alto módulo y espesores de diseño reforzados				
Vía	Número estructural/ Capa	TBR=2	TBR=3	TBR=4- Fortex BX 4
	Snsr		2.50	
	Snref	2.68	2.85	2.99
	Sngeotextil	0.18	0.35	0.49
	Espesores de diseño reforzado (cm)			
	Carpeta asfáltica (cm)	5.08	5.08	5.08
	Base Granular (cm)	16.00	13.50	11.50
	Sub base granular (cm)	16.50	15.50	14.50
Vía 5- Castilla cruz- El coco - CBR=3.8%	Espesor total pavimento reforzado (cm)	37.58	34.08	31.08
	Sn(último)	2.50	2.51	2.50
	SNúltimo ≥ SNsr OK			
	Espesores de diseño sin refuerzo			
	Carpeta asfáltica (cm)	5.08	% Reducción	
	Base Granular (cm)	18.00	24.34%	
	Sub base granular (cm)	18.00		

Vía 7- Santa Martha- Gualalcay - CBR= 1.3%	Espesor total pavimento sin refuerzo			
	(cm)	41.08		
	Snsr		3.60	
	Snref	3.91	4.14	4.32
	Sngeotextil	0.31	0.54	0.72
	Espesores de diseño reforzado (cm)			
	Carpeta asfáltica (cm)	5.08	5.08	5.08
	Base Granular (cm)	25.4	23	20.5
	Sub base granular (cm)	27	25	24
	Espesor total pavimento reforzado	57.48	53.08	49.58
	(cm)			
	Sn(último)	3.61	3.6	3.6
	SNúltimo $\geq$ SNsr OK			
	Espesores de diseño sin refuerzo			
VIA 9- Primero de Enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento - CBR= 4.3%	Carpeta asfáltica (cm)	5.08	% Reducción	
	Base Granular (cm)	29.5		
	Sub base granular (cm)	29.5		
	Espesor total pavimento sin refuerzo		22.63%	
	(cm)	64.08		
	Snsr		2.42	
	Snref	2.63	2.8	2.94
	Sngeotextil	0.21	0.38	0.52
	Espesores de diseño reforzado (cm)			
	Carpeta asfáltica (cm)	5.08	5.08	5.08
	Base Granular (cm)	14.5	11.5	10
	Sub base granular (cm)	15.5	15.5	14
	Espesor total pavimento reforzado	35.08	32.08	29.08
	(cm)			
	Sn(último)	2.42	2.42	2.42
	SNúltimo $\geq$ SNsr OK			
	Espesores de diseño sin refuerzo			
	Carpeta asfáltica (cm)	5.08	% Reducción	
	Base Granular (cm)	18		
	Sub base granular (cm)	16		
	Espesor total pavimento sin refuerzo		25.59%	
	(cm)	39.08		

En la Tabla 8 se muestra un análisis comparativo de los presupuestos correspondientes a cada alternativa: Diseño sin refuerzo (Método base), diseño con refuerzo incorporando el geotextil tejido de alto modulo y el diseño original con suelo estabilizado

Tabla 8: Presupuesto diseños viales

Vía	Diseño Sin Refuerzo- Método Base	Diseño Reforzado - Geotextil Tejido de alto módulo BX4 (TBR = 4)	Diferencia	%
-----	-------------------------------------	--	------------	---

VÍA 5- Castilla cruz- el coco- CBR 3.8%	\$	130,232.20	\$	130,890.54	\$	658.34	1.00%
VÍA 7- Santa Martha- Gualalcay - CBR= 1.30%	\$	267,212.40	\$	258,370.56	\$	-8,841.84	-3.00%
VÍA 9- Primero de enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento- CBR= 4.30%	\$	244,653.61	\$	246,438.10	\$	1,784.49	1.00%
Vía	Diseño Original- Suelo estabilizado		Diseño Reforzado - Geotextil Tejido de alto módulo BX4 (TBR = 4)		Diferencia		%
VÍA 5- Castilla cruz- el coco- CBR 3.8%		133,010.01	\$	130,890.54	\$	-2,119.47	-2.00%
VÍA 7- Santa Martha- Gualalcay - CBR= 1.30%		277,113.32	\$	258,370.56	\$	-18,742.76	-7.00%
VÍA 9- Primero de enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento- CBR= 4.30%		248,791.61	\$	246,438.10	\$	-2,353.51	-1.00%

4. Discusión

Los resultados obtenidos en el estudio confirmar la hipótesis inicial: la incorporación de geotextiles tejidos de alto módulo en estructuras de pavimento flexible permite optimizar los

espesores estructurales sin comprometer el desempeño técnico de la infraestructura vial. Esta afirmación se sustenta en reducciones de hasta un 25.59% en el espesor total de las capas granulares, observadas en la Vía 9- Primero de Enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento, son subrasante de 4.3%. No obstante, el comportamiento más eficiente desde el punto de vista estructural se evidencia en la Vía 7-Santa Martha- Gualacay con un CBR de 1.30%, donde el uso del geotextil permitió mantener la integridad estructural con una reducción del 22.63%, lo que indica un aprovechamiento más efectivo del refuerzo en suelos de baja capacidad. Desde una perspectiva comparativa, los valores de TBR (Traffic Benefit ratio) 2,3 y 4 demostraron que el efecto del geotextil de alto módulo es más pronunciado en suelos de menor capacidad portante, validando así los principios propuestos por [9] y retomados por [5] mismos que destacan que la eficiencia del refuerzo se maximiza cuando existe deformabilidad suficiente en el sistema suelo- capa granular para activar la interacción con el geosintético.

Los aportes estructurales calculados mediante la metodología de [5] con base en la adaptación del modelo AASHTO-93 a través del parámetro TBR, muestran coherencia con estudios previos desarrollados por [7] y [11]. En estos, se reporta que el esfuerzo con geotextiles incrementa la resistencia estructural al mejorar la restricción lateral de los agregados, controlar las deformaciones permanentes y redistribuir los refuerzos hacia la subrasante. En el presente estudio, estos efectos se evidencian mediante el aumento del número estructural (SNref) y el cumplimiento del requerido mínimo (SNsr) en todos los escenarios analizados, incluso con espesores de base y subbase reducidos.

Desde el enfoque económico, los resultados revelan que, aunque en ciertos casos del diseño reforzado con geotextil tejido de alto módulo presenta una inversión inicial ligeramente superior respecto al método base (como en la Vía 5-Castilla cruz- el coco- CBR 3.8% y Vía 9- Primero de enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento-CBR= 4.30%), esta diferencia no representa una desventaja estructural, dado que los espesores se optimizan y se obtiene un mejor desempeño técnico con un consumo menor de materiales granulares. Por otro lado, al comparar el diseño con geotextil frente al diseño original con suelo estabilizado, se observa un ahorro directo de hasta el 7% en la Vía 7- Santa Martha- Gualacay, lo cual respalda las conclusiones de [12] quienes destacan la rentabilidad de estos sistemas cuando se analizan desde una perspectiva de ciclo de vida al traducirse en una vida útil prolongada y menores inversiones a lo largo del tiempo.

En el contexto de la ingeniería vial ecuatoriana, donde una parte importante de la red vial se asienta sobre los suelos de baja calidad geotécnica y los presupuestos de obra suelen estar condicionados por restricciones económicas, la propuesta de incluir geotextiles tejidos de alto modulo adquiere especial relevancia. La sostenibilidad en infraestructura vial no solo debe considerar aspectos técnicos, sino también el uso eficiente de recursos públicos, lo cual logra reducir el uso de agregados naturales.

Es importante señalar que la efectividad del refuerzo depende de una correcta selección del tipo de geotextil, la ubicación en la estructura, y la compatibilidad con las condiciones de terreno, En este estudio, los materiales Fortex BX 2, BX3 y BX4 fueron seleccionados en función a sus propiedades técnicas y su TBR estimados. Esta aproximación coincide con lo señalado por [15] quienes recomiendan que los valores de TBR deben basarse de ensayos empíricos o datos de ficha técnica verificados, evitando suposiciones arbitrarias. Los hallazgos también coinciden con lo reportado por [11] quien concluye que la efectividad del refuerzo con geotextiles es más evidente en contextos con baja calidad de subrasante. Esto se refleja en el hecho que la Vía 7- Santa Martha- Gualacay, con el CBR más bajo del estudio, presentó la mayor reducción estructural y el

mayor beneficio económico. En contraste, la Vía 9- Primero de enero- Castilla Cruz- Emilio Sarmiento con mejor calidad de subrasante CBR 4.3% aunque también mostró mejoras, fue menos sensible al refuerzo confirmando que la respuesta del sistema depende directamente de las condiciones iniciales del terreno.

La posibilidad de reducir el volumen de materiales granulares toma especial relevancia considerando que, en la zona del Valle, estos suelen ser transportados desde fuentes de la cuenca del río Paute. Esta condición no sólo implica mayores costos de acarreo, sino también una huella ambiental considerable asociada a la explotación y desplazamiento de materiales no renovables.

5. Conclusión

El estudio confirma que el uso de geotextiles tejidos de alto módulo constituye una alternativa técnica eficaz para el diseño de pavimentos flexibles sobre subrasantes con baja capacidad portante. A través de la metodología AASHTO-93, complementada con el enfoque de TBR, se logró una reducción de hasta un 25.59% en el espesor total de las capas estructurales sin comprometer el cumplimiento de los requisitos técnicos del diseño, lo que valida su efectividad desde el punto de vista ingenieril.

El uso de la metodología AASHTO-93 complementada con la propuesta de incorporación del TBR (Traffic Benefit Ratio) demostró ser una herramienta útil para cuantificar el aporte estructural del geotextil. La combinación metodológica permitió identificar claramente el beneficio mecánico del refuerzo en función de las condiciones de la subrasante, el tránsito proyectado y los materiales seleccionados. Se evidencio que a menos valor de CBR, mayor es la efectividad del geotextil, traducándose a una reducción más significativa de espesores de base y sub base, en promedio se tiene un aumento del número estructural en un 20%

De acuerdo al enfoque económico, si bien ciertos tramos el diseño reforzado presenta valores similares o ligeramente superiores al método base en términos de costo directo, los beneficios obtenidos en términos de disminución del volumen de materiales granulares requeridos, reducción en la explotación de recursos pétreos, mayor facilidad constructiva y mejora en el desempeño estructural permite compensar ampliamente las diferencias iniciales en los costos de implementación. En el caso de comparación con el diseño original que incluye diseño estabilizado, el diseño con geotextil tejido de alto módulo demostró ahorros directos, siendo la vía con CBR más bajo la que presento el mayor margen de economía en un 7%. Esto demuestra que el refuerzo con geotextil puede ser no solo una alternativa técnica, sino también una opción más rentable y sostenible.

De manera adicional, el empleo de estos materiales permite disminuir el uso de agregados naturales, lo que implica una reducción de impacto ambiental asociado al transporte y extracción de estos recursos, esta cualidad refuerza la relevancia del uso de geotextiles como una estrategia para alcanzar una infraestructura más sustentable. Esta investigación aporta evidencia sobre los beneficios técnicos y económicos al incorporar geotextiles en pavimentos, además de establecer una metodología replicable para contextos geotécnicamente similares en Ecuador u otras regiones con características equivalente, se recomienda profundizar esta línea de investigación mediante estudios a escalar real y monitoreos de comportamiento a largo plazo, con el fin de consolidar hallazgos y apoyar la aplicabilidad en futuras políticas de infraestructura vial.

Agradecimiento: El desarrollo de este artículo se enmarca en el proceso de investigación para la obtención del título de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable, impartida por la Universidad Católica de Cuenca. Se extiende un agradecimiento especial al cuerpo docente y a los integrantes de los grupos de investigación que acompañaron y orientaron esta etapa académica, además de al Laboratorio de Robótica, Automatización, Sistemas Inteligentes y Embebidos (RobLab)

Contribución de autores: conceptualización M.B y P.D; redacción– revisión y edición, M.B y P.D

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

6. Referencias

- [1] Rodrigue, J.P. Transportation and economic development. *The Geography of Transport Systems*, 2020. Disponible en: <https://transportgeography.org/contents/chapter3/transportation-and-economic-development/> (acceso el 14 abril 2025)
- [2] Zurita Vaca, M.; Amboya Soqueb, R.; Barba Castro, E. Infraestructura vial y crecimiento económico: Caso parroquias Sevilla Don Bosco y San Isidro, provincia de Morona Santiago, Ecuador. *Rev. Investig. Altoandín*. **2016**, 18(1), 83–92. <https://doi.org/10.18271/ria.2016.182>
- [3] González, A. Plan Vial 2025 explicado: Así cambiarán las carreteras de Ecuador. *GK*, 2022. Disponible en: <https://gk.city/2022/05/26/plan-vial-2025-explicado-carreteras-ecuador/> (acceso el 14 abril 2025).
- [4] El Comercio. Inversión en vías en emergencia será para obras públicas prioritarias. *El Comercio*, 2023. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/inversion-vias-emergencia-obras-publicas.html> (acceso el 14 abril 2025).
- [5] Goud, G.N.; Mouli, S.S.; Umashankar, B.; Sireesh, S.; Madhira, R.M. Design and sustainability aspects of geogrid-reinforced flexible pavements—An Indian perspective. *Front. Built Environ*. **2020**, 6, 71. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00071>
- [6] Huang, Y.H. *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed.; Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA, 2004.
- [7] Perkins, S.W.; Ismeik, M. A synthesis and evaluation of geosynthetic-reinforced base layers in flexible pavements: Part II. *Geosynth. Int.* 1997, 4(6), 605–621.
- [8] Sarsby, R.W., Ed. *Geosynthetics in Civil Engineering*; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2007.
- [9] Giroud, J.P.; Noiray, L. Geotextile-reinforced unpaved road design. *J. Geotech. Eng. Div.* **1981**, 107(9), 1233–1254.
- [10] Holtz, R.D.; Christopher, B.R.; Berg, R.R. *Geosynthetic Design and Construction Guidelines*; Federal Highway Administration (FHWA): Washington, DC, USA, 1998. *Terms and Conditions of Use*;
- [11] Zornberg, J.G. Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos. *Ing. Civ.* 2013, 171, 5–15.
- [12] Mahdi, S.N.; Imjai, T.; Wattanapanich, C.; Garcia, R.; Kaur, H.; Musarat, M.A. Life cycle cost analysis of flexible pavements reinforced with geo-synthetics: A case study of new construction or repair overlays in Thailand's roads. *Eng. Sci.* **2024**, 28, 10.30919/es1071.
- [13] Shukla, S.K.; Yin, J.-H. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*; Taylor & Francis/Balkema: Leiden, The Netherlands, 2006.

- [14] Tiwari, N.; Satyam, N. An experimental study on the behavior of lime and silica fume treated coir geotextile reinforced expansive soil subgrade. *Eng. Sci. Technol. Int. J.* **2020**, *23*, 1214–1222. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.12.006>
- [15] Imjai, T.; Pilakoutas, K.; Guadagnini, M. Performance of geosynthetic-reinforced flexible pavements in full-scale field trials. *Geotext. Geomembr.* **2019**, *47*, 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.12.012>
- [16] AASHTO. *Guide for Design of Pavement Structures*; American Association of State Highway and Transportation Officials: Washington, DC, USA, 1993.
- [17] Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12: Volumen 2A – Norma para Estudios y Diseño Vial*; Subsecretaría de Infraestructura del Transporte: Quito, Ecuador, 2013.;
- [18] Perkins, S.; Cuelho, E. *Large-Scale Laboratory Testing of Geosynthetics in Roadway Applications*; Montana Department of Transportation, U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration: Helena, MT, USA, 2021. <https://doi.org/10.21949/1518310>



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>