

Metodología Para El Diseño Geométrico Sostenible De Ejes Viales En Vías Inter-Cantoniales

Methodology For The Sustainable Geometric Design Of Road Axes In Inter-Cantonal Roads

Autores

Joselyn Estefanía González Silva¹, Bryan Giovanni León Bonilla², Carlos Eugenio Sánchez Mendieta³, Yudy Patricia Medina Sánchez⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, El Guabo, jgonzalez9@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, bleon3@utmachala.edu.ec

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

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

RESUMEN

Las deficiencias que se presentan en el diseño geométrico y los factores del entorno vial se encuentran relacionados con el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito, por lo que garantizar un entorno vial más seguro es un desafío constante para las autoridades y los ingenieros viales. Para abordar esta problemática, se plantea una metodología para el diseño geométrico sostenible de ejes viales, con el objetivo de reducir la ocurrencia de eventos imprevistos y mejorar la seguridad vial. La metodología propuesta se basa en el análisis de diversos indicadores como la importancia de la vía, la conectividad, el índice de peligrosidad y la seguridad vial. El proceso inicia con una inspección visual que permite obtener datos sobre el uso del suelo y las características de las zonas laterales. Posteriormente, se realiza un conteo vehicular para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual, y clasificar la vía según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Por último, se toma en cuenta la percepción del usuario sobre los elementos del diseño geométrico. Siguiendo este procedimiento se evaluó la vía E584 Pasaje – El Guabo y se obtuvo que la valoración final del servicio es inadecuada. Se concluye que los indicadores utilizados en la evaluación de vías intercantoniales sirven como pauta para evidenciar las deficiencias y proponer mejoras, con el propósito de aumentar la seguridad y la confianza del conductor en la carretera.

Palabras claves: diseño geométrico sostenible, conectividad vial, índice de peligrosidad, seguridad vial.

ABSTRACT

Deficiencies that occur in the geometric design and road environment factors are related to the risk of occurrence of traffic accidents, so ensuring a safer road environment is a constant challenge for road authorities and engineers. To address this problem, a methodology for the sustainable geometric design of road axes is proposed, to reduce the occurrence of unforeseen events and improve road safety. The proposed methodology is based on the analysis of various indicators such as the importance of the road, connectivity, the hazard index, and road safety. The process begins with a visual inspection that allows obtaining data on the use of the land and the characteristics of the roadside areas. Subsequently, a vehicle count is carried out to calculate the Annual Average Daily Traffic and classify the road according to the Ministry of Transport and Public Works. Finally, the user's perception of the geometric design elements is taken into account. Following this procedure, the E584 Pasaje - El Guabo road was evaluated and it was found that the final assessment of the service is inadequate. It is concluded that the indicators used in the evaluation of intercantonal roads serve as a guideline to highlight deficiencies and propose improvements, to increase safety and driver confidence on the road.

Keywords: sustainable geometric design, road connectivity, hazard index, road safety.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la población ha tenido un rápido crecimiento, por ende, las demandas de movilidad y los problemas de seguridad vial requieren un diseño más estratégico que favorezca el desarrollo económico, social y ambiental [1]. En este sentido, una infraestructura vial adecuadamente diseñada es esencial para una conducción segura y sin interrupciones, lo que aumenta la confianza del conductor.

Garantizar un entorno vial más seguro sigue siendo el pilar fundamental que impulsa los esfuerzos globales de prevención de accidentes, la ocurrencia de los mismos se encuentra relacionado con los factores de entorno vial y sobre todo con las deficiencias que se presentan en el diseño geométrico, lo cual afecta la seguridad de los usuarios [2]. Desde esta perspectiva resulta crucial incorporar la sostenibilidad vial dado que está directamente relacionada con la seguridad humana y ambiental [3]. Sin embargo, incluir este principio es uno de los principales desafíos que enfrentan los gobiernos en América Latina.

Actualmente, existe la necesidad de aplicar estándares de sostenibilidad en el diseño geométrico de carreteras, debido al impacto negativo que el transporte vial tiene en el medio ambiente [4], por ello uno de los aspectos a considerar es el tipo de uso del suelo a lo largo de la vía para poder realizar una estimación precisa del flujo vehicular y diseñar una red de transporte adecuada a las necesidades de la comunidad [1]. Además, debe incluirse la perspectiva del usuario como parámetro para analizar la seguridad vial conjuntamente con las características geométricas de la carretera, las zonas laterales, entre otros factores que puedan influir en la seguridad de los conductores y peatones. La evaluación de estos criterios permitirá mitigar la ocurrencia y gravedad de accidentes viales, así como garantizar la seguridad de los proyectos y minimizar significativamente el daño al medio ambiente, lo que resulta relevante debido a que el cambio climático es un problema global que está ganando cada vez más importancia en todo el mundo [5], [6].

Una de las características geométricas de la carretera que debe ser considerada en la evaluación es el radio de la curva horizontal, puesto que un radio más amplio proporciona una mayor estabilidad al conducir [7], de la misma manera, la velocidad de operación desempeña un papel crucial en la congruencia del diseño vial; es decir, en qué medida la infraestructura vial se ajusta a las expectativas de los conductores [8]. De la misma manera es esencial tomar en cuenta que una distancia de visibilidad limitada y un aumento en el ancho de carril puede aumentar el riesgo de accidentes [9]. Por otro lado, las señales de tráfico tienen la finalidad de advertir y guiar a los usuarios en cualquier momento del día y resultan altamente efectivas a la hora de incrementar los niveles de seguridad en las curvas, en consecuencia, su implementación es importante en la red viaria [10], [11]. Además de lo anteriormente descrito, las zonas laterales son elementos que se extienden desde la berma hasta el límite de la faja vial y se consideran como un parámetro fundamental para determinar la peligrosidad de la vía [12]. Por tal motivo, una forma de mejorar la seguridad vial es a través de un buen diseño geométrico, que contemple elementos como la alineación horizontal y vertical de la carretera [13].

En todo el mundo se han llevado a cabo diversos estudios sobre el diseño geométrico de carreteras con el objetivo de mejorar la seguridad vial y la calidad del servicio que ofrecen a los usuarios. Estos estudios incluyen desde la señalización hasta el análisis de la geometría de la vía y la calidad de la infraestructura vial incluyendo su entorno, la tipología de la vía, el control del tráfico y la iluminación, que son factores cruciales e influyentes en los resultados de la seguridad vial [14], del mismo modo, es esencial enfocarse en la relevancia de los estándares de comportamiento del conductor [15]. En Ecuador, existen investigaciones que abordan esta problemática, un ejemplo es el artículo publicado por los autores García, Camacho y Montoya, quienes aplicaron el método iRAP para analizar la seguridad de una carretera de dos carriles, con el que se pueden identificar las áreas más peligrosas para los usuarios de la vía [16]. Además de esta investigación, se han realizado trabajos que ofrecen información valiosa para mejorar la gestión del tráfico y el diseño de las instalaciones viales [17], en un estudio distinto, priorizan los segmentos de carretera para recibir tratamiento de seguridad y determinan el tipo de tratamiento necesario [18]. Por otro lado, otros autores se centran en estimar el TPDA y lo utilizan para evaluar la capacidad de las vías, su nivel de servicio y aproximar el flujo vehicular en las carreteras principales y secundarias [19], [20].

Estas investigaciones son fundamentales para el diseño de carreteras; sin embargo, es crucial adoptar un enfoque basado en la sostenibilidad para los proyectos viales. La aplicación de principios sostenibles no solo puede contribuir a la reducción de las emisiones de CO₂ al optimizar el flujo vehicular y disminuir las aceleraciones, sino que también busca armonizar el progreso económico y social con la protección del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. Este enfoque garantizaría el desarrollo de proyectos viales eficientes, respetuosos con el entorno y beneficiosos tanto para las comunidades locales como para el medio ambiente en general.

1.1. Alcances Y Objetivos

El presente estudio tuvo como objetivo proponer una metodología para el diseño geométrico de carreteras mediante criterios técnicos que permita la reducción de la ocurrencia de eventos imprevistos para los usuarios de vías intercantonales. Como alcance del trabajo se obtuvo el servicio de vialidad de la vía E584 Pasaje – El Guabo, la cual fue seleccionada como caso de estudio para identificar los aspectos que afectan el servicio de vialidad. Los resultados de los criterios de uso de suelo, zonas laterales y diseño geométrico se representan mediante gráficos y tablas, con la finalidad de realizar un análisis adecuado y llegar a las conclusiones correspondientes

2. METODOLOGÍA

Aproximadamente más de un millón de personas mueren cada año y 50 millones resultan heridas en accidentes automovilísticos alrededor de todo el mundo [21]. Según las estadísticas de la Policía Nacional del Ecuador del distrito Pasaje, en la vía E584 Pasaje - El Guabo entre 2018 y 2022 se produjeron 22 accidentes de tránsito. Identificar los factores principales que contribuyen a los accidentes y cuantificar su impacto es fundamental para mejorar de forma adecuada el diseño vial [22].

Durante varios años la vía E584 que conecta los cantones de Pasaje y El Guabo ha sido esencial para el comercio y la economía de la región, puesto que permite el transporte de productos agrícolas, especialmente del banano, la actividad bananera es generadora de la mayoría de los empleos y el motor de la economía local [23], [24]. Con una longitud total de 12.32 km, la vía en estudio une diversas comunidades rurales circundantes, entre las que se incluyen Puerto Garzón, La Concordia, Cañaquemada, Vergel y Chontillal. En la figura 1 se muestra la representación de la vía con los límites correspondientes a cada cantón.

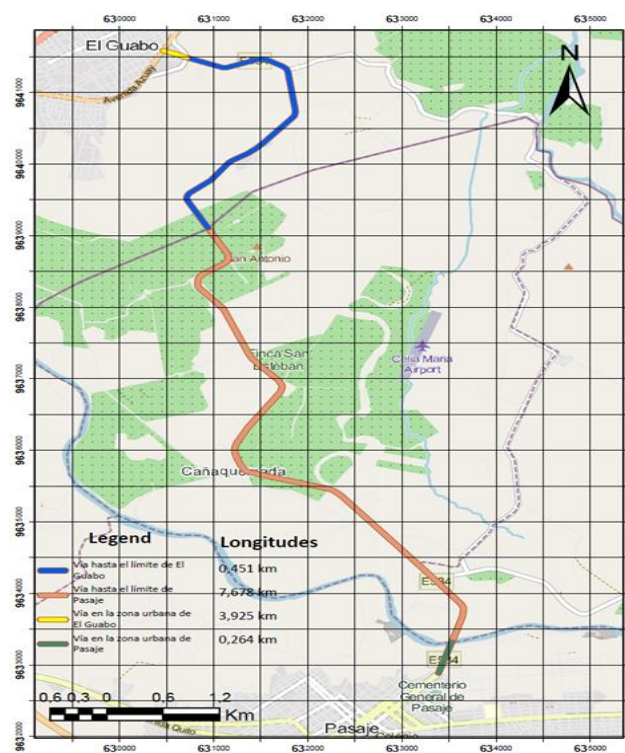


Figura 1: Tramo de la vía E584 Pasaje - El Guabo

La etapa inicial de la investigación se centró en la recopilación y el análisis detallado de la documentación bibliográfica, con la cual se establecieron las bases teóricas y técnicas necesarias para sustentar la evaluación de carreteras. Posteriormente, se llevó a cabo la aplicación de las fichas de observación de uso de suelo, señaléticas y zonas laterales mediante inspecciones visuales. Luego de obtener esta información se realizó el conteo vehicular utilizando contadores automáticos ubicados de manera estratégica en los tramos correspondientes a las entradas de los cantones. Pasado los tres días de aforo, se procedió a transferir los datos recopilados por los dispositivos para obtener el flujo promedio diario y con ello se calculó el tamaño de la muestra para aplicar las encuestas. Dichas encuestas se enfocaron en obtener información desde la perspectiva de los usuarios por lo que se abordaron preguntas relacionadas con el diseño geométrico. Por último, se realizó un proceso de jerarquía analítica (AHP) que tomó en cuenta criterios técnicos proporcionados por ingenieros civiles expertos en el área para ponderar de manera precisa y adecuada los diferentes criterios evaluados.

Los criterios para la evaluación de carreteras se sustentan en los artículos de varios autores, entre ellos Pulugurtha y Mathew, Rivera y Echaveguren, Wang et al., Babić y Brijs, Bassani et al., estos artículos abordan tres procesos técnicos como: el uso de suelo, las zonas laterales y el diseño geométrico [1], [12], [8], [11], [25]. Estos artículos proporcionan conceptos fundamentales que han sido extraídos y utilizados para desarrollar la metodología propuesta.

Para recopilar las variables de uso de suelo se considera una zona de influencia de 30 m a lo largo del eje vial. Esta medida se considera adecuada, ya que zonas más reducidas permiten obtener datos socioeconómicos precisos en las proximidades de la carretera [1]. En la tabla 1 se presentan las categorías de uso del suelo utilizadas para identificar la zona de mayor influencia de la vía.

Tabla 1: Categorías de uso de suelo

Categorías de uso de suelo	Descripción
Agrícola	Superficie utilizada con fines agrícolas
Institucional	Escuelas públicas
Servicio comercial	Taller mecánico, vulcanizadora.
Gobierno	GAD parroquiales.
Industria ligera	Empacadoras de banano, haciendas, fincas, peladoras de pollos, canteras, distribuidor de paneles solares.
Mobiliaria urbana	Canchas múltiples, parques, casas comunales, centros de salud, biblioteca, tenencia política, gimnasio.
Recreativo/social	Auto hoteles, iglesia, centro de hipo terapia.
Venta minorista	Tiendas minoristas.
Residencial Unifamiliar	Viviendas unifamiliares.
Transportación	Paraderos o estaciones de buses.
Depósito	Centro de acopio de cacao, banano, recicladora, garaje de cabezales, depósito de puntales de banano.

Fuente: Modeling AADT on local functionally classified roads using land use, road density, and nearest nonlocal road data [1].

En cambio, para las zonas laterales, según el reglamento aplicativo de la ley de caminos de la República del Ecuador, la distancia debe ser de 25 m. Las variables que se utilizan para determinar el índice de peligrosidad son el despeje lateral, el tipo de obstáculo, la presencia de barreras de contención y la inclinación del talud.

El índice de clasificación de peligro en la carretera (RHR) determina el nivel de peligrosidad vial, basándose en las zonas laterales de la carretera. Este índice utiliza una escala de calificación de peligros que varía de 1 a 7, donde 1 representa el nivel más bajo de peligro y 7 el más alto, con una alta posibilidad de colisionar con objetos y experimentar lesiones, tal como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2: Criterios para calcular el índice RHR

RHR	Despeje lateral (m)	Talud	Recuperación del control	Característica de la zona lateral
1	≥ 9.0	menor a 1:4	Si	Llana y no rugosa
2	6.0 - 7.5	1:4	Si	Llana y no rugosa
3	3.0	1:3 a 1:4	Si	Superficie rugosa
4	1.5 - 3.0	1:3 a 1:4	Si	Barreras, árboles, postes, otros
5	1.5 - 3.0	1:3	No	Barreras
6	< 1.5	1:2	No	Sin barrera - obstáculos rígidos
7	< 1.5	mayor a 1:2	No	Sin barrera -risco o corte vertical

Fuente: Un índice de peligrosidad para zonas laterales de carreteras de dos carriles [12].

El nivel de peligrosidad se asignará dependiendo de los parámetros que se cumplan, por otro lado, en casos donde las condiciones de las zonas laterales son cambiantes y la peligrosidad varía a lo largo de la carretera, se realizará un promedio de los niveles RHR, el cual representará la peligrosidad general de la vía [12].

Las ponderaciones establecidas fueron obtenidas mediante un proceso de jerarquía analítica (AHP), donde ingenieros civiles expertos en el área calificaron cada indicador, esto garantizó un enfoque confiable en la asignación de pesos a los diferentes criterios evaluados. El uso de suelo obtuvo un valor de 0.40, al igual que el diseño geométrico y por último para las zonas laterales se tiene un puntaje de 0.20 lo que sumado da una ponderación de 1.

El uso de suelo se evaluará mediante dos indicadores, el primero se enfoca en la importancia de la vía, tomando en consideración la categoría de mayor influencia dentro de la faja vial y la cantidad de vehículos que pasan por la carretera, si la vía cumple con ser importante para el sector se le da una ponderación de 0.15. La conectividad vial es el segundo indicador que evaluará este criterio, el cual se realiza mediante un análisis comparativo entre las distancias de los lugares adyacentes a la carretera y la clasificación de la vía mediante el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). Si el criterio se cumple se asignará una calificación de 0.25. Por otro lado, las zonas laterales se evaluarán con el indicador del índice de peligrosidad, mediante un análisis comparativo entre los datos de la observación directa y el índice de clasificación del peligro de la carretera (RHR). El criterio se cumple si la vía tiene un índice de peligrosidad bajo por lo que tendrá un valor de 0.20. En caso de no cumplir con cada criterio obtendrán una ponderación de 0. Por último, el diseño geométrico se evaluará con el cuarto indicador que se centra en la seguridad vial, analizando los elementos del diseño geométrico que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: Parámetros para la valoración de la Seguridad vial

Criterio	Indicador	Definición	Instrumento	Método	Evaluación
Seguridad vial	Distancia de visibilidad	Distancia límite a la que un vehículo visualiza a otro objeto.	Lista de cotejo -Encuesta -Despeje lateral	Análisis comparativo entre la percepción del usuario y el despeje lateral.	Cumple con una distancia de visibilidad óptima.
	Velocidad	Velocidad de diseño con la que el conductor transita por la vía conservando su seguridad.	Lista de cotejo -Encuesta -Contadores vehiculares	Análisis comparativo entre la percepción del usuario y la velocidad de diseño obtenida a partir del gráfico de ojiva de velocidades.	La vía cumple con la velocidad de diseño.
	Radio de curva	Radios de curvas medidos a lo largo de la carretera.	Lista de cotejo -Encuesta -Obtención de datos mediante AutoCAD y verificación con los parámetros de la normativa MTOP	Análisis comparativo entre la percepción del usuario, radios medidos en AutoCAD y radios mínimos establecidos por la MTOP.	Cumplen con los radios establecidos en la MTOP.
	Señales de tráfico	Presencia y nivel de deterioro de las señaléticas.	Lista de cotejo -Encuesta -Ficha de observación	Análisis comparativo entre la percepción del usuario y los datos de la inspección visual.	Cumple con la señalización adecuada.
	Barreras de protección	Presencia de barreras de protección al borde de la vía.	Lista de cotejo -Encuesta -Ficha de observación de las zonas laterales de la vía	Análisis comparativo entre la percepción del usuario y los datos de inspección visual.	Cumple con la presencia de barreras de seguridad.
	Ancho de carril	Anchos de carril medidos a lo largo de la carretera.	Lista de cotejo -Encuesta -Medición directa y verificación con la norma INEN.	Análisis comparativo entre la percepción del usuario, los datos de la medición directa y los anchos mínimos según al INEN.	Cumple con el ancho mínimo según las normas INEN.

Para determinar el nivel de seguridad vial y su ponderación, se evalúa la cantidad de parámetros que cumplen. En función del número de parámetros que se cumplan, se asignará un nivel de seguridad vial a la carretera en cuestión. Si la vía cumple con más de tres parámetros, se considerará que tiene una alta seguridad vial otorgándole un valor de 0.40. Si cumple con una cantidad de tres parámetros, se considerará que tiene una seguridad vial media por lo que obtendrá una calificación de 0.20. Por otro lado, si cumple menos de tres parámetros, se considerará que su seguridad vial es baja por lo que no cumple con el criterio y tendrá un valor de 0. Estos indicadores de evaluación se presentan en la tabla 4, donde se aborda de manera sintetizada el desarrollo de la propuesta.

Tabla 4: Indicadores para la valoración de carreteras

Proceso	Indicador	Definición	Instrumento	Método	Evaluación	Ponderación
Uso del suelo	Importancia de la vía	Grado de importancia analizada mediante las áreas de terreno utilizadas para diversos fines que se encuentran a lo largo de la vía.	Ficha de observación con las categorías de uso del suelo.	Análisis de contenido.	La vía cumple con ser importante para el sector.	0.15
	Conectividad vial	Clasificación obtenida por el TPDA y distancias para llegar a los lugares importantes de manera rápida y eficiente.	Ficha de observación con las categorías de uso del suelo. Contadores de tráfico.	Análisis comparativo entre la clasificación de la MTOP con el TPDA y las distancias a la vía.	Cumple con una adecuada conectividad vial.	0.25
Zonas Laterales	Índice de peligrosidad	Nivel de peligrosidad presente en la vía.	Ficha de observación con las variables de las zonas laterales de la vía.	Análisis comparativo entre los datos de la observación directa y el índice de clasificación del peligro de la carretera.	Cumple con un índice de peligrosidad bajo.	0.20
Diseño Geométrico	Seguridad vial	Evaluación de la distancia de visibilidad, radios de curvas, señalizaciones, velocidad, barreras y ancho de carril.	Tabla de evaluación de seguridad vial.	Análisis de los criterios de cumplimiento de la tabla 3.	Cumple con una adecuada seguridad vial.	0.40
TOTAL						1

Con el propósito de determinar la evaluación total del servicio de vialidad, se presenta a continuación la tabla 5 con tres rangos donde se califica cada parámetro en función de la revisión de artículos y criterios.

Tabla 5: Nivel de Servicio de vialidad

Ponderación	Descripción
De 0.75 a 1	Servicio de vialidad adecuado
Entre 0.5 y menor a 0.75	Servicio de vialidad regular
Menor a 0.5	Servicio de vialidad inadecuado

3. RESULTADOS

3.1. Conectividad Vial

Para la evaluación de este indicador se relacionan las variables de uso de suelo y el diseño geométrico de la vía. Mediante el uso de suelo se encontró que la mayoría de los sitios importantes se localizan a distancias considerables, lo que dificulta su acceso y puede disminuir la interacción entre los usuarios y estos lugares. Por otro lado, a través del TPDA se clasificó la vía mediante el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), esta clasificación no corresponde con el diseño geométrico actual, ya que no concuerda con las características necesarias para ser considerada una Autovía (AV1). Esto implica que no se cuenta con calzadas separadas para cada sentido de circulación y la limitación de accesos a las propiedades colindantes se ve afectada por la presencia de viviendas cercanas a la vía. En consecuencia, la conectividad vial existente no es adecuada, por lo que tendrá una ponderación de 0.

A continuación, se detallan los datos obtenidos en el uso del suelo para ampliar la información mencionada anteriormente. Mediante el software AutoCAD se determinó que a lo largo del eje vial existen 446939.49 m² de plantaciones de banano y cacao, asimismo, se contabilizaron 191 viviendas residenciales tomando en cuenta la zona de influencia considerada. Por otro lado, se registraron datos de las diferentes categorías y se encontraron dos escuelas públicas, tres mecánicas, una vulcanizadora, un GAD parroquial, una peladora de pollo, dos canteras de material pétreo, un distribuidor de paneles solares, 30 empacadoras, 14 haciendas, tres canchas múltiples, una casa comunal, un parque, una biblioteca, un espacio de tenencia política, un gimnasio, tres iglesias, dos auto hoteles, un centro de hipo terapia, 17 tiendas y restaurantes, cuatro paradas de buses, tres centros de acopio de cacao y banano, una recicladora, un garaje de cabezales y un depósito de puntales de banano. Los lugares antes mencionados fueron considerados los más importantes y los que representan el mayor flujo peatonal a lo largo de la vía por lo que se optó por no limitar la búsqueda a la faja de 30 m.



Figura 2: Extracción del uso del suelo dentro de una zona de influencia de 30 m

Adicionalmente, se ha identificado un total de 98 lugares relevantes a lo largo de la vía, considerando distancias que van desde los 5 hasta los 800 m. De este total, el 48.98% corresponde a 48 lugares que se encuentran ubicados a una distancia de 5 a 20 m del eje vial y son considerados cercanos a la vía, mientras que el 51.02% les pertenecen a los 50 lugares que se encuentra en un rango de 20 a 800 m. Esta información fue relevante ya que permitió identificar los lugares de mayor interés y su relación con la vía en cuestión.

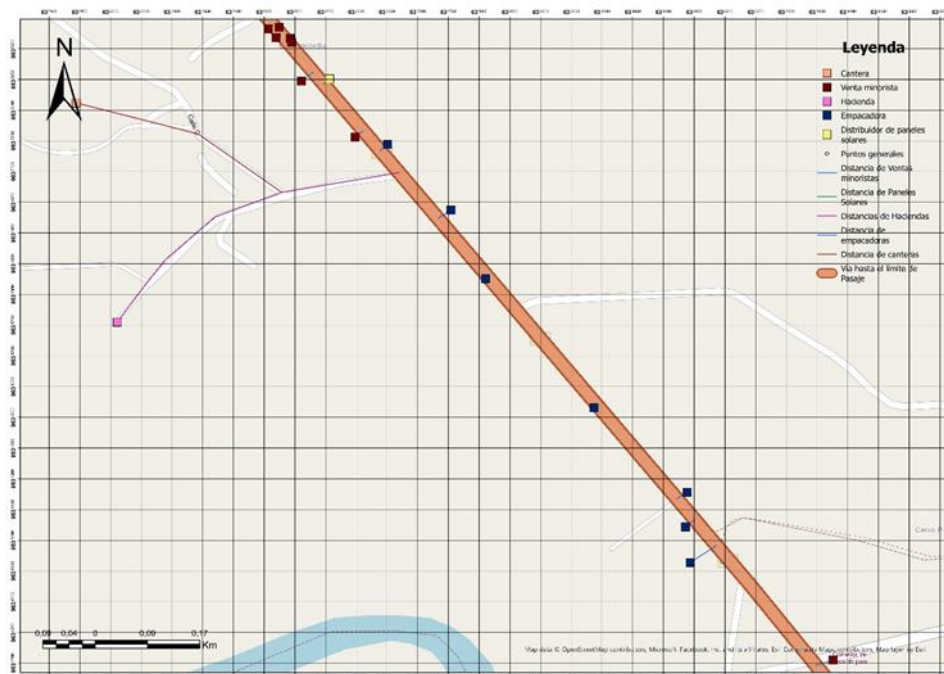


Figura 3: Distancias de lugares próximos a la vía

Para determinar el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) se utilizó la información recolectada por los contadores vehiculares durante los tres días de aforo. Los resultados indican que en la dirección de Pasaje al Guabo se tiene un TPDA de 6293 vehículos y se proyecta un tráfico futuro de 12198 vehículos, categorizando la vía como una Autovía (AV1) según la clasificación de la MTOP. En la dirección opuesta, de Guabo a Pasaje, se obtuvo un TPDA de 4544 vehículos y se proyecta un tráfico futuro de 9296 vehículos, siendo categorizada como una Autovía (AV1). Para el cálculo del tráfico futuro se utilizó el tráfico asignado obtenido a partir del TPDA, una tasa de crecimiento que depende del tipo de vehículo y un periodo de proyección de 20 años.

3.1.1. Importancia De La Vía

La superficie total de la vía E584 Pasaje – El Guabo, considerando la faja de 30 m de ancho, es de 701206.69 m². Del total, 446939.49 m² correspondiente al 63.74% se compone de zonas agrícolas con plantaciones de banano y cacao, mientras que la superficie restante está ocupada por zonas comerciales, residenciales y terrenos baldíos; lo cual refleja que la vía de estudio está fuertemente influenciada por la extensa zona agrícola que la rodea. De la misma forma, tomando en consideración que cuenta con una gran afluencia de vehículos, y que desempeña un papel fundamental al conectar dos importantes cantones y cinco comunidades rurales, dentro de las cuales se encuentran lugares de gran relevancia que generan un gran flujo de personas, la convierte en una ruta esencial ya sea para el transporte o la comercialización de productos. Por estas razones, se le otorga el puntaje máximo de 0.15 que le corresponde a este indicador.

3.2. Índice De Peligrosidad

Los datos recopilados en campo de las zonas laterales se presentan en detalle en la tabla 6. Estos datos resultan indispensables para evaluar y determinar el nivel de peligrosidad de la carretera. La información contenida en esta tabla proporciona aspectos relevantes de las zonas laterales.

Tabla 6: Resultado del Índice de peligrosidad

Sección	# Tramos	Despeje (m)	Barreras	Obstáculos (#)	Distancias a obstáculos
Rectas	18	0 – 5.3	No	Árbol (23), Zanja (17), Poste (120), Rocas (7), Plantaciones de banano y cacao (228765.54 m ²), Linderos (11), Casas (43), Cerramientos o muros (18)	Menos de 3 m
Curvas	17	0 – 10	No	Árbol (24), Zanja (9), Poste (51), Cúmulos de rocas (25), Plantaciones de banano y cacao (57945.07 m ²), Linderos (10), Casas (31), Cerramientos o muros (3).	Menos de 3 m

En base al índice RHR se determinó la clasificación del peligro de la carretera, alcanzando un puntaje de nivel 6 que hace alusión a una peligrosidad alta, por tal motivo, tendrá una valoración de 0. Este nivel de peligrosidad se caracteriza por diversos parámetros, como un despeje lateral menor a 1.5 m, ausencia de barreras de protección y la presencia de obstáculos rígidos. Es importante mencionar que a partir de los datos de uso de suelo se determina la influencia predominante de las zonas agrícolas, en donde las plantaciones de banano y cacao, se destacan de los obstáculos mencionados en la tabla 6, ya que se encuentran muy próximas a la vía. Esta cercanía reduce significativamente el espacio disponible para maniobrar y recuperar el control de un vehículo en caso de pérdida de estabilidad.

3.3. Seguridad Vial

Para determinar la seguridad vial se consideraron los siguientes parámetros: distancia de visibilidad, velocidad, radios de curvas, señaléticas, barreras de protección y ancho de carril. Estos elementos geométricos se evaluaron tomando en cuenta la perspectiva del usuario y datos de las zonas laterales. La encuesta abordó seis preguntas, cada una de ellas correspondía a los parámetros evaluados, y fueron realizadas a conductores que circulan diariamente por la vía en cuestión, lo que garantiza que sus respuestas reflejan la situación actual de la misma. De un total de 68 personas encuestadas, 60 fueron hombres (88%) y 8 mujeres (12%). Los participantes contaban con experiencia de conducción de 1 a 50 años y edades comprendidas entre los 20 y 80 años.

3.3.1. Distancia De Visibilidad

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI – 12) para una velocidad de diseño de 60 km/h la distancia de visibilidad de parada debe estar dentro del rango de 74 a 85 m. Mediante el software AutoCAD se determinó que geométricamente 13 de las curvas no cumplen con lo establecido en la normativa. De la misma manera, con los datos de la inspección directa de las zonas laterales se identificó que 11 curvas no tienen despeje lateral, lo que resulta en una visibilidad inadecuada debido al crecimiento de maleza en los bordes de la carretera. Asimismo, las otras seis curvas restantes cuentan con un despeje lateral de solo 1.5 m, lo cual no es suficiente para garantizar una buena visibilidad y seguridad vial. Además de lo anterior, al preguntar sobre la distancia de visibilidad en las curvas, se encontró que el 52% de los encuestados consideraron que esta distancia es poca, mientras que el 35% opinaron que es nula y tan solo el 13% afirmaron que la distancia es buena, de tal manera se tiene congruencia entre las tres fuentes de evaluación.

3.3.2. Velocidad

Siguiendo con los resultados de las encuestas, enfocados esta vez en la velocidad, se obtuvo que el 44% de los conductores toman las curvas dentro de un rango de 50 – 60 km/h, mientras que el 28% conducen con una velocidad menor a 50 km/h y el 28% restante mayor a 60 km/h. Al contrastar esta información con los datos proporcionados por el contador vehicular, se identificó que las velocidades de diseño que corresponden al percentil 85% de Pasaje al Guabo es de 66 km/h y en la dirección opuesta El Guabo- Pasaje es de 52 km/h. Realizando un promedio entre ambas velocidades, se obtuvo una velocidad de 59 km/h, lo que confirma que la mayoría de los conductores circulan dentro del rango registrado por el contador.

3.3.3. Radios De Curvas

Las NEVI 12, establecen una recomendación mínima para el radio de las curvas en función de las velocidades de diseño y los peraltes. Con una velocidad de diseño de 59 km/h y un peralte máximo de 4%, el radio mínimo recomendado es de 145 m. Para determinar si las curvas de la vía cumplen con lo establecido en el reglamento, se midió con precisión los radios de curvatura, utilizando el software AutoCAD y se realizó un análisis comparativo, obteniendo que, de las 17 curvas de la carretera, solamente cuatro no cumplen con la normativa. En cambio, los resultados de la encuesta sobre la peligrosidad de las curvas revelaron que el 69% de los conductores consideran que son muy peligrosas, mientras que el 29% las encuentran poco peligrosas y solo el 2% asegura que no son peligrosas. Aunque la mayoría de las curvas cumplen con el radio mínimo recomendado, los conductores perciben que estas son muy peligrosas debido a factores externos, tales como las distancias de visibilidad, el despeje lateral y la presencia de obstáculos laterales en la vía.



Figura 4: Radios de curvas medidos en AutoCAD

3.3.4. Señaléticas

Durante la inspección visual realizada, se observó que algunas de las señaléticas horizontales y verticales no están presentes o tienen un nivel de deterioro alto. Por otro lado, a través de otra pregunta planteada en la encuesta acerca de la señalización en la vía, el 93% de los conductores han expresado que hay una escasez de estas señales y que las pocas disponibles no son suficientes. Con estos datos obtenidos, se ha confirmado que las señaléticas existentes en la carretera están en mal estado y que hay algunas señales faltantes que son importantes para garantizar la seguridad en la conducción.

3.3.5. Barreras De Protección Y Ancho De Carril

Con respecto a las barreras de protección, según los resultados de la observación realizada en las zonas laterales se evidenció la inexistencia de estos elementos a lo largo de la vía. Esto concuerda con la última pregunta relacionada a la seguridad vial, donde los encuestados expresaron que es necesario implementar barreras y protecciones laterales en la vía de estudio para asegurar la seguridad de los usuarios. La incorporación de estos dispositivos no solo aumenta la seguridad, sino que también proporciona una sensación de confianza y tranquilidad a los conductores que transitan por la zona.

En cuanto al ancho de carril, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) de Señalización Vial establece que para una velocidad de 50 a 90 km/h, el ancho de carril adecuado esta entre 3 y 3.50 m. Por lo tanto, el ancho actual de 3.70 m cumple con los estándares establecidos por la normativa. Para el análisis del indicador de seguridad vial, es importante tener en cuenta que los parámetros de barreras de protección y ancho de carril pueden variar según la vía que se esté analizando y la percepción del usuario.

En la tabla 7 se resumen los resultados de la evaluación de seguridad vial y con los criterios establecidos se identificó que la vía cumple con tres parámetros de seguridad y no cumple con otros tres. Obteniendo que la vía cuenta con un nivel de seguridad vial medio, por lo que se le otorga un valor de 0.20 a este indicador.

Tabla 7: Resultados de la evaluación de Seguridad vial

Indicador	Parámetro	Definición	Cumple/No Cumple
Seguridad vial	Distancia de visibilidad	Distancia limite a la que un vehículo visualiza a otro objeto.	No
	Velocidad	Velocidad de diseño con la que el conductor transita por la vía conservando su seguridad.	Si
	Radio de curva	Radios de curvas medidos a lo largo de la carretera.	Si
	Señales de tráfico	Presencia y nivel de deterioro de las señaléticas.	No
	Barreras de protección	Presencia de barreras de protección al borde de la vía.	No
	Ancho de carril	Anchos de carril medidos a lo largo de la carretera.	Si

Considerando cuidadosamente las variables previamente jerarquizadas de forma analítica, se realizó un exhaustivo análisis para determinar si cada indicador cumple con los criterios establecidos. En la tabla 8 se presentan los resultados de las evaluaciones, donde cada indicador fue calificado de acuerdo con las ponderaciones asignadas.

Tabla 8: Resultados de la evaluación de carreteras

Proceso	Indicador	Definición	Cumple	Ponderación
Uso del suelo	Importancia de la vía	Grado de importancia analizado mediante las áreas de terreno utilizadas para diversos fines que se encuentran a lo largo de la vía.	Si	0.15
	Conectividad vial	Clasificación obtenida por el TPDA y distancias para llegar a los lugares importantes de manera rápida y eficiente.	No	0
Zonas laterales	Índice de peligrosidad	Nivel de peligrosidad presente en la vía.	No	0
Diseño geométrico	Seguridad vial	Evaluación de los siguientes parámetros: distancia de visibilidad, radios de curvas, señaléticas, velocidad, barreras de protección y ancho de carril.	Si, cumple parcialmente	0.20
TOTAL				0.35

Utilizando la metodología propuesta se alcanza un valor de ponderación final de 0.35, lo que evidencia que los usuarios de la vía E584 Pasaje – El Guabo reciben un inadecuado servicio de vialidad.

Tabla 9: Resultado del Servicio de vialidad

Ponderación	Descripción
Menor a 0.5	Servicio de vialidad inadecuado

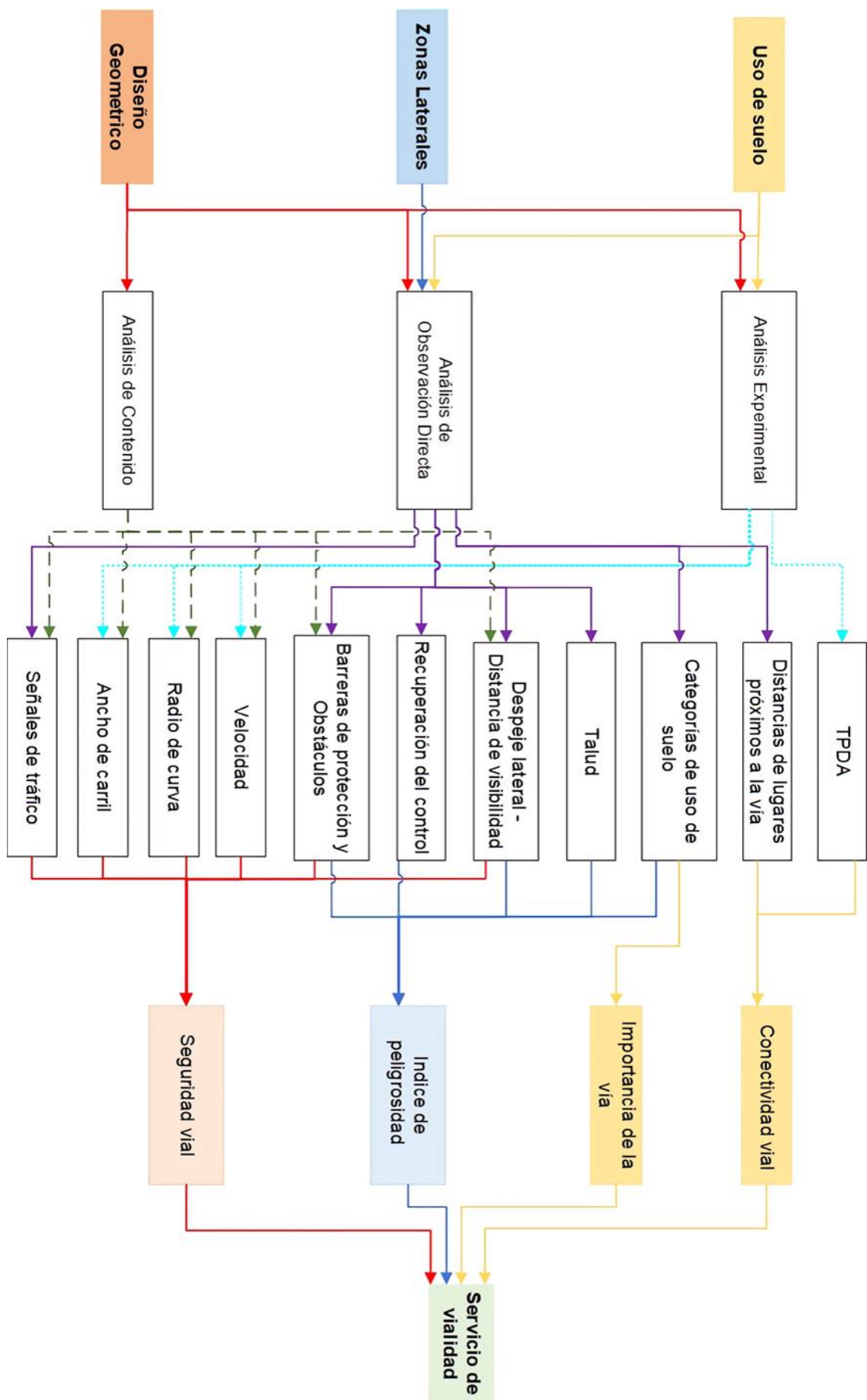


Figura 5: Propuesta Metodológica

En la figura 5, se presentan los procesos técnicos que forman parte de la propuesta metodológica. El uso del suelo se centra en el indicador de importancia de la vía, identificando y considerando las categorías de uso de suelo que tienen una mayor influencia en la zona. La relación entre el uso de suelo y diseño geométrico se enfoca en el indicador de conectividad vial, estableciendo la relación entre las distancias de los lugares con mayor flujo peatonal a la carretera y la clasificación de la vía según la normativa MTOP obtenida a partir del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). Por otro lado, el uso de suelo y las zonas laterales se conectan a través del indicador del índice de peligrosidad, el cual vincula la categoría de uso de suelo que predomina dentro de la faja vial con los obstáculos presentes en los costados de la vía. En cambio, el diseño geométrico y las zonas laterales se vinculan mediante el indicador de seguridad vial, comparando los parámetros de las características geométricas de la carretera como distancia de visibilidad, radios de curvas, velocidad, barreras, ancho de carril y señaléticas, con la perspectiva del usuario, la normativa vigente y las variables de las zonas laterales como el despeje lateral y la presencia de barreras de protección. Por lo tanto, con los cuatro indicadores se obtiene como resultado el servicio de vialidad que reciben los usuarios de una determinada vía, esta evaluación es importante porque permite determinar las deficiencias que presenta una carretera y con ello establecer propuestas para mejorarlas.

4. CONCLUSIONES

La investigación realizada ha sido respaldada por varios artículos que han abordado criterios claves como el uso de suelo, las zonas laterales y el diseño geométrico. Estos aspectos han sido fundamentales en el desarrollo de la metodología para el diseño geométrico sostenible de ejes viales en vías intercantonales. Además, se identificaron los aspectos que afectan el servicio de vialidad mediante el análisis de diversos indicadores, como la importancia de la vía, la conectividad vial, el índice de peligrosidad y seguridad vial. Este último indicador abarcó varios elementos relacionados con el diseño geométrico, como la distancia de visibilidad, la velocidad, los radios de curva, las señales de tráfico, las barreras de protección y el ancho de carril. Al evaluar estos parámetros, se podrá determinar si la vía requiere mejoras en términos de diseño para reducir su nivel de peligro y obtener un tráfico eficiente.

Con la metodología de diseño geométrico de carreteras propuesta se evaluó la vía e584 pasaje - el guabo y se obtuvo como resultado una ponderación de 0.35, lo cual indica que los usuarios reciben un inadecuado servicio de vialidad. Se identificaron problemas en cuanto a la conectividad vial, ya que los puntos con mayor flujo peatonal se encuentran a distancias considerables, dificultando su accesibilidad. En el análisis de las zonas laterales se constató que un vehículo no sería capaz de recuperar el control en caso de pérdida de estabilidad. Por último, se determinó que la vía es parcialmente segura debido a la insuficiente distancia de visibilidad, la ausencia de barreras de protección y la falta de señalización adecuada. Estas deficiencias se aprecian claramente a través de los indicadores utilizados en la evaluación, por lo tanto, la validez de la metodología se respalda al demostrar su capacidad para detectar y abordar las deficiencias existentes en el diseño de las carreteras.

Considerando las características del entorno, el uso de suelo y las expectativas de los usuarios, se pueden tomar decisiones adecuadas que minimicen los impactos ambientales, maximicen la eficiencia y desarrollen propuestas que contribuyan al mejoramiento del servicio de vialidad y a la seguridad de los conductores.

Esta metodología procura un equilibrio entre el desarrollo económico y social, así como la mejora de la experiencia de los usuarios, lo que a su vez contribuye a que el diseño geométrico sostenible de ejes viales sea apropiado para las comunidades y el entorno en general.

1. S. S. Pulugurtha and S. Mathew, "Modeling AADT on local functionally classified roads using land use, road density, and nearest nonlocal road data," *Journal of Transport Geography*, vol. 93, May 2021, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103071.
2. M. P. Bobermin, M. M. Silva, and S. Ferreira, "Driving simulators to evaluate road geometric design effects on driver behaviour: A systematic review," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 150, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2020.105923.
3. S. A. R. Shah and N. Ahmad, "Road infrastructure analysis with reference to traffic stream characteristics and accidents: An application of benchmarking based safety analysis and sustainable decision-making," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 11, Jun. 2019, doi: 10.3390/app9112320.
4. Y. Wang, W. Y. Szeto, K. Han, and T. L. Friesz, "Dynamic traffic assignment: A review of the methodological advances for environmentally sustainable road transportation applications," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 111, pp. 370–394, May 2018, doi: 10.1016/j.trb.2018.03.011.
5. M. H. Islam, L. Teik Hua, H. Hamid, and A. Azarkerdar, "Relationship of Accident Rates and Road Geometric Design," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 357, no. 1, Nov. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/357/1/012040.
6. D. Llopis Castelló, A. M. Pérez Zuriaga, F. J. Camacho Torregrosa, and A. García, "Impact of horizontal geometric design of two-lane rural roads on vehicle co2 emissions," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 59, pp. 46–57, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.trd.2017.12.020.
7. H. Jeong and Y. Liu, "Effects of non-driving-related-task modality and road geometry on eye movements, lane-keeping performance, and workload while driving," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 60, pp. 157–171, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.trf.2018.10.015.
8. B. Wang, S. Hallmark, P. Savolainen, and J. Dong, "Examining vehicle operating speeds on rural two-lane curves using naturalistic driving data," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 118, pp. 236–243, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.AAP.2018.03.017.
9. K. F. (Ken) Wu and T. Lin, "Investigating the effects of travel lane configuration and lane width on traffic safety where powered-two-wheelers (PTWs) share with larger vehicles: A micro perspective," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 172, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.AAP.2022.106682.
10. Á. Arcos García, J. A. Álvarez García, and L. M. Soria Morillo, "Evaluation of deep neural networks for traffic sign detection systems," *Neurocomputing*, vol. 316, pp. 332–344, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.NEUCOM.2018.08.009.
11. D. Babić and T. Brijs, "Low cost road marking measures for increasing safety in horizontal curves: A driving simulator study," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 153, p. 106013, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.AAP.2021.106013.
12. J. I. Rivera and T. Echaveguren, "Un índice de peligrosidad para zonas laterales de carreteras de dos carriles," *Dyna (Medellin)*, vol. 81, no. 184, pp. 55–61, 2014, doi: 10.15446/DYNA.V81N184.38929.
13. X. Ye, X. Wang, S. Liu, and A. P. Tarko, "Feasibility study of highway alignment design controls for autonomous vehicles," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 159, p. 106252, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.AAP.2021.106252.
14. E. Papadimitriou, A. Filtness, A. Theofilatos, A. Ziakopoulos, C. Quigley, and G. Yannis, "Review and ranking of crash risk factors related to the road infrastructure," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 125, pp. 85–97, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.AAP.2019.01.002.
15. D. Farooq, S. Moslem, and S. Duleba, "Evaluation of Driver Behavior Criteria for Evolution of Sustainable Traffic Safety," *Sustainability*, vol. 11, no. 11, Jun. 2019, doi: 10.3390/SU11113142.
16. Y. García Ramírez, J. Camacho, and J. Montoya, "Uso del modelo iRAP para evaluar la seguridad vial en carreteras de dos carriles en Ecuador," *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, vol. 4, no. 1, pp. 7–23, Jul. 2021, doi: 10.22206/CYAP.2021.V4I1.PP7-23.
17. L. Xie, C. Wu, N. Lyu, and Z. Duan, "Studying the effects of freeway alignment, traffic flow, and sign information on subjective driving workload and performance," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 11, no. 5, pp. 37–49, May 2019, doi: 10.1177/1687814019853925.
18. A. Dhankutea and M. Parida, "Risk Analysis of Rural Four Lane Divided Highway Based on Risk Index Determination By Road Safety Audit," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol. 13, pp. 1927–1947, Dec. 2019, doi: 10.11175/EASTS.13.1927.
19. S. Das and I. Tsapakis, "Interpretable machine learning approach in estimating traffic volume on low-volume roadways," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 76–88, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.IJTST.2019.09.004.
20. A. Sfyridis and P. Agnolucci, "Annual average daily traffic estimation in England and Wales: An application of clustering and regression modelling," *Journal of Transport Geography*, vol. 83, p. 102658, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.JTRANGE.2020.102658.

21. B. Farahmand and A. M. Boroujerdian, "Effect of road geometry on driver fatigue in monotonous environments: A simulator study," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 58, pp. 640–651, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.trf.2018.06.021.
22. X. Wen, Y. Xie, L. Wu, and L. Jiang, "Quantifying and comparing the effects of key risk factors on various types of roadway segment crashes with LightGBM and SHAP," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 159, p. 106261, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.AAP.2021.106261.
23. P. E. Álvarez Perdomo, M. Tamayo Saborit, and J. L. Govea Vilcacundo, "Técnicas multivariadas: una contribución al análisis económico financiero en PYMES bananeras ecuatorianas," *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. 4, pp. 475–485, Sep. 2022, Accessed: Jun. 11, 2023. [Online]. Available: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/3069>
24. T. G. Vega Armijos, H. Vite Cevallos, H. Carvajal Romero, and V. J. Garzón Montealegre, "Dependencia económica y social de la producción de banano orgánico en el sitio La Palestina, cantón El Guabo, período 2017-2020," *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, vol. 4, no. S1, pp. 129–136, Jun. 2021, Accessed: Jun. 11, 2023. [Online]. Available: <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/420>
25. M. Bassani, L. Catani, A. Salussolia, and C. Y. D. Yang, "A driving simulation study to examine the impact of available sight distance on driver behavior along rural highways," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 131, pp. 200–212, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.AAP.2019.07.00