



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**Evaluación del impacto de los cierres viales en el desempeño logístico de las
cadenas de suministro en la región Pacífico de Colombia**

Marvin Esteban Carmona Arias

Trabajo de Grado
Maestría en ingeniería Industrial
Cali – Colombia
2025

Evaluación del impacto de los cierres viales en el desempeño logístico de las cadenas de suministro en la región Pacífico de Colombia

Marvin Esteban Carmona Arias

Trabajo de grado como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería industrial

Director

Nicolas Clavijo Buriticá

**Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de ingeniería y ciencias
Maestría en ingeniería Industrial
Cali – Colombia
2025**

Agradecimientos

Primero, agradezco a Dios por darme la fortaleza, salud, inteligencia y sabiduría necesarias para completar este proyecto. A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y sacrificios, que fueron el motor para seguir adelante. A mi director de tesis, por su invaluable apoyo, guía y paciencia a lo largo de este camino. También agradezco a la Pontificia Universidad Javeriana de Cali por brindarme el espacio y las herramientas para llevar a cabo este estudio. Finalmente, reconozco mi propio esfuerzo, determinación y dedicación para superar cada desafío y alcanzar esta meta.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	11
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	14
	1.2.1 Objetivo General.....	14
	1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.1	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	14
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3	METODOLOGÍA.....	16
2	REVISIÓN BIBLIOMÉTRICA Y ANTECEDENTES DE LA LITERATURA.....	22
2.1	ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.....	22
2.2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	26
3	RESULTADOS.....	34
3.1	COMPRENSIÓN DEL TEMA.....	34
3.2	COMPRENSIÓN DE LOS DATOS.....	36
	3.2.1 Extracción de información.....	36
	3.2.2 Análisis de información.....	36
3.3	PREPARACIÓN DE LOS DATOS.....	38
	3.3.1 Selección de datos.....	39
	3.3.2 Limpieza y organización de datos.....	40
	3.3.3 Transformación de datos.....	45
3.4	INTEGRACIÓN DE DATOS.....	51
3.5	INTERPRETACIÓN, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DATOS.....	52
	3.5.1 interpretación de datos a nivel nacional.....	53
	3.5.2 Interpretación de cierres viales en Tramos.....	57
	3.5.3 Descripción de número de vehículos por tramo.....	61
	3.5.4 Correlación de factores de cierres.....	62
	3.5.5 Tiempo de recuperación del sistema.....	64
	3.5.6 Cierres simultáneos.....	67
	3.5.7 Encuesta a transportistas.....	70
	3.5.8 Evaluación de la criticidad operativa en los tramos viales.....	72

4	DISCUSIÓN.....	75
4.1	TIEMPOS DE ESPERA	76
4.2	COSTOS DE FLETES.....	78
4.3	SECTOR CEREAL.....	82
4.4	SECTOR AZUCARES Y CONFITERÍAS	85
4.5	ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS	87
	4.5.1 Análisis de grupos con K-means.....	89
	4.5.2 Análisis cierres viales y lluvias región pacífico.	96
	4.5.3 Análisis de probabilidades	98
4.6	CONSIDERACIONES	99
5	CONCLUSIONES	103
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
	ANEXO 1. ENTREVISTA.....	113
	ANEXO 2. MATRIZ DE ADYACENCIA DE RECORRIDOS.....	113

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Marco de metodología CRISP DM (Khan & Abonyi, 2022)	17
Ilustración 2. Diagrama de flujo de proceso de metodología	18
Ilustración 3. Visualización de paisaje científicos, road closures (Elaborado con VOS viewer)23	
Ilustración 4. Visualización de paisaje científicos, impacts on Supply chain (Elaborado con VOS viewer)	24
Ilustración 5. Visualización de paisaje científicos, transportation disruptions (Elaborado con VOS viewer)	25
Ilustración 6. Perdida de bancada (Saldarriaga, 2022)	35
Ilustración 7. Inundación (El Herald, 2011)	35
Ilustración 8. Deslizamiento de tierra (Caracol Radio, 2020)	35
Ilustración 9. Mantenimiento vial (La república, 2023e)	35
Ilustración 10. Protestas (Revista Semana, 2023)	35
Ilustración 11. Restricciones a vehículos de carga (Colombia, 2023)	35
Ilustración 12. Diagrama general de evaluación (Elaboración propia)	37
Ilustración 13. Tipología vehicular general (Ministerio de transporte de Colombia, 2024a)	37
Ilustración 14. Diagrama de Pareto cierres viales Colombia (Elaboración con Excel)	38
Ilustración 15. Preparación, selección y reducción de datos (Elaboración propia)	40
Ilustración 16. Mapa de tramos viales, áreas departamentales. (Google, 2024)	44
Ilustración 17. Carga transportada a nivel nacional por regiones	53
Ilustración 18. Carga transportada origen/destino interdepartamental	54
Ilustración 19. Pareto de cierres viales por tramo - Periodo enero 2018 a junio 2020	58
Ilustración 20. Cierres con paso restringido por tramo, definiendo factor de cierre	58
Ilustración 21. Pareto factores de cierres con paso restringido	59
Ilustración 22. Cierres totales por tramo vial, definiendo factor de cierre	59
Ilustración 23. Pareto Cierre total	60
Ilustración 24. Flujo vehicular promedio mensual por cada Tramo	62
Ilustración 25. Rangos de coeficiente de correlación	63
Ilustración 26. Matriz de correlación entre factores de cierres viales	63
Ilustración 27. Criterios y valoración de la criticidad operativa	73
Ilustración 28. Mapa de tramos de mayor impacto en costo flete. (Google, 2024)	81
Ilustración 29. Scatter Plot factor de cierre, número de vehículos y tipo de cierre.	90

Ilustración 30. Scatter Plot de tiempos de afectacion, número de vehiculos y tipo de carretera.	92
Ilustración 31. Scatter Plot tramo vial, número de vehículos y sector económico relevante.....	94
Ilustración 32. Scatter Plot factor de cierre, número de vehículos y sector económico relevante	95
Ilustración 33. Flujo vehicular acumulado tramo 4001	97
Ilustración 34. Diagrama de probabilidades, cierre vial en tramo 4001 (Vía a Buenaventura) .	99

Índice de tablas

Tabla 1. Revisión de la literatura de Impactos viales.....	31
Tabla 2. Resoluciones de cierres viales	41
Tabla 3. Tramos viales, áreas departamentales. (Elaboración propia)	43
Tabla 4. Conjuntos para modelación de tramos y cierres viales	47
Tabla 5. Movilización de carga de acuerdo con el origen (Kg)	54
Tabla 6. Movilización de carga de acuerdo con el destino (Kg)	55
Tabla 7. Principales tipologías vehiculares para transporte de carga Colombia	55
Tabla 8. Flujo de Carga departamentos de la región Pacifico (Kg).....	56
Tabla 9. Principales tipologías vehiculares para transporte de carga región Pacifico	56
Tabla 10. Pareto de los principales tipos de productos de la región Pacifico.....	57
Tabla 11. Analítica Descriptiva por factor de cierre vial	61
Tabla 12. Duración promedio de cierres viales en la región pacifico en días.....	65
Tabla 13. Análisis descriptivo cierres con paso restringido.....	66
Tabla 14. Análisis descriptivo cierre total.	66
Tabla 15. Análisis estadístico cierres viales por tramos y tipo de cierre	67
Tabla 16. Media de cierres simultáneos por tramo.....	68
Tabla 17. Análisis estadístico de cierres viales con paso restringido simultaneo.....	69
Tabla 18. Análisis estadístico de cierres totales simultáneos.	69
Tabla 19. Análisis descriptivo de cierres simultáneos en tramos de la región pacifico.....	70
Tabla 20. Tiempo de afectación vehicular bajo escenario de criticidad	71
Tabla 21. Matriz de criticidad operativa en los tramos viales dado cada mes evaluado.	74
Tabla 22. Sumatoria de horas de cierres viales.....	76
Tabla 23. Promedio de horas por cierre vial, de acuerdo con el nivel de criticidad.....	77
Tabla 24. Análisis descriptivo horas de cierres región pacifico.....	78
Tabla 25. Costo promedio de flete por hora (pesos colombianos).....	79
Tabla 26. Vehículos promedio mensual que transitan en tramos de la región pacifico por mes.	80
Tabla 27. Sobrecosto acumulado de impacto económico en fletes (pesos colombianos).....	80
Tabla 28. Movilización de carga de Cereales (Kilogramos).....	82
Tabla 29 Sumatoria de horas de cierres viales sector cereal	83
Tabla 30. Análisis descriptivo de espera en horas de cierres viales sector cereal.....	83
Tabla 31. Vehículos promedio día por tipología en tramos del sector cereal.....	84

Tabla 32. Sobrecosto acumulado de impacto económico en fletes del sector cereal (pesos colombianos).....	84
Tabla 33. Movilización de carga de Azúcares y artículos de confitería en kilogramos.	85
Tabla 34. Sumatoria de horas de cierres viales sector azúcares y confiterías.	86
Tabla 35. Análisis descriptivo de espera en horas de cierres viales sector cereal.....	86
Tabla 36. Vehículos promedio día por tipología en tramos del sector azúcares y confiterías. .	87
Tabla 37. Sobrecosto acumulado de impacto económico en fletes del sector azúcares y confiterías.	87
Tabla 38. Resultados de coeficiente de silueta en factor cierre, tipo de cierre y número de vehículos.....	89
Tabla 39. Resultados de coeficiente de silueta entre tiempo de afectación, número de vehículos y tipo de carretera.	91
Tabla 40. Resultados de coeficiente de silueta entre tramo vial, número de vehículos y sector económico relevante.....	93
Tabla 41. Resultados de coeficiente de silueta entre factor de cierre, número de vehículos y sector económico relevante.....	95
Tabla 42. Correlación entre número de cierres viales frente a nivel de precipitación en la zona.	97

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Formulación de movimientos de vehículos.	49
Ecuación 2. Formulación movimiento de carga.....	50
Ecuación 3. Costo de flete por kilometro.....	50
Ecuación 4. Costo de flete por hora.	50
Ecuación 5. Impacto de costo flete.....	51
Ecuación 6. Condiciones lógicas.....	51
Ecuación 7. Límite superior e inferior al 95% de confianza.	71

Resumen

Los cierres viales en la región Pacífico de Colombia generan interrupciones en las cadenas de suministro, afectando costos logísticos y tiempos de entrega. Este estudio analiza el impacto de estas interrupciones a partir de datos históricos del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) e INVIAS, abarcando el periodo entre enero de 2018 y junio de 2020. El enfoque adoptado se basa en la aplicación de análisis de datos, especialmente con alcance descriptivo y de diagnóstico para identificar los tramos viales más críticos y su relación con la eficiencia operativa del transporte de carga. Además, se evalúan la frecuencia, criticidad por tramo y duración de los cierres, determinado el impacto en los sectores económicos más relevantes. Los hallazgos proporcionan información clave que contribuyen a la planificación logística y facilitar la toma de decisiones en el sector privado y público en la región bajo estudio.

Palabras clave

Análisis de datos, Resiliencia, Impactos, Cierres viales, CRISP DM

Summary

Road closures in the Pacific region of Colombia generate disruptions in supply chains, affecting logistics costs and delivery times. This study analyzes the impact of these disruptions based on historical data from the Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) and INVIAS, covering the period between January 2018 and June 2020. The approach adopted is based on the application of data analysis, especially with descriptive and diagnostic scope to identify the most critical road sections and their relationship with the operational efficiency of freight transportation. In addition, the frequency, criticality by section and duration of closures are evaluated, and the impact on the most relevant economic sectors is determined. The findings provide key information that contributes to logistics planning and facilitates decision making in the private and public sectors in the region under study.

Key words

Data analysis, Resilience, Impacts, Road closures, CRISP DM

1 Introducción

El transporte por carretera facilita la movilización de bienes a varios destinos, por lo cual, es posible afirmar que pocos productos se mueven sin requerir el método de transporte terrestre (Chase et al., 2009). El modo de transporte terrestre es el principal modo de transporte en Colombia, movilizándolo alrededor del 77% del movimiento de mercancías en la última década (Consejo Privado de competitividad, 2022). Colombia en 2019 fue clasificada en conexión vial con una puntuación de 65.4 sobre 100, ocupando el puesto 97 en el mundo. Igualmente fue calificada frente a la calidad de la infraestructura de transporte con 43.8 sobre 100 (Schwab, 2019). Por consecuencia, se evidenció que el país ha tenido un gran reto frente a infraestructura y conectividad terrestre.

Los corredores logísticos terrestres son rutas de enlace en uno o varios orígenes y destinos para el flujo de personas y mercancías, que, para el caso de Colombia, de acuerdo con el (ANDI, 2019), los de mayor importancia estratégica son Bogotá – Cali, Medellín – Cali, Bogotá – Barranquilla, Bogotá – Bucaramanga, Medellín – Bucaramanga, Bogotá – Villavicencio y Bogotá – Yopal. No obstante, debido a su proximidad geográfica a las operaciones de importación y exportación de productos con Latinoamérica y el resto del mundo, los corredores viales de la región Pacífica de Colombia juegan un papel significativo en la economía del país. El puerto de Buenaventura juega un papel importante en la región al importar el 38.7% de materias primas y productos intermedios para la industria y la agricultura y exportar el 20.7% a nivel portuario en 2023 (Cámara de comercio de Cali, 2023). Igualmente, la ruta panamericana que atraviesa la región Pacífica es crucial para mejorar la competitividad de Colombia en el mercado internacional (Lloreda Becerra et al., 2022).

Por lo tanto, contar con datos precisos y actualizados es esencial para la visibilidad de la cadena de suministros, lo que permite generar estrategias y nuevo conocimiento que apoyen la toma de decisiones, por lo cual es esencial gestionar eficientemente el transporte de cargas por las vías de la región (Bag et al., 2022). Para mejorar la toma de decisiones basada en análisis, cada vez más organizaciones utilizan datos externos estructurados, semiestructurados o no estructurados junto con sus propios datos internos (Deb Nath et al., 2017). El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia proporciona información en tiempo real sobre los cierres viales en todo el país (Instituto Nacional de Vías, 2024a), pero los datos históricos aún no están disponibles. El Ministerio de Transporte de Colombia permite la consulta y descarga de datos sobre las cargas movilizadas por los diversos corredores logísticos en la página web del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC), que incluye información sobre la tipología

de vehículos, los tipos de productos transportados y los costos de fletes (Ministerio de transporte de Colombia, 2024a).

Basado en las fuentes descritas, se extrae información en un período de tiempo que abarca desde enero de 2018 hasta junio de 2020. De la cual, se analizaron los cierres viales, los tiempos estimados de recuperación de las carreteras de la zona y los efectos en los dos principales sectores económicos en relación con la movilización de carga. El análisis se realizó con la metodología CRISP-DM (Proceso Estándar Cruzado para la Minería de Datos en la Industria), la cual goza de gran popularidad en el ámbito del análisis y la minería de datos. Esta metodología se compone de seis fases principales, que guían el proceso de análisis de datos desde la comprensión del problema general y de los datos, seguido por la preparación de los datos y el modelado, finalizando con la evaluación e implementación de los resultados (Schröer et al., 2021).

Este documento está estructurado en 5 capítulos, donde se detalla el impacto de los cierres de carreteras en los indicadores de las cadenas de suministro durante un periodo de 30 meses. El primer capítulo, contiene la introducción en la que se sitúa el tema en su contexto, se presentan los objetivos y las preguntas planteadas para el caso de estudio, se expone la justificación del estudio y se describe la metodología utilizada. El segundo capítulo, proporciona un análisis de la literatura y los antecedentes del problema, describiendo las relaciones y enfoques de investigaciones previas. En el tercer capítulo, se detalla el procedimiento de extracción de datos, el preprocesamiento llevado a cabo y el análisis descriptivo preliminar, exhibiendo la preparación de los datos y los resultados iniciales obtenidos. El cuarto capítulo, se enfoca en el análisis de segmentos viales, en el cual se exponen los descubrimientos asociados con la vulnerabilidad y el rendimiento de los segmentos investigados. Por último, el capítulo cinco finaliza este documento, resumiendo los resultados y contribuciones principales del estudio.

1.1 Planteamiento del problema

El transporte terrestre, siendo el principal medio en Colombia, representa un gran desafío logístico para el país, dado factores como el tipo de geografía, los altos costos y una malla vial limitada (Findeter, 2021). Basado en el informe del Consejo Privado De Competitividad (Schwab, 2019), Colombia ostentaba una calificación de 39.7 sobre 100 en el ámbito de la infraestructura de transporte terrestre y logística en Latinoamérica. En dicho informe, se menciona el Índice de Competitividad Global (IGC), en el cual Colombia se ubicó en el puesto 57 de 141 economías a nivel mundial. En cuanto a la calidad de las carreteras, el país

obtuvo una puntuación de 3.4 sobre 7, situándose en la posición 104 para el año 2019 (Consejo Privado de competitividad, 2022).

Los indicadores mencionados reflejaban la situación general de la malla vial en Colombia, especialmente agravada por eventos inducidos por el cambio climático, que aumentaron la frecuencia de cierres viales y su impacto (Ahmed & Dey, 2020). Por ello, el gobierno colombiano invirtió grandes recursos en la infraestructura vial, con un presupuesto para el 2023 de 268 mil millones de pesos para gastos de funcionamiento y 140 mil millones en inversión (Ministerio de transporte de Colombia, 2023). Aunque la inversión es importante para lograr mejorar la calidad de las carreteras e infraestructura, el país sigue enfrentando un alto impacto por cierres viales en gran parte de su territorio.

Adicionalmente, de acuerdo con (Jabbarzadeh et al., 2016), las cadenas de suministro están más amenazadas que nunca por cierres causados por desastres naturales o provocados por el hombre, como protestas, ataques terroristas o accidentes de tránsito. Un ejemplo de esto fue reportado por el diario 'El País', que informó sobre el cierre de la Vía Panamericana entre Cali y Popayán, liderado por comunidades indígenas del sector el 1 de agosto del 2023. Este cierre duró 48 horas, hasta que el gobierno logro llegar a un acuerdo, pero causando incrementos en los precios de productos básicos en el Valle del Cauca por desabastecimiento (El País, 2023). Adicional, estos bloqueos generaron pérdidas y repercusiones económicas por 1000 millones diarios, puesto hubo 2000 camiones represados además de riesgos en productos perecederos como leche, huevos, pollo y otros (Duarte, 2023). Considerando que dos días es un alto riesgo en los productos perecederos, los cuales son los que pierden todo o parte de su valor con el tiempo, y estos costos no deben ignorarse durante su tránsito (Dai et al., 2018). Por tal motivo, Hashemi-Amiri et al.(2023) proponen un enfoque sólido de distribución para una cadena de suministros de alimentos perecederos, concluyendo que se deben considerar parámetros inciertos como cierres inesperados, tiempos de viaje y accidentes.

En este contexto, los cierres viales representan una de las principales fuentes de disrupción en las cadenas de suministro en Colombia, afectando costos logísticos, tiempos de entrega y la continuidad operativa de las empresas. En la región Pacífico, donde la infraestructura vial es clave para la movilización de carga, la recurrencia de cierres debido a factores como deslizamientos, perdidas de bancada, mantenimiento y bloqueos genera un impacto significativo en la competitividad del sector productivo. Sin embargo, existe una falta de estudios cuantitativos que determinen el efecto real de estas interrupciones en la logística de transporte. Este trabajo busca analizar la relación entre la ocurrencia de cierres viales y el desempeño logístico de las cadenas de suministro, proporcionando información basada en

datos históricos para la toma de decisiones que permitan mitigar impactos económicos y de servicio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el impacto de los cierres viales en el desempeño logístico de las principales cadenas de suministro en la región Pacífico de Colombia mediante la aplicación de técnicas de analítica de datos, con el fin de identificar los segmentos viales más críticos y estimar el efecto de los cierres en costos y tiempos de transporte.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los cierres viales en la región Pacífico en términos de diversas variables como su frecuencia, duración y tramo de la red de transporte afectada, entre otras, a partir del análisis descriptivo, tanto de cierres viales como de envíos de carga, para determinar la infraestructura vial de mayor afectación y las principales cadenas de suministro.
- Evaluar los sobrecostos de transporte y los retrasos en el flujo de carga en las principales cadenas de suministro de la región, a partir del análisis descriptivo y de diagnóstico de los datos históricos de cierres viales y movimiento de carga, aplicando procesos de preparación y transformación de datos, con el fin de estimar el impacto en los segmentos viales y en las principales cadenas de suministro.
- Clasificar los cierres viales mediante técnicas de conglomerados aplicadas a los datos consolidados de: sobrecostos de transporte, retrasos en el flujo de carga, y características de los tramos viales y de las cadenas de suministro asociadas, para identificar impactos en las cadenas de suministro y su efecto en la planificación logística.

1.1 Pregunta de investigación.

¿Cuál es el impacto de los cierres viales en el desempeño logístico de las principales cadenas de suministro en la región Pacífico de Colombia, medido en términos de costos y tiempos de transporte?

1.2 Justificación

La región Pacífica de Colombia enfrenta interrupciones viales que generan pérdidas significativas en diversos sectores económicos. Por ejemplo, el derrumbe de la vía Panamericana en febrero de 2023 causó pérdidas de 110.000 millones de pesos en el sector transporte de carga (Vargas, 2023), lo cual puso en riesgo en el sector lácteo debido al represamiento de un millón de litros de leche (La república, 2023c) y ocasiono perdidas en transporte de pasajeros por 20.000 millones de pesos (La república, 2023d). Otro caso representativo es el del derrumbe de la vía Cali – Buenaventura en el mes de febrero del 2023, que provoco demoras y cierre total por horas, afectando el sector restaurantes con pérdidas diarias de \$800 millones diarios (La república, 2023b).

Más allá de las pérdidas económicas, las interrupciones viales afectan la distribución de suministros esenciales, lo que repercute directamente en la calidad de vida de la población. Estas interrupciones no solo son provocadas por eventos climáticos y derrumbes, sino también por protestas públicas, reparaciones de carreteras, problemas de seguridad vial y actividades ilegales. Por ejemplo, entre enero y febrero de 2023, las protestas públicas generaron 2.111 horas de bloqueo en 35 puntos del país, lo que ocasionó retrasos y pérdidas en la cadena de suministros (La república, 2023a).

Ante este escenario, es fundamental evaluar los múltiples factores que provocan cierres viales y afectan la cadena de suministros, considerando aspectos sociales, ambientales y de emergencia. Un análisis de los datos históricos de estos cierres permitiría identificar riesgos y diseñar estrategias para mitigar los impactos negativos en la región Pacífica. Según Knoop et al., (2012), conocer los tramos viales más vulnerables es esencial para mejorar el servicio a los usuarios. Además, resulta clave mitigar riesgos asociados al cambio climático, ya que las proyecciones indican un aumento de dos meses en la temporada invernal y en el número promedio de días lluviosos por mes en Colombia (Rodríguez, 2022).

En este contexto, la evaluación del impacto de los cierres viales sobre el desempeño de la cadena de suministro se vuelve crucial para la economía del país. Los sectores económicos y las entidades gubernamentales deben analizar periódicamente datos históricos y en tiempo real, con el fin de identificar riesgos, frecuencias e impactos asociados, y así reducir las pérdidas económicas a nivel regional y nacional. Estas interrupciones afectan a la población en general, desde el ámbito empresarial hasta el social y gubernamental.

El análisis de información se convierte, por tanto, en una herramienta fundamental para la toma de decisiones basadas en datos. Los datos en su estado original carecen de valor; su verdadero potencial radica en el conocimiento derivado y su aplicación práctica y oportuna (Fayyad et al.,

1996). Según Waller & Fawcett, (2013), las empresas que fundamentan sus decisiones en datos obtienen un desempeño superior, siendo un 5 % más productivas y un 6 % más rentables.

Por lo anterior, resulta relevante centrar el análisis en los datos históricos de cierres viales en la región Pacífica de Colombia y su impacto en el desempeño logístico de las principales cadenas de suministro que dependen de esta infraestructura. Esto implica identificar los tramos viales más afectados, evaluar la frecuencia y duración de los cierres, y analizar su impacto en indicadores clave como los costos de transporte y los tiempos de entrega. Este conocimiento permitirá estimar los impactos económicos, demoras y riesgos en productos y mercancías, lo cual es esencial para diseñar estrategias que aseguren la continuidad de las operaciones en las cadenas de suministro.

1.3 Metodología

El estudio se enmarcó en un enfoque cuantitativo orientado a la analítica descriptiva y diagnóstica, dado que el propósito es evaluar como el impacto de los cierres viales afecta el desempeño logístico regional de los sectores económicos más relevantes. Esta elección metodológica es coherente con los objetivos específicos del trabajo, que requieren caracterizar, cuantificar, clasificar e interpretar fenómenos a partir de datos reales.

Para estructurar el proceso de análisis, se adopta la metodología CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining), ampliamente reconocida en procesos de analítica de datos. Dentro de las herramientas empleadas, se aplicaron técnicas de analítica descriptiva para identificar patrones de afectación, frecuencias y tendencias. Además, mediante analítica diagnóstica, se construyeron diagramas de Pareto para determinar principales factores de cierres. Además, se integró el algoritmo K-means como técnica de agrupamiento no supervisado para identificar patrones.

Además, el estudio adopta un enfoque impulsado por datos (data-driven), en el que los cierres viales y su impacto en la cadena de suministro se analizan a partir de registros históricos. CRISP-DM es una metodología que proporciona una estructura completa para proyectos de minería de datos, la cual se describe en la ilustración 1. Esta metodología se compone de seis fases claramente definidas, que permiten mayor flexibilidad y adaptabilidad durante el proceso de investigación (Schröer et al., 2021). CRISP-DM se seleccionó como metodología debido a sus ventajas para el desarrollo de este análisis, por su estructura de seis fases que permite llevar a cabo el proceso de manera organizada y lógica, asegurando que cada etapa se realice de forma sistemática. Además, CRISP-DM es altamente adaptable y facilita la integración de datos provenientes de diversas fuentes, su naturaleza iterativa y estructura clara también

proporcionan la flexibilidad necesaria para ajustar y mejorar el proceso a medida que surjan nuevos hallazgos o información adicional (Schröer et al., 2021).

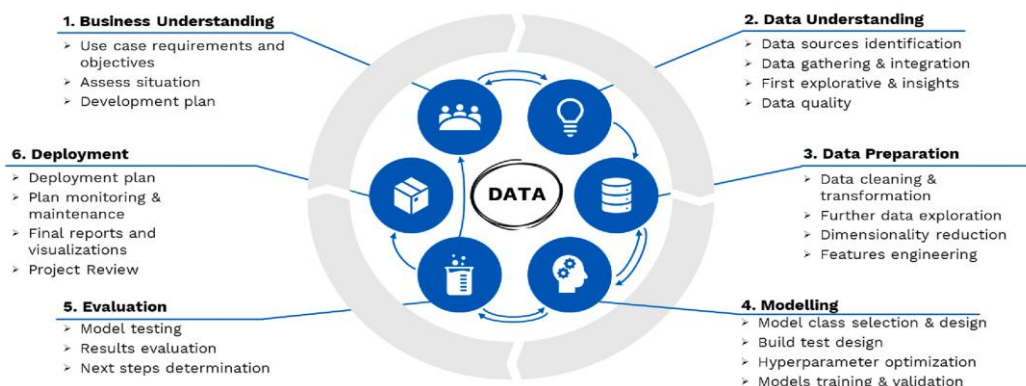


Ilustración 1. Marco de metodología CRISP DM (Khan & Abonyi, 2022)

En la ilustración 2, se presenta el diseño metodológico de este proyecto de grado. El flujo del proceso metodológico facilita el tratamiento de diversas fuentes de datos y posteriormente inferir del impacto de los cierres viales en el desempeño de las cadenas de suministro. Por su lado, CRISP-DM fue integrado como parte del proceso de análisis de datos, desde la comprensión de los datos, su preparación, transformación y modelado, para lograr estimar costos y tiempos de afectación como consecuencia de los cierres. Además, este proceso metodológico permitió identificar patrones y efectos de las interrupciones en el transporte.

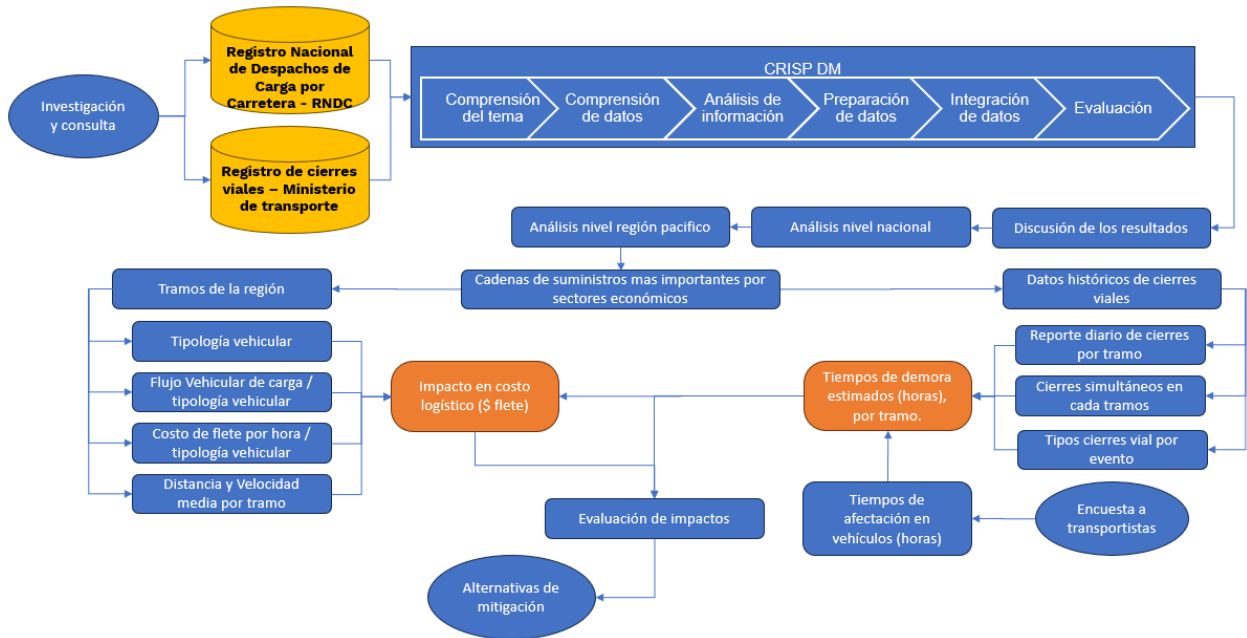


Ilustración 2. Diagrama de flujo de proceso de metodología

- **Comprensión del tema.**

En este estudio, la fase de comprensión del negocio se enfoca en evaluar cómo los cierres viales afectan la eficiencia logística y el desempeño de la cadena de suministro en la región Pacífico de Colombia. Para ello, se recopilieron datos históricos de interrupciones viales y registros de despachos de carga, con el fin de identificar sobrecostos de transporte, causas de retrasos en el flujo de carga y condiciones que prolongan los cierres. Adicionalmente, se incluyó la tipología vehicular en las zonas y rutas más afectadas. Esta comprensión inicial fue clave para delimitar el análisis de datos y estructurar su preparación.

- **Comprensión de los datos**

En esta fase se llevó a cabo la revisión y análisis de las fuentes de datos disponibles. La información fue obtenida del Ministerio de Transporte y el Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC). El estudio incluyó el historial de cierres viales a nivel nacional entre enero de 2018 y junio de 2020, así como el registro de viajes de carga entre puntos, considerando costos, distancias y tipologías vehiculares. En simultáneo, el análisis se centró en identificar las causas principales de los cierres, así como en evaluar sus efectos en la cadena de suministros según la frecuencia y los tipos de interrupciones registradas. Estos hallazgos fueron clave para definir los requisitos de información específica y proporcionar un marco claro para las integraciones necesarias en las etapas posteriores del proyecto.

Además, se realizó una evaluación sistémica para garantizar la coherencia de la información. Esta revisión incluyó la verificación de la consistencia de los registros en cuanto a tiempo y lugar. Lo anterior, a fin de garantizar que los datos seleccionados no solo fueran consistentes entre sí, sino también relevantes y útiles para responder a los objetivos planteados en el proyecto.

- **Preparación de los datos**

En esta etapa, se llevó a cabo un proceso de limpieza, estructuración y validación de la información, garantizando su calidad y coherencia para el análisis. Se verificó la consistencia temporal y geográfica de los datos, asegurando que la información sobre cierres viales y trayectos de vehículos de carga coincidiera en períodos y ubicaciones relevantes para el estudio.

Para estructurar la información de los trayectos y su relación con la red vial, se desarrolló una matriz de adyacencia que permitió definir los tramos viales recorridos en función de los trayectos de origen y destino. Esta matriz estableció la conexión entre los trayectos y la infraestructura vial, considerando su posicionamiento geoespacial y la segmentación de rutas definidas por INVIAS (INVIAS, 2019). A través de este proceso, los datos originalmente registrados como trayectos individuales fueron transformados en un formato que permitió analizar el flujo de vehículos por tramo en un período determinado. Esta conversión fue esencial para estructurar la información en un modelo coherente que reflejara con mayor precisión el comportamiento del tráfico de carga en la red vial. El uso de la matriz de adyacencia facilitó la descomposición de trayectos completos en sus segmentos viales constituyentes, proporcionando una base sólida para el análisis descriptivo y diagnóstico de los flujos vehiculares en los distintos tramos. Esto permitió no solo cuantificar la movilidad de carga en cada segmento, sino también identificar patrones de tráfico y evaluar el impacto de los cierres viales en la eficiencia logística de la región.

- **Integración de datos**

Este punto constituye una fase fundamental en la estructuración del análisis, en la cual se unifican, contextualizan y relacionan las fuentes de información para generar un marco analítico coherente. En este proceso, se alinearon los flujos vehiculares con los eventos de cierres viales ocurridos en tramos específicos, permitiendo cuantificar su impacto en términos de demoras en el transporte y costos logísticos.

Para lograr esta integración, se consolidaron los datos procesados en etapas previas, incluyendo los flujos vehiculares, obtenidos mediante la matriz de adyacencia, lo cual permitió estimar la cantidad de vehículos de carga que transitan por cada tramo en un período

determinado. Lo anterior se integra con los eventos de cierres viales por tramos, estructurados con información sobre la ubicación geográfica, tiempo de ocurrencia, duración y tipo de interrupción. A partir de esta integración, se desarrolló una formulación matemática que permitió estimar tiempos y costos aproximados de afectación en los tramos impactados, identificando la duración del evento y el costo de acuerdo con el costo del flete. Esta relación entre cierres viales y flujos de transporte constituye la base para la evaluación de los impactos logísticos, proporcionando una visión cuantitativa del efecto de estas disrupciones sobre la eficiencia de la cadena de suministro.

- **Interpretación, análisis y evaluación.**

En esta fase se desarrolló un análisis orientado a cuantificar el impacto de los cierres viales sobre la logística de carga en la región Pacífico de Colombia. La evaluación se abordó en distintos niveles: desde una perspectiva nacional general hasta un análisis segmentado de los tramos viales más afectados, lo que permitió identificar patrones relevantes y entender las disrupciones con mayor precisión.

Inicialmente, se analizaron los registros de cierres viales en todo el país para identificar tendencias generales, frecuencia de eventos y su relación con variables como el tipo de interrupción y su duración. Posteriormente, se estimó la cantidad de vehículos de carga afectados por tramo, evaluando la correlación entre la intensidad del tráfico y la recurrencia de los cierres viales.

El proceso metodológico integró análisis descriptivo y diagnóstico con técnicas de minería de datos, particularmente el algoritmo de agrupamiento K-Means, utilizado para clasificar los tramos según variables como el tipo de cierre, el flujo vehicular, el tiempo de afectación y los sectores económicos involucrados. Adicionalmente, se aplicaron herramientas de estadística descriptiva para evaluar relaciones entre factores de cierre, y se realizaron visualizaciones mediante gráficos de dispersión y matrices de correlación para facilitar la interpretación de resultados.

- **Discusión de los resultados**

Los hallazgos obtenidos en este estudio ayudan a comprender el alcance real del impacto de los cierres viales sobre el desempeño logístico en la región Pacífico de Colombia en el tiempo analizado. A partir de un enfoque analítico sustentado en datos históricos, se identificaron patrones relevantes que permiten no solo cuantificar los impactos, sino también generar información práctica para mitigar riesgos en la operación del transporte de carga.

Esta sección se orienta a interpretar los resultados obtenidos en términos de eficiencia logística, destacando los efectos de tiempos de espera y costos en fletes según tramos viales,

sectores económicos y tipologías vehiculares. Esto al realizar un análisis de los tiempos de espera y los costos de flete, como criterios para valorar el impacto económico de las interrupciones. Esto se complementó con una evaluación específica de los sectores económicos más representativos, cuantificando el efecto de las interrupciones sobre industrias que dependen críticamente de la infraestructura de transporte.

Por último, se destaca que la metodología utilizada, basada en la estructuración e integración de datos provenientes de fuentes oficiales, así como el enfoque de análisis adoptado, lo cual solo sería replicable en contextos geográficos para Colombia por la fuente de los datos. Aunque el marco de la evaluación podría aplicarse a otros países, adaptándose a información similar para investigaciones sobre impactos en cadenas de suministro expuestas a eventos disruptivos.

2 Revisión Bibliométrica y Antecedentes de la Literatura

En esta sección se presentan dos enfoques complementarios para contextualizar el estudio dentro del panorama investigativo actual. Primero, se expone un análisis bibliométrico que permite identificar tendencias, áreas de enfoque y vacíos en la literatura científica relacionada con cierres viales, disrupciones logísticas y resiliencia en la cadena de suministro. Posteriormente, se realiza una revisión de literatura más detallada, centrada en investigaciones previas que han abordado el impacto de interrupciones en redes de transporte y su efecto sobre el desempeño logístico. Con ello se permite sustentar teóricamente la pertinencia del estudio y guiar la construcción del marco analítico desarrollado en este trabajo.

2.1 Análisis bibliométrico

Para el presente análisis bibliométrico, la búsqueda se limitó a publicaciones dentro del ámbito de la ingeniería. La ecuación de búsqueda se diseñó para centrar la atención de temas en el resumen y palabras claves, tales como cierres viales, vulnerabilidad en la cadena de suministro y flujo de mercancía. En la imagen bibliométrica aparecen palabras a partir de 5 apariciones en los artículos analizados, asegurando que solo se consideren términos significativos y recurrentes, filtrando palabras o temas de poca relación con el análisis. Por lo cual, se facilita la identificación de tópicos, revelando cómo se agrupan y cómo se relacionan entre sí. Esta visualización proporciona una comprensión más profunda de las dinámicas y tendencias de investigación en el campo de la ingeniería, permitiendo a los investigadores identificar áreas emergentes, lagunas en el conocimiento y posibles investigaciones futuras (VOSviewer, 2022).

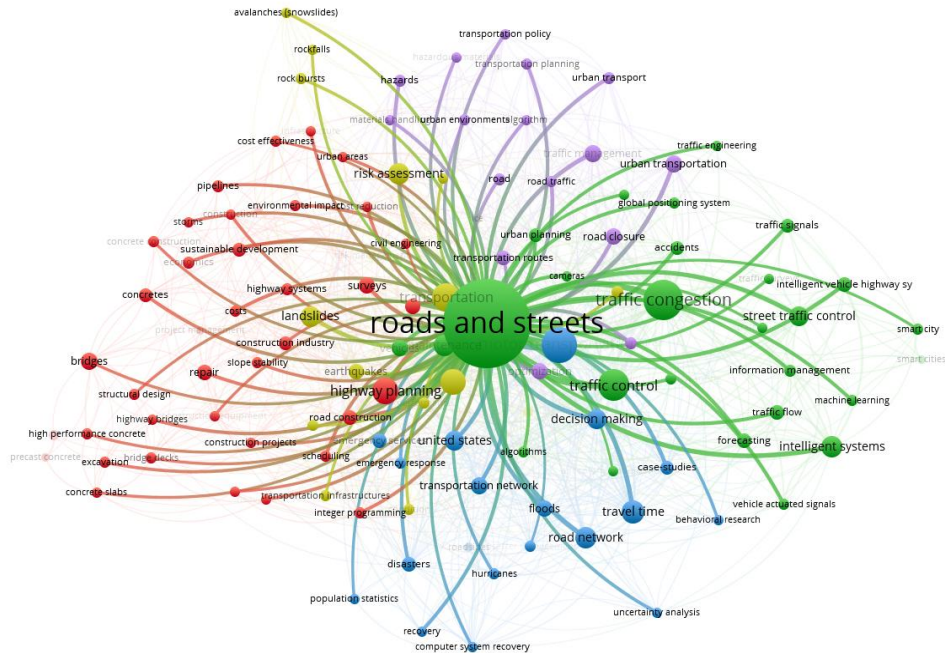


Ilustración 3. Visualización de paisaje científicos, road closures (Elaborado con VOS viewer)

El tema cierres viales (*road AND closures*), se evaluó con un total de 294 artículos bajo la ecuación de búsqueda. Se identificaron 119 palabras clave con al menos 5 repeticiones, lo que permitió visualizar la estructura de investigación y las conexiones clave dentro de la literatura académica sobre cierres viales. Las agrupaciones de color verde están relacionadas con la gestión del tráfico y congestión vial, estos términos indican que una parte significativa de la investigación se enfoca en el desarrollo de tecnologías para mejorar la fluidez del tráfico y mitigar los efectos de los cierres viales mediante sistemas automatizados. Las agrupaciones de color rojo se centran en infraestructura vial y mantenimiento de carreteras, que sugiere que los cierres viales están estrechamente relacionados con proyectos de mantenimiento y construcción de infraestructura. Las agrupaciones de color azul están asociadas con desastres naturales y eventos climáticos extremos, lo que indica que una gran parte de la literatura estudia los efectos de desastres naturales en el cierre de carreteras y la necesidad de planificación de recuperación ante emergencias. Este análisis bibliométrico indica que la literatura sobre cierres viales se distribuye en estudios sobre infraestructura vial, gestión de tráfico, impacto de desastres naturales, planificación gubernamental y aplicación de tecnologías inteligentes en la movilidad.

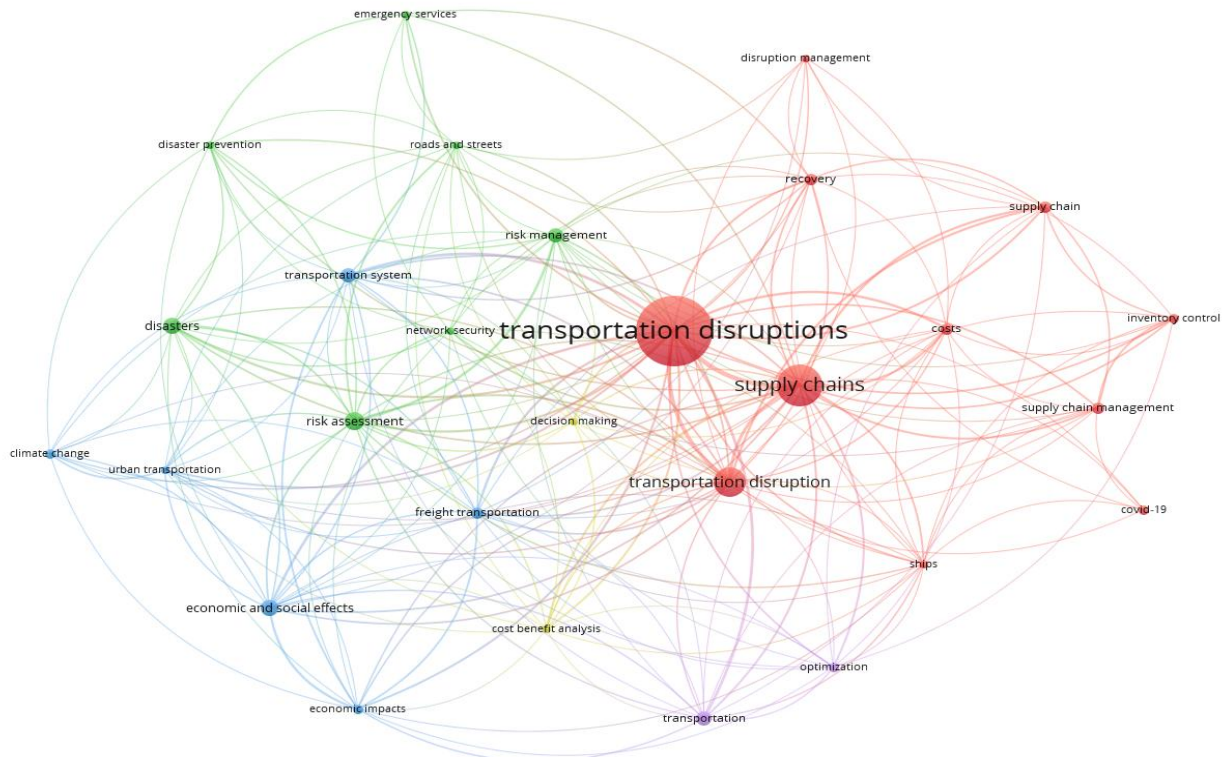


Ilustración 5. Visualización de paisaje científico, transportation disruptions (Elaborado con VOS viewer)

El tema "Transportation Disruptions" se evaluó con un total de 106 artículos, identificando 28 palabras clave con al menos 5 repeticiones. Las agrupaciones de color rojo están relacionadas con la gestión de interrupciones en la cadena de suministro, destaca que gran parte de la investigación se centra en el impacto de las interrupciones en los costos logísticos, la gestión de inventarios y la planificación de recuperación en la cadena de suministro. Las agrupaciones de color verde se enfocan en la gestión de riesgos y prevención de desastres, lo cual sugiere que una parte importante de la literatura estudia cómo mitigar los efectos de eventos disruptivos a través de políticas de gestión de riesgos y planificación de emergencias. Las agrupaciones de color azul están relacionadas con impactos económicos y sociales, indicando que las interrupciones en el transporte no solo afectan la logística, sino también la movilidad urbana y el desarrollo económico de las regiones. Este análisis bibliométrico muestra que la literatura sobre interrupciones en el transporte está dividida en cuatro áreas: gestión de la cadena de suministro, mitigación de riesgos, impactos económicos y estrategias de optimización.

Finalmente, frente a la revisión de literatura las interrupciones en regiones de Colombia, aún tiene un amplio margen de investigación, corroborando que aún no se ha evaluado en la medida requerida.

2.2 Revisión de literatura

El impacto de los cierres viales en el desempeño logístico de las cadenas de suministro ha sido ampliamente estudiado, centrándose en la infraestructura vial, la resiliencia del transporte y los costos logísticos asociados. Estas interrupciones generan sobrecostos y retrasos en la entrega de mercancías, afectando la eficiencia operativa y la competitividad de las empresas (Roushan et al., 2025).

De acuerdo con Alvarenga et al., (2022), destacan que las cadenas de suministro deben desarrollar capacidades de resiliencia para anticiparse o recuperarse de interrupciones. La anticipación se presenta como una estrategia clave para minimizar el impacto de disrupciones. La vulnerabilidad, definida como la susceptibilidad de un sistema ante factores de estrés (Reggiani et al., 2015), ha sido analizada en diversos estudios, identificando que las redes viales son especialmente sensibles a eventos disruptivos naturales (Ahmed & Dey, 2020). El-Rashidy & Grant-Muller, (2014) argumentan que la vulnerabilidad está más relacionada con las consecuencias del impacto que con la probabilidad de falla. Además, Jenelius & Mattsson, (2015) subrayan que el análisis de vulnerabilidad debe considerar distintos escenarios para cuantificar y comparar los impactos, donde la resiliencia juega un papel crucial (Elleuch et al., 2016).

Desde una perspectiva analítica, la identificación de vulnerabilidades en la red de transporte es clave para comprender el impacto de los cierres viales. Estudios previos han empleado modelos de simulación y análisis de datos espaciales para evaluar las disrupciones inducidas por eventos climáticos y otras causas de interrupción del tráfico. Por ejemplo, se ha demostrado que los cierres viales por inundaciones pueden incrementar los tiempos de espera en hasta un 450 %, lo que resalta la necesidad de una mejor planificación del tráfico y refuerzo en la infraestructura vial (Marian et al., 2024). Asimismo, el uso de modelos de regresión logística ha permitido determinar la relación entre la intensidad de precipitaciones y la probabilidad de cierre de carreteras, lo que facilita la gestión de riesgos en la planificación del transporte (Zhong & Liang, 2024a).

El análisis de datos en la logística y la cadena de suministro se centra en cuatro áreas: análisis descriptivo, diagnóstico, predictivo y prescriptivo. El análisis descriptivo y de diagnóstico se basa en datos históricos y del momento. Los métodos estadísticos descriptivos son de gran utilidad para establecer las principales características de los datos de una muestra. Esta disciplina permite analizar datos de manera cuantitativa, brindando información clara y concisa de la muestra (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009). A través del análisis, se pueden

identificar patrones, tendencias y anomalías en los datos, lo que permite una evaluación precisa de la situación actual a través de los datos.

Este estudio se desarrolló bajo el modelo CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining), que es ampliamente reconocido como el estándar de facto para la implementación de minería de datos (Schröer et al., 2021). Este método proporciona un enfoque estructurado y detallado para la recolección y análisis de datos, definido en seis pasos, lo cual le permite adaptarse a necesidades específicas (Brzozowska et al., 2023). Se evidencia que el método CRISP-DM se ha utilizado en diversos dominios, puesto que proporciona una metodología robusta, flexible e iterativa que asegura que cada fase se aborde con precisión y con un enfoque práctico para la toma de decisiones.

En la gestión de riesgos de la cadena de suministro GRCS, las interrupciones, según Dey, (2022), se define como "*eventos no planificados e imprevistos que interrumpen el flujo normal de bienes y materiales dentro de una cadena de suministro*". Mousavi et al., (2022) señalan que los eventos disruptivos se caracterizan por su tipo, intensidad, duración, frecuencia, propagación, fuente e impacto. La gestión de riesgos de la cadena de suministros se evalúa bajo indicadores que validen los impactos y sucesos que afecten el normal funcionamiento de esta, que, entre los KPI más importantes, según la literatura, está la variación del tiempo de entrega, OTIF (a tiempo y en su totalidad) y la flexibilidad de volumen de los proveedores (Mousavi et al., 2022). Además, los indicadores de desempeño logístico evalúan el rendimiento en términos de tiempo, costo, confiabilidad, flexibilidad y seguridad (Henríquez-Fuentes et al., 2018). También, que en los indicadores se considera la productividad del volumen de transporte, que calcula entre el volumen transportado sobre las horas trabajadas o kilómetros recorridos. Igualmente, el costo de transporte determina el costo por kilómetro de cada modo de transporte, el cual se asocia como herramienta para la toma de decisiones (Zuluaga Mazo et al., 2014).

El análisis de sobrecostos y tiempos de transporte es crucial para evaluar el impacto económico de los cierres viales. Estudios sobre bloqueos en la logística de transporte en América Latina han evidenciado que la interrupción prolongada de rutas estratégicas puede aumentar los costos operativos hasta en un 30%, afectando negativamente la cadena de suministro y la economía regional (Achurra & B., 2024). En regiones donde la infraestructura vial es fundamental, utilizar una integración de herramientas de análisis geoespacial ha permitido identificar los segmentos viales críticos y optimizar la planificación del transporte de carga (Pereira et al., 2024). Igualmente, se presenta la investigación de los factores que influyen en el tiempo de cierre de carreteras tras accidentes de tráfico en túneles, utilizando datos de

accidentes de tráfico en Pensilvania desde 1997 hasta 2020, el cual cuantifico el número de accidentes anuales y los tiempos en horas que afecta la carretera, demostrando que los accidentes de tráfico en túneles tienen más probabilidades de cierres que otros factores en esa región (Luo & Liu, 2023). Además, se analiza los cierres de carreteras debido a lluvias intensas y zonas de inundación mediante un modelo de regresión logística, utilizando datos de cierres viales en Texas y sus precipitaciones diarias (Zhong & Liang, 2024b). Ahmed & Dey, (2020), en su revisión de la literatura, señalan que gran parte de los estudios sobre resiliencia en sistemas de transporte utilizan enfoques basados en incertidumbre y probabilidad para modelar su comportamiento dinámico frente a desastres. Revela igualmente, que, debido a la limitada disponibilidad de datos reales sobre desastres en sistemas de transporte, muchos investigadores optan por trabajar con escenarios hipotéticos tanto de redes como de eventos disruptivos, lo cual limita la aplicabilidad directa de los resultados en contextos reales. Adicionalmente, (Rojas-Reyes et al., 2024) en su revisión de literatura examinan la vulnerabilidad de la cadena de suministro de alimentos ante el número de interrupciones que afectan la demanda a nivel mundial, y clasifica los factores de interrupción y respuesta según su efecto en los distintos actores. Este enfoque resulta similar al caso de estudio en cuanto a la identificación y categorización de factores de vulnerabilidad y interrupciones, pero la literatura se aborda frente a la cadena alimentaria de manera global, sin una delimitación geográfica específica.

El artículo de Clavijo-Buritica et al., (2021) proporciona una base significativa en el análisis de cierres viales mediante técnicas de aprendizaje no supervisado. Sin embargo, en este caso de estudio, se logra una contribución importante al aportar una ventana de observación ampliada en un año más, lo que permite analizar de mejor manera patrones y tendencias más precisas en la dinámica de cierres viales. Además, la tesis introduce un nivel de especificidad mayor al incluir datos detallados de movimiento de carga, permitiendo evaluar el impacto directo sobre la logística de carga en los sectores económicos clave de la región del Pacífico colombiano, proporcionando así un análisis más focalizado y detallado en tramos específicos de carreteras. Este nivel de detalle y el uso de datos adicionales otorgan a la tesis una perspectiva única que profundiza en la relación entre vulnerabilidad y desempeño de la cadena de suministro en esta región particular a través del impacto de los cierres viales.

Para abordar la clasificación de cierres viales y su impacto en las cadenas de suministro, la aplicación de técnicas de clustering ha resultado ser una metodología efectiva. El análisis K-means ha permitido agrupar los cierres según variables como sobrecostos de transporte, tiempos de retraso y características viales, lo que facilita la identificación de patrones y el diseño

de estrategias de mitigación (Bittencourt et al., 2024). Estas técnicas de minería de datos han sido utilizadas para optimizar la distribución de recursos y mejorar la resiliencia del sistema logístico ante eventos disruptivos. La técnica de K-means aplicada en el estudio, analiza los cierres viales en la región Pacífica de Colombia constituye un enfoque innovador frente a estudios previos. En comparación con investigaciones como la de Clavijo-Buritica et al., (2021), que no incluyen variables como el movimiento de carga y horizontes de tiempo extendidos, el uso de K-means en esta tesis ofrece un análisis profundo al integrar nuevas variables al identificar agrupaciones y relaciones adicionales entre las características de los cierres, especialmente en términos de frecuencia, duración y tramos viales. Este enfoque no solo mejora la precisión en la clasificación, sino que también contribuye a la literatura al incorporar el análisis de cierres viales bajo condiciones dinámicas, lo cual se refuerza con estudios como el de Liu et al., (2025) que agrupa trayectorias de viaje de autobús en patrones basados en la similitud de sus características, que tiene como objetivo el optimizar la planificación de rutas y mejorar la experiencia del pasajero, lo cual sería valioso para clasificar cierres viales y planificar rutas alternativas, maximizando la eficiencia en la cadena de suministro.

Para evaluar el impacto de los cierres viales en el desempeño logístico de las principales cadenas de suministro en la región Pacífico de Colombia, es fundamental analizar los estudios previos que han abordado la resiliencia, la vulnerabilidad y las estrategias de mitigación en el contexto del transporte y la logística. La tabla 1 sintetiza los principales aspectos de estos artículos, incluyendo su objetivo, la metodología aplicada y su relación con los objetivos de la tesis.

Nombre del Artículo	Objetivo del Artículo	Metodología Aplicada	Observación
A Multi-Objective Supply Chain Model for Disaster Relief Optimization (Roushan et al., 2025)	Optimiza la respuesta logística en desastres mediante modelos matemáticos y blockchain.	Modelos matemáticos, optimización con programación y blockchain.	Relacionado en términos de optimización de redes de transporte, aunque centrado en desastres.
Quantifying the Vulnerability of Road Networks to Flood-Induced Closures (Marian et al., 2024)	Cuantificar la vulnerabilidad de redes viales ante cierres por inundaciones usando simulaciones.	Simulación de tráfico y análisis geoespacial.	Relevante en el análisis de vulnerabilidad vial ante cierres por factores naturales.
Risk Analysis of Supply Chains: The Role of Supporting Structures and	Analizar el impacto de la infraestructura en la resiliencia de la cadena de suministro.	Análisis de riesgo basado en infraestructura logística.	Aporta conocimientos sobre el impacto económico de los daños en la infraestructura y se cuantifica el impacto de

Infraestructure (Nocera et al., 2024)			eventos disruptivos en términos de pérdidas de ganancias para los minoristas
Supply Chain Resilience: A Review from the Inventory Management Perspective (Guo et al., 2024)	Evaluar estrategias de gestión de inventarios para mejorar la resiliencia de la cadena de suministro.	Revisión de literatura y análisis de estrategias de resiliencia.	Complementa la evaluación de resiliencia con estrategias de gestión de inventario.
The Impact of Dynamic Capabilities in Disrupted Supply Chains (Zhong & Liang, 2024a)	Examinar cómo las capacidades dinámicas afectan la resiliencia ante interrupciones en la cadena de suministro.	Análisis de capacidades dinámicas y estudio de casos.	Proporciona enfoques sobre capacidades dinámicas que pueden aplicarse en la resiliencia logística.
A Study of Road Closure Due to Rainfall and Flood Zone Based on Logistic Regression (Zhong & Liang, 2024a)	Analizar la relación entre precipitaciones e interrupciones viales mediante regresión logística.	Regresión logística aplicada a datos históricos de cierres viales.	Contribuye al análisis de predicción de cierres viales basado en condiciones meteorológicas.
Disruptions in the Food Supply Chain: A Literature Review (Rojas-Reyes et al., 2024)	Revisar la literatura sobre interrupciones en la cadena de suministro de alimentos y estrategias de mitigación.	Revisión sistemática de literatura.	Útil para comprender las interrupciones en cadenas de suministro y sus estrategias de mitigación.
Impacto en la Cadena de Suministro Debido a Cierres Viales (Achurra & B., 2024)	Evaluar el impacto de cierres viales en la cadena de suministro en Panamá.	Análisis de datos de transporte y logística en Panamá.	Estudio de caso aplicable a regiones con altos niveles de interrupciones viales.
Multi-Level Impacts of Climate Change and Supply Disruption Events on a Potato Supply Chain (Rahman et al., 2022)	Modelar el impacto del cambio climático y eventos disruptivos en la cadena de suministro de papa.	Modelado basado en agentes y análisis de escenarios.	Enfoque complementario al evaluar el impacto de eventos disruptivos en la logística de alimentos.
The Future of the Food Supply Chain: A Systematic Literature Review (Su et al., 2023)	Analizar el futuro de la cadena de suministro de alimentos desde una perspectiva sistemática.	Revisión de literatura con enfoque en tendencias futuras.	Ayuda a contextualizar tendencias futuras en la gestión de cadenas de suministro.
Supply Chain Risk Management with Machine Learning Technology (Bittencourt et al., 2024)	Explorar el uso de machine learning en la gestión de riesgos de la cadena de suministro.	Aplicación de algoritmos de machine learning en la evaluación de riesgos.	Aporta técnicas avanzadas de machine learning para la predicción de riesgos en logística.

A Multi-Disruption Risk Analysis System for Sustainable Supply Chain Resilience (Ferdous et al., 2025)	Desarrollar un sistema de análisis de riesgos para fortalecer la resiliencia en la cadena de suministro.	Desarrollo de un marco analítico de evaluación de riesgos.	Proporciona un marco metodológico para la evaluación de riesgos en cadenas de suministro.
A Data-Driven Clustering Approach for Assessing Spatiotemporal Vulnerability to Urban Emergencies (Bittencourt et al., 2024)	Aplicar clustering para evaluar la vulnerabilidad espaciotemporal ante emergencias urbanas.	Clustering con datos espaciales y temporales.	Evalúa la vulnerabilidad urbana mediante modelos de clustering que consideran datos espaciales y temporales, mejorando la planificación y respuesta a emergencias en ciudades.
Geospatial-Based Decision Support System for Prioritizing Road Segments for Maintenance and Rehabilitation (Pereira et al., 2024)	Desarrollar un sistema de soporte a decisiones para priorizar segmentos viales en mantenimiento.	Integración de GIS con metodología Delphi para priorización vial.	Herramientas geoespaciales útiles para la identificación de segmentos críticos en la red vial.

Tabla 1. Revisión de la literatura de Impactos viales

Desde la perspectiva de la resiliencia en la cadena de suministro, se han identificado estrategias como la diversificación de proveedores, la optimización de la gestión de inventarios y el desarrollo de tecnologías digitales para mejorar la respuesta ante interrupciones viales. Se ha demostrado que las empresas con redes de abastecimiento flexibles pueden reducir significativamente los impactos negativos de los cierres de carreteras (Guo et al., 2024). Además, la aplicación de blockchain y contratos inteligentes ha demostrado mejorar la trazabilidad y transparencia en la gestión de cadenas de suministro, permitiendo una toma de decisiones más efectiva en escenarios de crisis (Roushan et al., 2025). Según Wieland & Durach, (2021), la resiliencia de la cadena de suministro ya no se entiende en términos de estabilidad, sino en términos de adaptación y transformación. La resiliencia es un tema asociado a eventos amenazantes de impacto crítico o catastrófico, en el que se considera como la capacidad de un sistema para retornar a su equilibrio después de una perturbación (Reggiani et al., 2015). El análisis de la resiliencia en las cadenas de suministro se puede ayudar a generar estrategias para moderar la vulnerabilidad. Esto incluye mitigar la falta de conciencia del riesgo, las suposiciones erróneas, y la incapacidad para volver rápidamente a los estados operativos normales o modificar las operaciones en respuesta a los desafíos (Rajesh, 2018).

A pesar de la creciente preocupación por la resiliencia de las cadenas de suministro, las investigaciones específicas sobre los cierres viales en Colombia siguen siendo escasas. Sobre el tema a evaluar, se consideró la investigación de sobre cómo la pandemia de COVID-19 afectó

los volúmenes de carga en el transporte de carga por carretera en Colombia y su impacto en el crecimiento económico del país (Gonzalez et al., 2022). Además, análisis con un enfoque híbrido para el diseño de redes de suministro agrícola resilientes en países emergentes, centrándose en la cadena de suministro del café colombiano (Clavijo-Buritica et al., 2023). Igualmente, La literatura existente respalda la importancia de integrar múltiples enfoques analíticos para evaluar el impacto de los cierres viales en las cadenas de suministro. La combinación de modelos de simulación, análisis de datos espaciales y metodologías de clustering permiten generar un marco sólido para la toma de decisiones en la planificación logística.

Asimismo, al revisar los estudios académicos sobre cierres viales y su impacto logístico, se evidencia que la mayoría se enfocan en el análisis, simulación u optimización en segmentos aislados o zonas urbanas determinadas, en las cuales no se realizan comparaciones entre múltiples ubicaciones dentro de una misma región o características del transporte. Por ejemplo, el estudio de Clavijo-Buritica et al., (2021) se concentra en aplicar K-means y FP-Growth para identificar patrones de cierres viales en Colombia, pero no vincula estos eventos con sectores económicos, ni evalúa flujos de carga y sobrecostos. De igual manera, investigaciones como las de Roushan et al., (2025) y (Reggiani et al., 2015) se centran en la resiliencia de redes logísticas desde una perspectiva estructural y de modelación hipotética, sin incorporar variables de la operación logística en terreno, como tiempo de cierre y tráfico de carga por tipologías vehiculares. Igualmente, en muchos estudios fue común el uso de escenarios hipotéticos o simulados, como ocurre en el caso de Rahman et al., (2022) o Alvarenga et al., (2022), lo cual limita su aplicabilidad directa en contextos locales con infraestructura crítica, como ocurre en la región Pacífico de Colombia. En contraste, el presente estudio se fundamenta en datos históricos reales del RNDC e INVIAS entre enero de 2018 y junio de 2020, lo que mejora el grado de certeza y validez de información al reflejar condiciones históricas de la región.

Además, mientras artículos como Achurra & B., (2024) se apoyan en percepciones recogidas mediante encuestas para evaluar interrupciones logísticas en Panamá, esta investigación integra datos cuantitativos de cierres viales, encuestas, flujos de carga y sectores económicos mediante analítica descriptiva y diagnóstica. Esto se alinea parcialmente con lo planteado por Pereira et al., (2024), quienes resaltan la importancia de integrar herramientas geoespaciales para planear redes de transporte. Sin embargo, en su trabajo no se realiza una evaluación de demoras, vulnerabilidad o clasificación de tramos críticos, como sí se logra en este estudio.

En conclusión, este trabajo aportó a la literatura existente al realizar un análisis basado en datos reales de transporte, aplicando metodologías de analítica descriptiva, diagnóstica y de minería de datos, para caracterizar y clasificar cierres viales en la región Pacífico de Colombia. Más allá de replicar enfoques anteriores, el presente estudio amplía la ventana temporal de observación y se enfoca en el vínculo directo entre interrupciones viales y variables logísticas cuantificables. A diferencia de otros trabajos centrados en simulaciones o modelos hipotéticos, aquí se integran registros históricos del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) y del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para evaluar con precisión el efecto de los cierres sobre el desempeño logístico.

De manera específica, el estudio aborda variables poco exploradas en investigaciones previas, tales como el flujo vehicular promedio por tramo afectado, la cantidad de vehículos de carga por tipología impactados, el costo de flete por hora y por kilómetro, el tiempo acumulado de afectación por tipo de cierre, el número de cierres simultáneos en tramos compartidos y la relación entre cierres y sectores económicos movilizadores de carga (cereales, azúcares y confitería). Estas variables permitieron construir una evaluación más detallada del impacto logístico, superando enfoques meramente cualitativos o de simulación. Además, se propusieron formulaciones matemáticas que permiten estimar sobrecostos y tiempos de demora por cierre vial. Así, esta tesis se alinea con los estudios de tipo analítico-descriptivo, pero avanza hacia un enfoque operativo que facilita la toma de decisiones tanto en el sector público como en el privado, aportando evidencia concreta sobre la vulnerabilidad y desempeño logístico en contextos de interrupción vial.

3 Resultados

Esta sección presenta los principales hallazgos obtenidos a partir del procesamiento, análisis e integración de datos históricos sobre cierres viales y movimiento de carga en la región Pacífico de Colombia. A través de la implementación de la metodología CRISP-DM, se abordó de forma sistemática la comprensión del problema, la preparación e integración de múltiples fuentes de datos, así como la modelación y evaluación de variables clave que afectan el desempeño logístico. Se aplicaron técnicas de análisis descriptivo, diagnóstico y de agrupamiento no supervisado, permitiendo identificar patrones de afectación en tramos específicos, cuantificar sobrecostos logísticos y estimar tiempos de interrupción vehicular. Los resultados presentados constituyen una base robusta para interpretar el impacto operativo y económico de los cierres viales en los sectores más relevantes de la cadena de suministro regional, facilitando una lectura técnica y aplicada de las disrupciones desde la evidencia empírica.

3.1 Comprensión del tema.

La evaluación del impacto de los cierres viales en el desempeño de las cadenas de suministro en la región Pacífico se centró en su efecto sobre los principales sectores económicos de la zona. Los cierres viales representan una de las disrupciones más críticas para la logística, ya que la vulnerabilidad de la infraestructura vial afecta directamente la eficiencia y resiliencia del sistema de transporte. Dado que una cadena de suministro depende de una red vial funcional y adaptable para garantizar la continuidad operativa, fue fundamental identificar los principales factores asociados a estos cierres y analizar su relación con los tiempos de demora y los costos logísticos.

Para comprender la magnitud del problema, se realizó un análisis detallado de los factores que influyen en la ocurrencia de cierres viales y su impacto en indicadores clave de desempeño logístico. Como parte del estudio, los cierres viales se categorizaron en dos tipos: cierre total y paso restringido. Estos pueden ser ocasionados por eventos incontrolables, como deslizamientos de tierra, pérdida de bancada, emergencias y accidentes. Tal como se muestra en las ilustraciones 6, 7 y 8, estas interrupciones suelen originarse por factores ambientales, fallas estructurales o situaciones de emergencia que comprometen la operatividad del sistema de transporte.



Ilustración 6. Perdida de bancada
(Saldarriaga, 2022)



Ilustración 7. Inundación (El
Heraldo, 2011)



Ilustración 8. Deslizamiento de
tierra (Caracol Radio, 2020)

En segundo lugar, se identificaron factores controlables que, aunque necesarios, también generan interrupciones en la red vial, tales como mantenimientos viales, eventos deportivos, demoliciones, restricciones vehiculares y medidas de prevención, como se observa en las ilustraciones 9 y 11. Adicionalmente, se consideraron factores de índole social, los cuales, aunque no controlables, están estrechamente relacionados con el contexto cultural y político del país, como se muestra en la ilustración 10.



Ilustración 9. Mantenimiento vial
(La república, 2023e)



Ilustración 10. Protestas (Revista
Semana, 2023)



Ilustración 11. Restricciones a
vehículos de carga (Colombia,
2023)

Para evaluar el impacto de estos cierres en la cadena de suministro, se analizaron variables clave, incluyendo la configuración de las flotas que transitan por la red vial nacional, el número de vehículos de carga afectados por cada interrupción, los orígenes y destinos de los trayectos, la temporalidad y duración de los cierres, la movilización de carga en el momento de la afectación, los factores causantes de cada cierre y los costos asociados a los trayectos. Este análisis permitió caracterizar el efecto de las disrupciones en la logística de transporte y su impacto en la eficiencia operativa de las principales cadenas de suministro.

3.2 Comprensión de los datos

3.2.1 Extracción de información

La primera base de datos fue suministrada directamente por el Ministerio de Transporte de Colombia (específicamente por Invias) en formato de hoja de cálculo. Estos datos incluyen registros de cierres viales del país, especificando la fecha, la ubicación del segmento vial afectado y una descripción no estructurada del evento. La ventana de observación abarca desde enero de 2018 hasta junio de 2020.

La segunda base de datos proviene del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) disponible en la página web del Ministerio de Transporte de Colombia, accesible para uso libre. Esta información incluye rutas con origen y destino, costos de fletes, distancias, tipologías de vehículos, productos transportados y toneladas movilizadas entre regiones, departamentos y municipios, cubriendo periodos mensuales desde 2016 hasta 2024 (Ministerio de transporte de Colombia, 2024b).

Para estimar el flujo vehicular en los corredores viales, se consideró información de la página de datos abiertos del Gobierno Nacional de Colombia, administrada por la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), que proporciona el número de vehículos registrados en los peajes del país (Agencia nacional de infraestructura, 2023). Adicionalmente, se descargaron anexos a los manuales del RNDC, los cuales suministran soporte gráfico para las tipologías vehiculares y clasificaciones de tipo de producto, lo cual permitió contextualizar mejor los datos de transporte y carga, facilitando el análisis y la interpretación. (Ministerio de transporte de Colombia, 2024a). Finalmente, se consultaron datos de la Red Vial Nacional, que describen la categorización, codificación, distancia y ubicación de los tramos viales (Instituto Nacional de Vías, 2024b).

3.2.2 Análisis de información

El análisis de la información inició con la evaluación de la estructura y contenido de los datos descargados, permitiendo una visualización preliminar de la información recopilada. Se realizó una revisión detallada de los datos, verificando su relevancia en relación con los objetivos del estudio. Sin embargo, no fue posible validar directamente la ocurrencia de los eventos reportados, por lo que se asumió la fiabilidad de los datos suministrados por las entidades gubernamentales correspondientes, como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Ministerio de Transporte de Colombia. La ilustración 12 presenta un diagrama general que facilita la comprensión de la estructura de los datos y la identificación de asociaciones clave entre las variables.

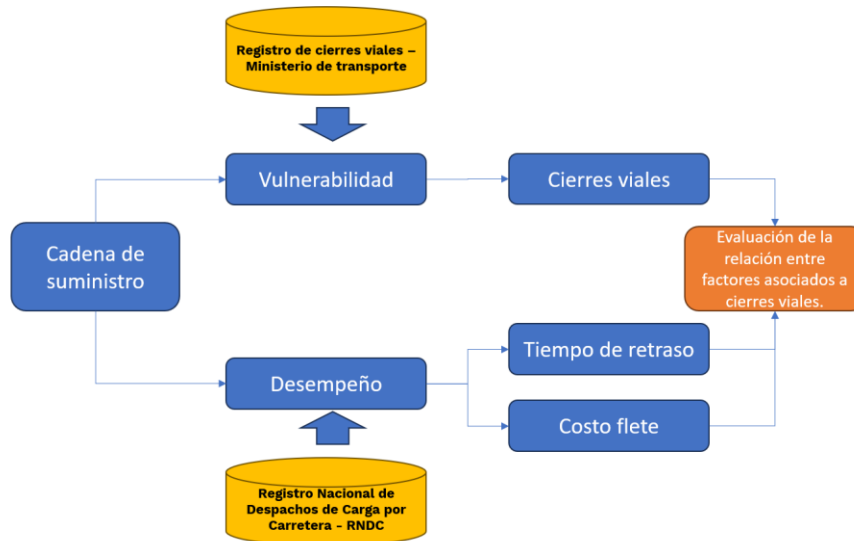


Ilustración 12. Diagrama general de evaluación (Elaboración propia)

Para complementar el análisis, se revisaron los anexos de los manuales del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC), a partir de los cuales se generó la ilustración 13. Este documento proporciona una clasificación detallada de la tipología vehicular de carga en Colombia, especificando su designación, código, esquema estructural y descripción. Además, contiene información relevante sobre la clasificación y codificación de productos, pesos y capacidades de los vehículos, tipos de carrocerías y otras características técnicas esenciales para la evaluación del flujo logístico.

Designación	Esquema del vehículo	Descripción vehículo y semiremolque	Designación	Esquema del vehículo	Descripción vehículo y semiremolque	Designación	Esquema del vehículo	Descripción vehículo y semiremolque
2		Camión Rígido de 2 ejes	2R2		Camión Rígido de 2 ejes Remolque de 2 ejes	3B1		Camión Rígido de 3 ejes Remolque Balanceado de 1 eje
3		Camión Rígido de 3 ejes	2R3		Camión Rígido de 2 ejes Remolque de 3 ejes	3B2		Camión Rígido de 3 ejes Remolque Balanceado de 2 ejes
4		Camión Rígido de 4 ejes	3R2		Camión Rígido de 3 ejes Remolque de 2 ejes	3B3		Camión Rígido de 3 ejes Remolque Balanceado de 3 ejes
251		Tractocamión de 2 ejes Semiremolque de 1 Eje	3R3		Camión Rígido de 3 ejes Remolque de 3 ejes	4B1		Camión Rígido de 4 ejes Remolque Balanceado de 1 eje
252		Tractocamión de 2 ejes Semiremolque de 2 Ejes	4R2		Camión Rígido de 4 ejes Remolque de 2 ejes	4B2		Camión Rígido de 4 ejes Remolque Balanceado de 2 ejes
253		Tractocamión de 2 ejes Semiremolque de 3 Ejes	4R3		Camión Rígido de 4 ejes Remolque de 3 ejes	4B3		Camión Rígido de 4 ejes Remolque Balanceado de 3 ejes
351		Tractocamión de 3 ejes Semiremolque de 1 Eje	4R4		Camión Rígido de 4 ejes Remolque de 4 ejes			
352		Tractocamión de 3 ejes Semiremolque de 2 Ejes	2R1		Camión Rígido de 2 ejes Remolque Balanceado de 1 eje			
353		Tractocamión de 3 ejes Semiremolque de 3 Ejes	2R2		Camión Rígido de 2 ejes Remolque Balanceado de 2 ejes			
			2R3		Camión Rígido de 2 ejes Remolque Balanceado de 3 ejes			

Ilustración 13. Tipología vehicular general (Ministerio de transporte de Colombia, 2024a)

Por otro lado, en la revisión de los datos proporcionados por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) sobre el flujo vehicular en peajes (Agencia nacional de infraestructura, 2023), se identificaron vacíos de información en el período comprendido entre enero de 2018 y junio de 2020. Adicionalmente, no todos los tramos viales evaluados contaban con peajes, lo que limitó la posibilidad de asociar estos registros con la localización de los cierres viales. Debido a estas restricciones, la base de datos de la ANI no se consideró viable para su inclusión en el presente estudio.

3.3 Preparación de los datos

La construcción del modelo representó la etapa más exigente del proyecto, ya que, como en todo análisis de datos, el preprocesamiento y adecuación de la información fue el proceso más extenso. Para la base de datos de cierres viales, se analizaron 289,889 registros, organizados en intervalos de tiempo diarios. Cada registro incluía la identificación del segmento vial, los kilómetros correspondientes, una descripción del evento (detallando la causa del cierre o la solución aplicada), la clasificación del cierre (total o restringido) y una serie de columnas binarias que indicaban la presencia o ausencia de cada factor de cierre. Posteriormente, se estandarizaron los formatos de fecha y se creó una nueva columna que agrupaba los factores de cierre asociados, facilitando su análisis. Con esta información, se elaboró un diagrama de Pareto, ilustrado en la figura 14.

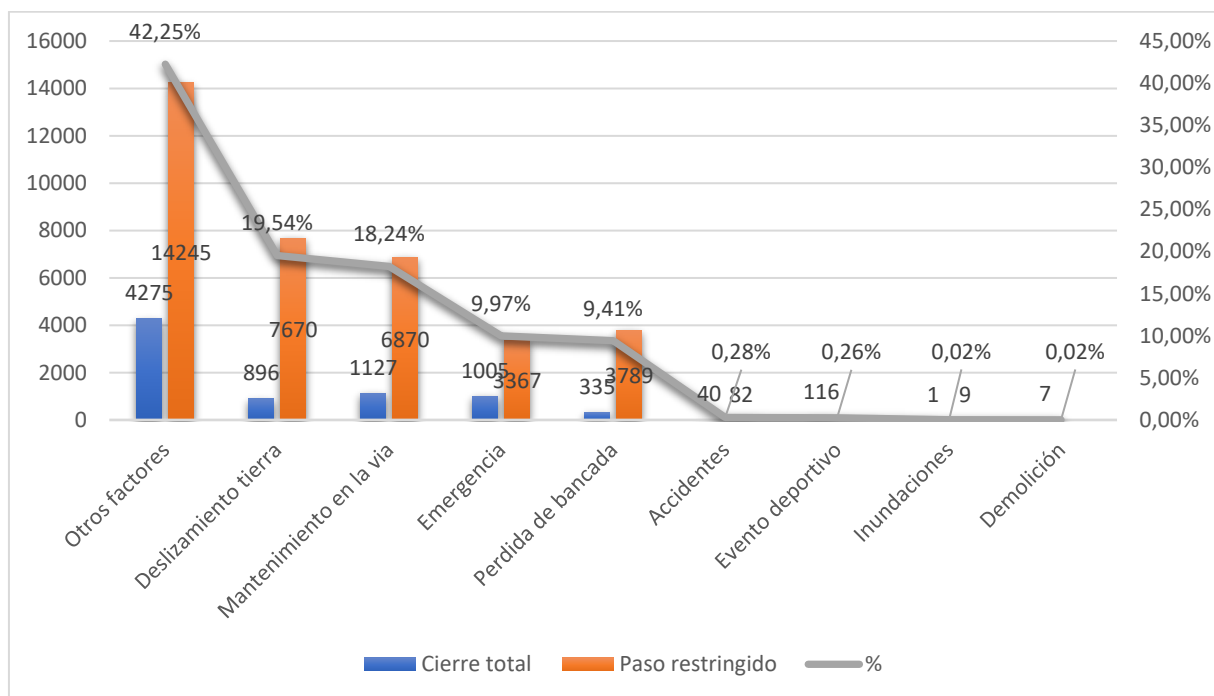


Ilustración 14. Diagrama de Pareto cierres viales Colombia (Elaboración con Excel)

El análisis preliminar de los datos reveló que el 42,25 % de los cierres viales no especificaban su causa, lo que representa una limitación en la calidad de los datos disponibles. Además, se identificó que el 82,2 % de los cierres correspondían a pasos restringidos, mientras que el 17,8 % fueron cierres totales, lo que refleja una mayor recurrencia de interrupciones parciales en la red vial.

En cuanto a la base de datos del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC), se integraron 30 archivos mensuales, sumando un total de 3,662,334 registros. Los datos se organizaron en cinco bases de datos semestrales, con archivos de entre 600,000 y 825,000 filas cada uno. No obstante, para optimizar el procesamiento y facilitar el análisis, finalmente se optó por utilizar Power Query, una herramienta especializada en la transformación y preparación de datos. Esta solución permitió unificar todas las fuentes de información en un solo entorno de trabajo, mejorando la manipulación de datos y su integración en tablas dinámicas para análisis posterior.

3.3.1 Selección de datos

Dado que el estudio se enfoca en la región del Pacífico de Colombia, fue necesario validar y estandarizar los criterios de ubicación geográfica en cada una de las bases de datos utilizadas. Para la base de datos de cierres viales, se revisaron los 313 segmentos viales registrados, verificando su latitud y longitud a través de Google Maps o mediante la descripción de origen y destino del tramo afectado. A partir de este análisis, se identificó que la región del Pacífico cuenta con 31 segmentos viales, lo que equivale al 9.9 % del total. En términos del número de registros en la base de datos, los cierres viales ocurridos en esta región representan el 15.40 % del total durante el período analizado.

En la base de datos del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC), se incorporaron columnas que indicaban la región de origen y destino, asignadas a partir del departamento correspondiente. Este proceso permitió filtrar la información específica de la región del Pacífico, considerando tanto los desplazamientos iniciados en la zona como aquellos con destino a ella. Como se observa en la ilustración 15, la reducción de datos basada en estos criterios muestra que el 30.05 % de los registros están vinculados con la región del Pacífico.

La integración de estas bases de datos se realizó a partir de la información de ubicación geográfica, la cual fue homologada según los tramos de la Red Nacional Vial (INVIAS). Este proceso permitió la unificación de los datos y la asociación de información complementaria sobre cierres viales y el comportamiento de la cadena de suministro, facilitando un análisis más preciso de su impacto en la logística regional.

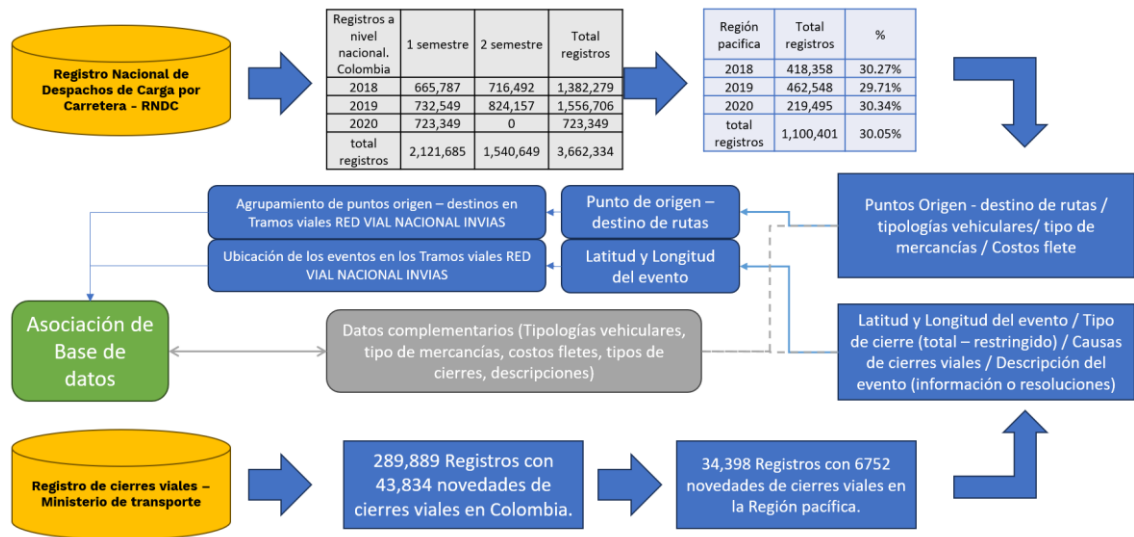


Ilustración 15. Preparación, selección y reducción de datos (Elaboración propia)

3.3.2 Limpieza y organización de datos

Una vez seleccionada la información relevante para los objetivos del estudio, se llevó a cabo el proceso de limpieza de datos. En la base de cierres viales, se revisaron todas las descripciones y observaciones de los eventos, verificando los factores causales, situaciones reportadas y resoluciones aplicadas. Se validaron los comentarios asociados a cada cierre y se contrastaron con las resoluciones publicadas por el Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS), como se ilustra en la tabla 2 (Instituto Nacional de vías Colombia, 2024).

Factor de cierre vial	Resolución
Demolición	Resolución 02189 del 16 de abril de 2018
Emergencia	Resolución 02697 del 06 de junio de 2019
Emergencia	Resolución 04175 de 3 de Julio de 2018,2
Emergencia	Resolución 6473 del 12 de octubre de 20182
Emergencia	Resolución 0016 del 02 de diciembre de 2019
Emergencia	Resolución 0016 del 02 de enero de 2020
Emergencia	Resolución 00541 del 02 de febrero de 2018
Emergencia	Resolución 02280 del 01 de abril de 2017
Emergencia	Resolución 04071 del 25 de junio de 2018
Emergencia	Resolución 04316 del 16 de agosto de 2019
Emergencia	Resolución 04368 del 11 de Julio de 2018
Emergencia	Resolución 04657 del 24 de julio de 2018
Emergencia	Resolución 06773 del 12 de diciembre de 2019
Evento deportivo	Resolución 004236 del 14 de agosto de 2019
Mantenimiento en la vía	Resolución 003077 del 18 de junio de 2019

Mantenimiento en la vía	Resolución 00376 del 31 de enero de 2019
Mantenimiento en la vía	Resolución 00573 de 28 febrero de 2020
Mantenimiento en la vía	Resolución 00578 de 28 febrero de 2020
Mantenimiento en la vía	Resolución 01915 del 26 de abril de 2019
Mantenimiento en la vía	Resolución 01970 del 26 de abril de 2019
Mantenimiento en la vía	Resolución 0578 del 28 de febrero de 2020
Mantenimiento en la vía	Resolución 06343 del 05 de octubre de 2018
Mantenimiento en la vía	Resolución 06997 del 09 de noviembre de 2018
Mantenimiento en la vía	Resolución 6037 del 02 de septiembre de 2016
Otros factores	Resolución 6217 del 28 de septiembre de 2018
Perdida de bancada	Resolución 6003 del 10 de septiembre de 20182
Perdida de bancada	Resolución 003352 del 5 de Julio de 2019
Prevención (control vial, seguridad o situación social)	Resolución 05587 del 11 de octubre de 2019
Prevención (control vial, seguridad o situación social)	Resolución 6003 del 10 de septiembre de 20182
Prevención (control vial, seguridad o situación social)	Resolución 01969 del 30 de abril de 2019
Prevención (control vial, seguridad o situación social)	Resolución 02188 del 14 de mayo de 2019
Prevención (control vial, seguridad o situación social)	Resolución 06343 del 05 de octubre de 2018
Restricciones a vehículos de carga, extra dimensionada o pesada	Resolución 00541 del 02 de febrero de 2018
Restricciones a vehículos de carga, extra dimensionada o pesada	Resolución 04071 del 25 de junio de 20182
Restricciones a vehículos de carga, extra dimensionada o pesada	Resolución 06773 del 12 de diciembre de 2019
Restricciones a vehículos de carga, extra dimensionada o pesada	Resolución 1043 del 29 de abril de 2020

Tabla 2. Resoluciones de cierres viales

En la base de datos del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC), se identificaron registros incompletos, especialmente en lo referente a distancias de trayecto y costos de flete. Las filas sin valores de costos de flete o sin información sobre pagos fueron consideradas únicamente para análisis basados en kilogramos transportados, número de viajes y tipología vehicular, pero fueron descartadas del análisis de costos logísticos. Para completar las distancias reales por carretera en trayectos incompletos, se utilizó información obtenida de Google Maps, seleccionando los recorridos más cortos entre los municipios de origen y destino.

Además, se corrigieron formatos de datos inconsistentes dentro de la base de RNDC, ya que algunos códigos aparecían como valores numéricos y ciertos valores numéricos estaban registrados como texto. De no haberse corregido, esto habría afectado el análisis descriptivo e interpretaciones posteriores.

Los valores atípicos fueron identificados y evaluados. En términos estadísticos, estos corresponden a mediciones cuya magnitud difiere significativamente de la tendencia general de los datos (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009). En este estudio, se reconocieron variaciones en los costos de flete debido a factores como el estado de las vías, el momento de la negociación, el tipo de mercancía y la dificultad de acceso. No obstante, se consideraron

valores atípicos aquellos costos que duplicaban el promedio del flete para el mismo trayecto, asegurando que la información analizada reflejara con precisión las condiciones reales del transporte de carga.

El proceso de limpieza y validación de datos fue fundamental para garantizar la calidad, confiabilidad y precisión de la información utilizada en el estudio. La depuración de inconsistencias permitió estructurar un análisis sólido de los cierres viales e indicadores de transporte de mercancías, facilitando la identificación de patrones y tendencias en la región del Pacífico colombiano.

Como parte de la organización de los datos, se realizó la agrupación de datos, el cual se llevó a cabo con un enfoque basado en ubicaciones geográficas, dado al objetivo de simplificar la complejidad del análisis y garantizar la coherencia en la integración de la información. Inicialmente, las ubicaciones presentaban diferencias significativas en su estructura de datos: la base de datos de cierres viales reportaba 35 segmentos de carreteras, mientras que la base de datos del RNDC registraba 773 puntos de origen y destino en la región. Para homogenizar esta información, los puntos de origen/destino y los segmentos viales fueron agrupados en tramos viales definidos por INVIAS, organizándolos además por áreas departamentales y regiones. Como se muestra en la tabla 3, se identificaron 15 tramos viales clave en la región del Pacífico, asignándoles su correspondiente código vial en la columna de tramo. Además, se generó una descripción detallada de cada tramo, indicando puntos estratégicos de origen y destino, su categorización vial, el departamento al que pertenece y el tipo de infraestructura de carretera (Instituto Nacional de Vías, 2024b). El tiempo de recorrido en cada tramo se determinó a partir de estimaciones obtenidas en Google Maps, mientras que la velocidad promedio se calculó dividiendo la distancia del tramo entre el tiempo total de recorrido en horas (Google, 2024).

Tramo	Descripción	Departamento	Tipo Carretera	Distancia Tramo (km)	Tiempo tramo (min)	Velocidad Tramo (km/h)
1001	Transversal Tumaco/Leticia - Categorización de primer orden	NARIÑO	Doble calzada	119	124	57.6
1002	Transversal Tumaco/Leticia - Categorización de primer orden	NARIÑO	Doble calzada	83.8	102	49.3
1901	Acceso a Cali - Categorización de primer orden	VALLE DEL CAUCA	Calzada sencilla	56.6	77	44.1
2301	Alternas a la troncal de occidente - Categorización de primer orden	VALLE DEL CAUCA	Doble calzada	11	14	47.1
2302	Alternas a la troncal de occidente - Categorización de primer orden	VALLE DEL CAUCA	Doble calzada	49.8	52	57.5
2501	Troncal de occidente - Categorización de primer orden	NARIÑO	Calzada sencilla	77.9	77	60.7
2502	Troncal Occidente - categorización de primer orden	NARIÑO	Doble calzada	113	139	48.8
2503	Troncal de occidente - Categorización de primer orden	CAUCA	Calzada sencilla	120	175	41.1
2504	Troncal Occidente - categorización de primer orden	CAUCA	Doble calzada	70.2	91	46.3
2506	Troncal de occidente - Categorización de primer orden	VALLE DEL CAUCA	Doble calzada	42.9	36	71.5
2602	Transversal Huila/Cauca - categorización de primer orden	CAUCA	Calzada sencilla	135	203	39.9
4001	Transversal Buenaventura/Villavicencio/Puerto Carreño - Categorización de primer orden	VALLE DEL CAUCA	Doble calzada	51.7	59	52.6
5002	Transversal Las animas/Bogota - Categorización de primer orden	CHOCO	Doble calzada	47.3	58	48.9
6002	Transversal Tribuga/Arauca - Categorización de primer orden	CHOCO	Calzada sencilla	101	144	42.1
6003	Transversal Tribuga/Arauca - Categorización de primer orden	CHOCO	Calzada sencilla	56.9	80	42.7

Tabla 3. Tramos viales, áreas departamentales. (Elaboración propia)

Para evaluar el número de vehículos que circulan en los 15 tramos viales seleccionados, se consideraron los orígenes y destinos de los trayectos en 7 áreas departamentales, las cuales fueron referenciadas en círculo. Adicionalmente, se incluyeron las ciudades de Popayán y Pasto, debido a su intersección con los tramos viales evaluados, así como su conexión con otras cuatro regiones del país, marcadas en semicírculo, tal como se ilustra en la figura 16. Como resultado de este proceso, se estableció un total de 28 ubicaciones geográficas, que en adelante serán consideradas tramos viales para efectos del presente análisis.



Ilustración 16. Mapa de tramos viales, áreas departamentales. (Google, 2024)

Se identificaron los tramos viales de acuerdo con el código del INVIAS y se logró determinar los tramos de mayor impacto en función del número de vehículos de carga afectados durante un cierre vial, considerando variables clave como el tiempo de demora, la tipología vehicular, los productos transportados y el costo de flete. Para estimar la cantidad de vehículos que transitan por un tramo en un período determinado, se analizó el flujo vehicular en cada trayecto o ruta que lo atraviesa, tanto en sentido de ida como de regreso. Se asumió que cualquier vehículo que circule total o parcialmente por el tramo afectado durante el tiempo en que se presentó el cierre vial experimentó un impacto en su operación. Este enfoque permitió cuantificar con precisión el grado de afectación de cada cierre vial sobre la movilidad de carga en la región.

3.3.3 Transformación de datos

El proceso inició con la transformación de la base de datos del RNDC, pasando de una estructura centrada en la descripción de cada recorrido en términos de número de vehículos, tipología vehicular y carga transportada, a una estructura que permitiera analizar cuántos vehículos transitaron por un tramo en un período determinado, especificando la tipología vehicular y el tipo de carga.

En primera instancia, se seleccionó la información correspondiente a la región del Pacífico y se organizó en tablas dinámicas. Este proceso permitió resumir, visualizar y analizar grandes volúmenes de datos de manera estructurada y flexible. Las tablas dinámicas fueron modeladas en distintos formatos para evaluar las interacciones entre variables clave, generando análisis sobre el número de vehículos por tipología, la cantidad de carga transportada en kilogramos y los costos de fletes, considerando los períodos evaluados y los 784 trayectos posibles entre tramos viales. Con la información disponible, se definieron las siguientes variables:

- Tramos de inicio de trayectos
- Tramos finales o destinos
- Tramo a evaluar
- Períodos de tiempo a analizar
- Tipologías vehiculares
- Tipos de productos
- Tipos de cierres viales y sus causas

Para estimar el impacto de los cierres viales sobre el flujo de carga, fue necesario descomponer los trayectos registrados entre origen y destino en los tramos viales específicos que los componen. Con este propósito, se construyó una matriz de adyacencia que permitió asociar de forma estructurada los 784 trayectos analizados con los tramos individuales de la red vial nacional. Esta matriz facilitó la identificación precisa de los segmentos recorridos por cada vehículo de carga, proporcionando así una base técnica para cuantificar cuántos vehículos transitan por cada tramo y, en consecuencia, estimar su nivel de exposición a interrupciones viales.

La construcción de la matriz de adyacencia se basó en la revisión de mapas y rutas en Google Maps (Google, 2024) y la cartografía del Instituto Nacional de Vías (Instituto Nacional de Vías, 2024b) considerando las rutas directas a través de la red principal de carreteras. Esta integración de datos permitió cuantificar con mayor precisión el flujo vehicular en cada tramo,

considerando además la carga transportada en kilogramos, los tipos de productos y las tipologías vehiculares.

Durante el proceso de transformación de los datos y construcción de la matriz de adyacencia entre tramos viales y flujos de carga, fue necesario establecer una serie de supuestos que permitieran avanzar con la transformación de los datos. En primer lugar, se asumió que la ruta definida en la matriz de adyacencia representa la única trayectoria posible entre el origen y destino (ij). Aunque en la realidad podrían existir rutas alternas o viajes no representados exactamente por las conexiones de la matriz, esta simplificación fue necesaria para poder establecer una relación directa entre tramos afectados por cierres viales y trayectos logísticos formales registrados en el RNDC. En segundo lugar, se consideró que cualquier vehículo de carga que transite por un tramo afectado (x), independientemente de si se trata de un trayecto completo o parcial, en sentido de ida o regreso, se verá afectado por el cierre.

3.3.3.1 Conjuntos

Tras la construcción de la matriz de adyacencia que se presenta en los anexos y la segmentación de la red vial en tramos individuales, se hizo necesario organizar la información de manera que permitiera analizar de forma agregada el comportamiento del flujo vehicular y su exposición a eventos de cierre vial. Como parte del proceso de transformación e integración de los datos, se definieron conjuntos a partir de criterios como el lugar (tramos), el momento y las características operativas (tipo de vehículo, tipo de vía, causas etc). Estos conjuntos no representan simples agrupaciones arbitrarias, sino que constituyen unidades funcionales de análisis que permiten modelar, mediante formulaciones matemáticas, la exposición de los flujos logísticos a disrupciones recurrentes. La tabla 4 muestra los conjuntos a utilizar dentro del modelado, indexando el conjunto de elementos dentro de un índice.

Índice	Nombre	Conjunto
i,j	(A) trayecto	1001, 1002, 1901, 2301, 2302, 2501, 2502, 2503, 2504, 2506, 2602, 4001, 5002, 6002, 6003, Cauca Norte, Cauca Sur, Choco, Nariño norte, Nariño sur, Pasto, Popayán, Valle, Valle norte, Amazonas, Andina, Caribe, Orinoquia
x	(X) Tramo por evaluar	1001, 1002, 1901, 2301, 2302, 2501, 2502, 2503, 2504, 2506, 2602, 4001, 5002, 6002, 6003
t	(T) Periodo de tiempo	201801,201802,201803,201804,201805,201806,201807, 201808, 201809, 201810, 201811, 201812, 201901, 201902, 201903, 201904, 201905, 201906, 201907, 201908, 201909, 201910, 201911, 201912, 202001, 202002, 202003, 202004, 202002, 202003, 202004

<i>l</i>	(<i>L</i>) Tipología vehicular	Tractocamión de 3 ejes semirremolque de 3 ejes, Camión rígido de 2 ejes, Tractocamión de 3 ejes semirremolque de 2 ejes, Camión rígido de 3 ejes, Tractocamión de 2 ejes semirremolque de 2 ejes, Otros
<i>p</i>	(<i>P</i>) Tipo de productos	Cereales, varios, azúcares y artículos de confitería, productos diversos de las industrias químicas, ...n)
<i>v</i>	(<i>V</i>) Causa de cierre	Deslizamiento de tierra, pérdida de bancada, emergencia, prevención, restricción vehículos de carga, mantenimiento en la vía, evento deportivo, demolición, otros factores.
<i>y</i>	(<i>Y</i>) tipo de vía	Carretera sencilla, doble vía
<i>r</i>	(<i>R</i>) Nivel de criticidad	Alto, medio, bajo
<i>q</i>	(<i>Q</i>) Tipo de cierre vial	Cierre total, Paso restringido

Tabla 4. Conjuntos para modelación de tramos y cierres viales

El conjunto *A* indexa los 28 tramos analizados, que comprende 15 tramos de carreteras, 4 regiones, 7 áreas departamentales y dos ciudades. Este conjunto indica, dentro de las formulaciones el origen (*i*) y destino (*j*) del trayecto. Se debe considerar, que cada tramo es una agrupación geoespacial de puntos de origen/destino, anidados en una extensión de carretera, región, ciudad o área departamental. Esto se agrupo con el fin de minimizar la complejidad del sistema.

El conjunto *X* indexa a los 15 tramos, donde $x \in X$, siendo subconjuntos que representan parte de un trayecto *i, j*. El cual se analiza en cuanto al número de vehículos, movilización de carga y tipología vehicular que transitaron sobre este tramo. Los tramos *x*, es la extensión de carretera a evaluar frente a los trayectos que compone, puesto un tramo puede ser parte de varios trayectos en un mismo tiempo. En la matriz de adyacencia elaborada para este estudio, se puede definir los tramos que componen los trayectos *i, j*.

El conjunto *T* referencia el periodo de tiempo o fecha, analizado entre los 30 meses que tiene como ventana el estudio. Se nombra cada mes con seis números, los cuatro primeros definen el año y los dos últimos el mes.

El conjunto *L* relaciona el tipo de vehículo a evaluar, se prioriza 5 tipologías que representa el Pareto frente a carga transportada en la región, igualmente se considera las demás tipologías, pero bajo el nombre de otros.

El conjunto *P* cataloga el tipo de producto o como está clasificado de acuerdo con la matriz del anexo de manuales de RNDC, que para el caso de Colombia clasifica 108 tipos de mercancías (Ministerio de transporte de Colombia, 2024a).

El conjunto V se refiere al conjunto de factores que causa un cierre, que en nuestro caso de estudio son 9.

El conjunto Y se refiere al tipo de carretera dado en el tramo x , puesto sea carretera sencilla o doble vía.

El conjunto R se indica el tipo de criticidad dado en un tiempo t , en el tramo x . Ya sea alto, medio o bajo, lo que define una variación en el tiempo de cierre vial.

El conjunto Q hace referencia el tipo de cierre vial presentado sea un cierre total o con paso restringido. Este conjunto genera variación igualmente en el tiempo de un cierre vial.

3.3.3.2 Parámetros

Representan los valores con información definida, las cuales están asociadas a los conjuntos indexados, pero que se mantendrán con formatos de unidades constantes dentro de las ecuaciones y formulaciones.

- El parámetro **Mov_carga** $_{xtp}$ o movimiento de carga, indica la cantidad de kilogramos que se transportaron en un tramo (x), dada contextos específicos de tiempo (t) y tipo de producto (p).

- El parámetro **kg_carga** $_{ijtlp}$ o kilogramos por carga, indica la cantidad de kilogramos que se trasladó en un trayecto (i, j), dada contextos específicos de tiempo (t), tipología vehicular (l) y tipo de producto (p).

- El parámetro **Rutas** $_{ijx}$, es una condicional binaria asociada a la matriz de adyacencia que define si el tramo (x) está en un trayecto (i, j). El tramo (x), es el foco por analizar en función de cómo compone e interconecta los diferentes trayectos de la malla vial.

- El parámetro **Mov_vehiculos** $_{xtl}$ o movimiento de vehículos, define el número de vehículos que transitaron en (x), determinado en contextos de tiempo (t) y tipología vehicular (l).

- El parámetro **Num_vehiculos** $_{ijtl}$ o número de vehículos, define la cantidad de vehículos que transitaron en el trayecto (i, j), determinado en contextos de tiempo (t) y tipología (l).

- El parámetro de **Flete** $_{pagado_{ixtl}}$ es el dato informativo que se tuvo para cuantificar el valor del flete en un trayecto(i, x) determinado en contextos de tiempo (t) y tipología vehicular (l).

- El parámetro **Costo_Flete_KM** $_{xtl}$ o costo de flete por kilómetro, determina el valor promedio ponderado del flete pagado por kilómetro, en un recorrido que transita hacia el tramo (x), determinado en contextos de tiempo (t) y tipología vehicular (l).

- El parámetro de **Viajes_totales** $_{ijtl}$ es el número de viajes realizados en los periodos de tiempo (t), que son históricos de un mes, entre los trayectos (i, j), determinado en contextos de tiempo (t) y tipología vehicular (l).
- El parámetro de **Distancia_trayecto** $_{ix}$ es la información recolectada a través de mapas en red, sobre las distancias de los recorridos entre un tramo inicial (i) y el tramo (j).
- El parámetro de **Velocidad_tramo** $_x$ es información generada a través de Google sobre la distancia del tramo (x) y el tiempo de su recorrido.
- El parámetro **Costo_Flete_Hora** $_{xtl}$ es el valor promedio del flete en el tramo (x) por hora, considerando el tiempo (t) y la tipología vehicular (l). Se considera al evaluar el costo de flete por kilómetro por la velocidad en kilómetros por hora del tramo (x). Este costo de flete por hora es el que se relacionara con el tiempo de demora por cierre vial, el cual se evaluara para cada tipo de vehículo de carga.
- El parámetro de **Δ Tiempo_cierre_vial** $_{qvyr}$ es un tiempo en el que se afecta cada vehículo cuando se presenta un cierre vial, dado por el tipo de cierre (q), la causa de cierre (v), el tipo de vía (y) y el tipo de riesgo (r).
- Este parámetro **Días_mes** $_t$ es información consultada sobre el número de días de cada mes evaluado (t).
- El parámetro de **Impacto_costo_flete** $_{xtl}$ es un dato que expresa la afectación del costo de flete por cierres viales en el tramo (x), determinado por el tiempo (t) y la tipología vehicular (l).

3.3.3.3 Formulación

La representación del modelo en formatos de formulación algebraica se realizó con el propósito de definir con claridad las relaciones entre los conjuntos y parámetros, permitiendo así su reproducibilidad y la verificación de resultados.

La ecuación 1 calcula la sumatoria de vehículos que recorrieron un tramo (x), considerando el tiempo (t) y la tipología vehicular (l). Esta fórmula se considera la sumatoria de 784 trayectos desde su punto de inicio (i) hasta el destino (j) que pasan por el tramo (x). Las rutas o trayectos se evalúan bajo la condición de la matriz de adyacencia en el parámetro ruta, la cual indica si el tramo (x) está en el recorrido del trayecto (i, j).

$$Mov_vehiculos_{xtl} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Num_vehiculos_{ijtl} * Ruta_{ijx} \quad \forall_x \quad \forall_t \quad \forall_l$$

Ecuación 1. Formulación de movimientos de vehículos.

La ecuación 2 calcula la sumatoria de la carga en kilogramos que se transportó en un tramo (x), considerando el tiempo (t), la tipología del vehículo (l) y el tipo de producto (p). Esta formulación también considera los 784 trayectos desde (i) hasta (j), considerando igualmente la condición de la matriz de adyacencia en el parámetro Ruta.

$$Mov_carga_{xtlp} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Kg_carga_{ijtlp} * Ruta_{ijx} \quad \forall_x \quad \forall_t \quad \forall_p \quad \forall_l$$

Ecuación 2. Formulación movimiento de carga

La ecuación 3 muestra la formulación para obtener el promedio ponderado de los costos de fletes pagados sobre la distancia del recorrido, considerando la tipología vehicular, el mes y los trayectos que tienen como destino el tramo a evaluar. Este indicador es relevante para definir la productividad del costo total de transporte (Zuluaga Mazo et al., 2014). La ponderación se realiza como atenuante ante datos atípicos a rutas de difícil acceso cercanos al tramo, las cuales tienden a tener un costo mayor.

La ecuación 4 analiza estimado del costo por hora del flete de carga para el tramo (x), en un tiempo (t) frente a la tipología vehicular (l). Se evaluó el costo de flete por km y la

$$Costo_Flete_KM_{xtl} = \sum_i^{28} \left(\left(\frac{Viajes_totales_{ixtl}}{\sum_i Viajes_totales_{ixtl}} \right) * \left(\frac{Flete_pagado_{ixtl}}{Distancia_trayecto_{ix}} \right) \right) \quad \forall_x \quad \forall_t \quad \forall_l$$

Ecuación 3. Costo de flete por kilometro

velocidad promedio que tiende a tener un vehículo en el tramo (x). La velocidad promedio se calculó a través de Google maps, que simula el tiempo de recorrido y la distancia, permitiendo calcular una velocidad promedio aproximada (Google, 2024).

$$Costo_Flete_Hora_{xtl} = Costo_Flete_KM_{xtl} * Velocidad_tramo_x$$

Ecuación 4. Costo de flete por hora.

Para el impacto del costo de flete mostrado en la ecuación 5, la transformación de datos efectuada en la información de la RNDC, se unifico con la base de datos de cierres viales. Analizando el tiempo de cierre vial de acuerdo con el tipo de cierre (q), la causa de cierre (v), el tipo de vía (y) y el tipo de riesgo (r). Multiplicado con los parámetros dados en las ecuaciones

1 y 4. Para la ecuación 1, se divide sobre el número de días del mes (t), dado que el modelo de tiempo de la base de datos de cierres viales es diario, mientras la información de la RNDC es mensual. Al no contar con información que indique como se comportaría en un mes la distribución del flujo vehicular de carga, se asume la uniformidad del flujo. “Se debe resaltar que el impacto de costo de flete es una variable dependiente del tiempo de cierre vial, puesto la variación del segundo afectara directamente al primero. En este marco se podría aplicar a modelos de minimización de costos en escenarios que tengan este punto como objetivo. Pero en nuestro enfoque, este modelo se plantea para la transformación de datos y su posterior análisis.”

$$\text{Impacto_costo_flete}_{xtl} = \Delta\text{Tiempo_cierre_vial}_{qvyr} * \text{Costo_Flete_Hora}_{xtl} * (\text{Mov_vehiculos}_{xtl} / \text{Dias_mes}_t)$$

Ecuación 5. Impacto de costo flete.

En la ecuación 6 se establecen las restricciones del modelo para asegurar que las soluciones generadas sean viables y aplicables al contexto específico del caso de estudio. Todos los parámetros analizados deben ser números no negativos debido a su naturaleza, y el único parámetro que estará limitado será el binario de Rutas, el cual se definirá como un valor entero entre 0 y 1.

$$\begin{aligned} & \text{Mov}_{carga_xtp}, \text{kg}_{carga_ijtlp}, \text{Mov}_{vehiculos}_{xtl}, \text{Num}_{vehiculos}_{ijtl}, \text{Flete}_{pagado}_{ixtl}, \text{Costo}_{Flete_{KM}_{xtl}}, \\ & \text{Distancia}_{trayecto}_{ix}, \text{Velocidad}_{tramo}_x, \text{Costo}_{Flete_{Hora}_{xtl}}, \Delta\text{Tiempo}_{cierre_vial}_{qvyr}, \text{Días}_{mes}_t, \\ & \text{Viajes}_{totales}_{ijtl}, \text{Impacto_costo_flete}_{xtl} \geq 0 \\ & 1 \geq \text{Rutas}_{ijx} \geq 0 \end{aligned}$$

Ecuación 6. Condiciones lógicas

3.4 Integración de datos

Con los datos transformados de la ecuación 2, se permitió cuantificar los flujos de productos que transitan por cada tramo vial, estableciendo la relación entre la carga movilizada y los impactos de costo y tiempos de transporte. Igualmente, la ecuación 5 a través de los tiempos estimados de cierres viales y el promedio de los costos de fletes, permitió cuantificar el impacto en los costos de flete por hora, lo que dio respuesta a la pregunta de investigación del estudio **¿Cuál es el impacto de los cierres viales en el desempeño logístico de las**

principales cadenas de suministro en la región Pacífico de Colombia, medido en términos de costos y tiempos de transporte?

A través de la integración de información de las bases de datos, se identificó cómo los tiempos de demora generados por cierres viales afectan los costos logísticos en el transporte de carga en los distintos tramos que transitan por un tramo específico (x). Este análisis proporciona una evaluación cuantitativa del impacto en la eficiencia operativa de la cadena de suministro. Adicionalmente considerando, que los incrementos en los tiempos de tránsito no solo elevan los costos de transporte, sino que este factor también incrementa el riesgo de incumplimientos y retrasos en la entrega de mercancías. Además, la incorporación del análisis de movimiento de carga por tipo de producto permitió identificar los sectores económicos más afectados en la región. Al evaluar la frecuencia y magnitud de las interrupciones en los tramos viales críticos, se facilita la toma de decisiones estratégicas para optimizar la gestión del transporte y mitigar los efectos adversos de los cierres viales en las principales actividades productivas. Este análisis no solo respalda el cumplimiento de los objetivos del estudio, sino que también proporciona información clave para la planificación logística y la formulación de estrategias de mitigación, mejorando la resiliencia de la cadena de suministro en la región del Pacífico colombiano.

3.5 Interpretación, análisis y evaluación de los datos

La interpretación de los datos se inició desde el primer momento de interacción con la información, a través de su comprensión, selección, investigación y transformación. Este proceso fue fundamental para garantizar que el análisis estuviera alineado con los objetivos del estudio, los cuales se centraban en evaluar los flujos vehiculares afectados por cierres viales, considerando tipologías vehiculares, tipos de cierre (paso restringido o cierre total) y factores asociados a estas interrupciones.

Para desarrollar una interpretación estructurada y precisa, el análisis comenzó con una evaluación a nivel nacional, lo que permitió contextualizar la magnitud de los cierres viales en la red de transporte de Colombia. Posteriormente, se seleccionaron y acotaron los datos hasta enfocarse en los tramos viales específicos de la región del Pacífico.

Las bases de datos utilizadas contenían registros de todo el país dentro del período evaluado, lo que resultó clave para establecer la relación entre las interrupciones en la región Pacífica y su impacto en el resto del país. Adicionalmente, las rutas analizadas en los tramos no solo representaban trayectos internos dentro de la región, sino que también reflejaban su

conectividad con otras regiones, permitiendo evaluar los efectos de los cierres viales tanto en las cadenas de suministro locales como en aquellas con alcance nacional.

Este enfoque permitió una evaluación, donde se correlacionaron los datos de tráfico de carga con la infraestructura vial y los eventos disruptivos, proporcionando una base sólida para la estimación de impactos en costos y tiempos de transporte.

3.5.1 interpretación de datos a nivel nacional

Evaluar los datos a nivel nacional destaca la participación, impacto e importancia de la región Pacífica en relación con las demás regiones de Colombia. La ilustración 17 analiza el comportamiento del flujo de carga para cada región, considerando la interacción entre la mercancía enviada o recibida desde otras regiones o dentro de la misma. Se observa un predominio de la región Andina, que representa el origen y destino del 52.74% de toda la carga a nivel nacional durante el periodo evaluado, seguida por la Caribe con el 21.3%, la Pacífica con el 20.56%, la Orinoquia con el 4.82% y la Amazónica con el 0.59%.

En la región Pacífica, el intercambio de mercancías ocurre principalmente dentro de la misma región, con un 63% del total de su carga movilizada, seguida por la región Andina con un 32% y la Caribe con un 4.2%. Este análisis evidencia la distribución económica entre las regiones de Colombia y el comportamiento general de las cadenas de suministro.

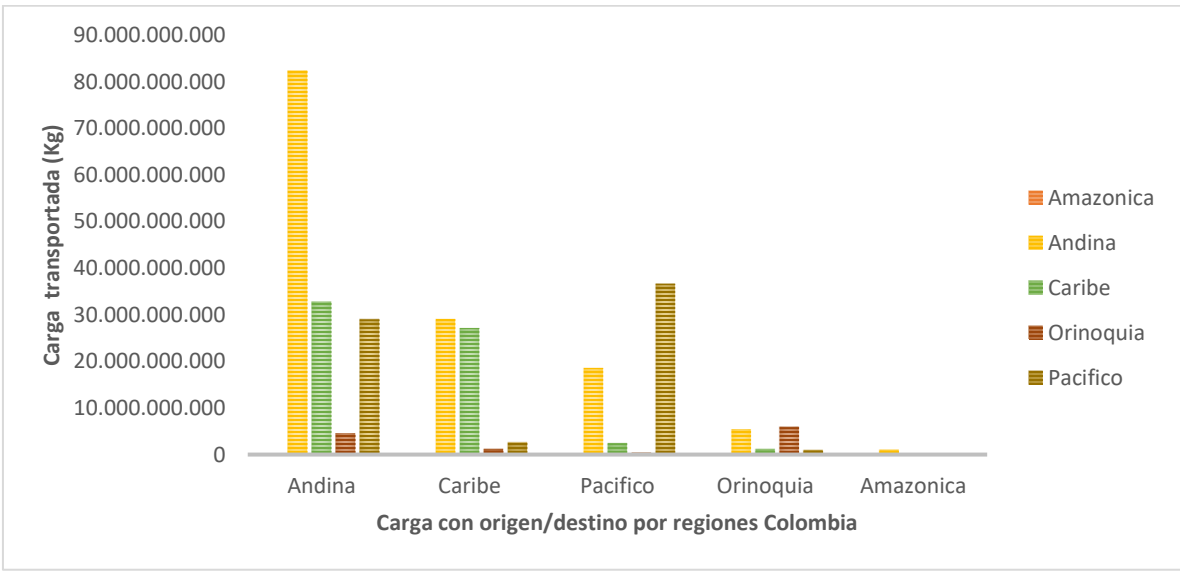


Ilustración 17. Carga transportada a nivel nacional por regiones

A nivel departamental, la ilustración 18 muestra un comportamiento diferente al regional. El Valle del Cauca tiene la mayor participación tanto en origen como en destino de volúmenes

de carga, seguido por Antioquia y Cundinamarca. En contraste, se observa una baja participación en el resto de los departamentos, algunos de los cuales son muy poco representativos, indicando un marcado contraste en el flujo de mercancías.

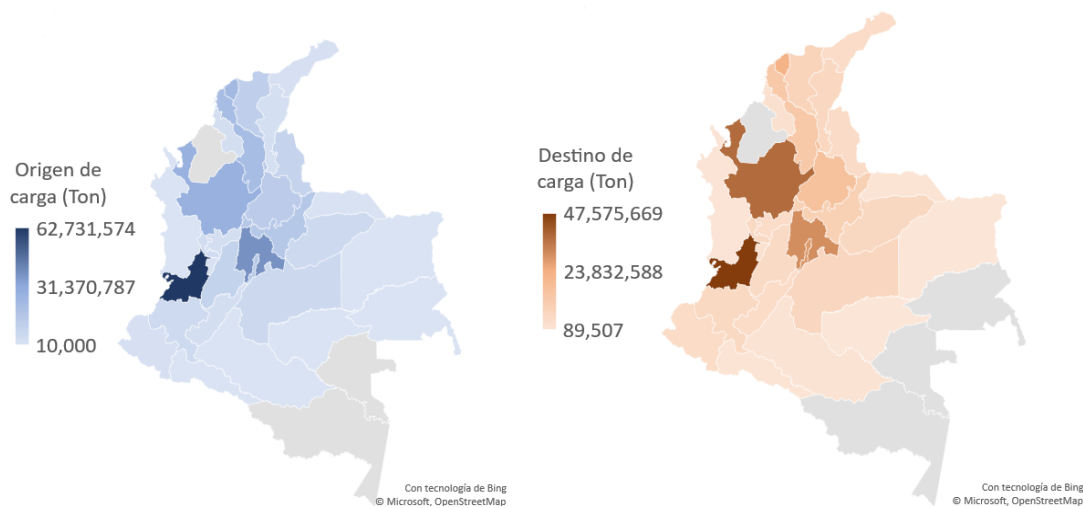


Ilustración 18. Carga transportada origen/destino interdepartamental

Las tablas 5 y 6 permiten comparar la carga de origen y destino en los departamentos de Colombia, especificando los años completos de 2018 y 2019 y el primer semestre de 2020. Estas tablas muestran que el 29% de los departamentos representaron el 80% del flujo de mercancías según el origen de carga, y el 35.4% de los departamentos representaron el 80% de los flujos de mercancía según los destinos de carga.

Movilización de acuerdo con el origen de carga	2018	2019	2020	Total general	%
VALLE DEL CAUCA	24,756,629,367	25,854,225,396	12,120,719,689	62,731,574,452	22.20%
CUNDINAMARCA	14,670,372,363	16,208,135,021	7,190,329,273	38,068,836,657	13.47%
ANTIOQUIA	11,061,388,418	11,387,624,541	5,042,095,443	27,491,108,402	9.73%
ATLANTICO	9,424,481,680	9,452,356,683	4,246,795,961	23,123,634,324	8.18%
BOLIVAR	8,447,187,213	8,880,840,285	3,494,218,699	20,822,246,197	7.37%
BOGOTA D. C.	5,902,366,399	6,429,559,222	2,631,124,306	14,963,049,927	5.30%
BOYACA	6,276,608,401	6,455,981,482	2,132,975,543	14,865,565,426	5.26%
SANTANDER	5,000,761,279	5,691,981,417	2,458,925,708	13,151,668,404	4.65%
MAGDALENA	4,125,114,066	4,750,151,381	2,187,594,561	11,062,860,008	3.92%

Tabla 5. Movilización de carga de acuerdo con el origen (Kg)

Movilización de acuerdo con el destino de carga	2018	2019	2020	Total general	%
VALLE DEL CAUCA	19,060,818,901	19,580,927,092	8,933,923,082	47,575,669,075	16.84%
ANTIOQUIA	15,126,008,414	15,902,860,756	6,980,956,055	38,009,825,225	13.45%
CUNDINAMARCA	11,344,612,822	13,589,502,473	5,889,697,004	30,823,812,299	10.91%
BOGOTA D. C.	11,516,998,889	12,199,090,259	5,012,923,554	28,729,012,702	10.17%
ATLANTICO	9,486,859,653	9,074,719,620	3,905,341,684	22,466,920,957	7.95%
SANTANDER	6,183,278,301	6,841,998,451	3,003,958,309	16,029,235,061	5.67%
BOLIVAR	5,466,144,405	5,261,561,377	2,312,936,740	13,040,642,522	4.62%
BOYACA	4,107,248,967	3,992,379,530	1,315,131,891	9,414,760,388	3.33%
MAGDALENA	3,081,591,852	2,901,672,957	1,691,186,142	7,674,450,951	2.72%
META	2,604,545,659	2,992,654,426	1,205,827,126	6,803,027,211	2.41%
CESAR	2,598,053,005	2,732,187,406	991,841,160	6,322,081,571	2.24%

Tabla 6. Movilización de carga de acuerdo con el destino (Kg)

El anexo de los manuales del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC) identifica gráficamente la tipología vehicular y su decodificación. La tabla 7 indica el número de viajes realizados durante el periodo evaluado y el total de kilogramos transportados a nivel nacional. El vehículo 3S3 o tractocamión de 3 ejes con semirremolque de 3 ejes es el que más carga transporta en Colombia entre 2018 y 2020, seguido por el camión rígido de 2 ejes, que es el vehículo más utilizado en número de viajes en el país.




Designación	Esquema del vehículo	Descripción vehículo y semirremolque	Carga transportada 2018 a 1 SEM 2020 (KG)	% Carga	# Viajes del 2018 a 1 SEM 2020 (KG)	% # viajes	Peso máximo de carga (KG)
3S3		Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 3 Ejes	187,584,794,393	66.4%	6,915,023	33.0%	53,300
2		Camión Rígido de 2 ejes	44,626,529,717	15.8%	9,889,208	47.3%	16,400
3S2		Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 2 Ejes	25,330,165,209	9.0%	1,483,065	7.1%	49,200
3		Camión Rígido de 3 ejes	10,893,174,714	3.9%	872,867	4.2%	28,700
2S2		Tractocamión de 2 ejes Semirremolque de 2 Ejes	8,839,829,065	3.1%	930,352	4.5%	32,800
DEMÁS TIPOLOGIAS			5,284,122,739	1.9%	836,033	4.0%	N/A

Tabla 7. Principales tipologías vehiculares para transporte de carga Colombia

Para la región Pacífica, la tabla 8 muestra que el Valle del Cauca lidera el flujo de carga, seguido por participaciones menores de Cauca y Nariño. En contraste, el departamento del Chocó presenta una participación muy baja, lo cual afecta significativamente el promedio regional en comparación con otras regiones. Los datos de origen y destino reflejan las dinámicas de cada departamento en relación con las cadenas de suministro, se puede observar que el Valle del Cauca destaca por su contribución en importaciones distribuidas a nivel nacional o por

una mayor producción industrial. Por el contrario, el Chocó muestra una disminución en sus cadenas de suministro, indicando un consumo interno elevado en comparación con la salida de productos.

Departamento	Destino (Ton)	Origen (Ton)	Total (Ton)	%
VALLE DEL CAUCA	47,575,669	62,731,574	110,307,244	86.3%
CAUCA	5,712,761	5,121,857	10,834,618	8.5%
NARIÑO	4,376,560	1,780,023	6,156,582	4.8%
CHOCO	422,602	27,933	450,536	0.4%

Tabla 8. Flujo de Carga departamentos de la región Pacífico (Kg)

En la tabla 9, se observa las tipologías vehiculares predominantes en la región Pacífica las cuales son el 3S3 y el camión rígido de 2 ejes, donde el 80% de la carga se transporta utilizando solo el 8% de las tipologías vehiculares disponibles en el país.






Designación	Esquema del vehículo	Descripción vehículo y semirremolque	Carga transportada 2018 a 1 SEM 2020 (KG)	% Carga	# Viajes del 2018 a 1 SEM 2020	% Vehículos	Peso máximo de carga (KG)
3S3		Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 3 Ejes	63,302,779,072	69%	2,160,566	37%	53,300
2		Camión Rígido de 2 ejes	11,658,250,316	13%	2,411,448	42%	16,400
3S2		Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 2 Ejes	8,483,682,294	9%	412,698	7%	49,200
2S2		Tractocamión de 2 ejes Semirremolque de 2 Ejes	4,120,436,899	5%	447,477	8%	32,800
3		Camión Rígido de 3 ejes	1,820,522,819	2%	134,631	2%	28,700
DEMÁS TIPOLOGÍAS			1,738,549,952	2%	229,742	4%	N/A

Tabla 9. Principales tipologías vehiculares para transporte de carga región Pacífico

La tabla 10 presenta la distribución del flujo de mercancías según los tipos de productos con origen o destino en la región Pacífica. Los cereales, especialmente el maíz, seguido de trigo, morcajo, arroz y avena, dominan esta distribución. Los productos varios incluyen artículos de uso general sin categorización específica. En tercer lugar, destacan los azúcares y artículos de confitería, subrayando la significativa industria en el Valle del Cauca en esta área, especialmente con productos como el azúcar de caña o remolacha y diversos artículos de confitería sin cacao. Finalmente, los productos diversos de la industria química, como cementos, morteros, hormigones, carbones activados e insecticidas, también tienen una presencia notable.

En el anexo se agrupa 3582 referencias en 108 tipos de productos (Ministerio de transporte de Colombia, 2024a).

Tipo de Producto	Total general (KG)	2018	2019	2020	% total	Acumulado
CEREALES,	9,865,370,349	10.7%	10.6%	11.6%	10.8%	10.8%
VARIOS	6,288,343,443	9.8%	5.5%	3.9%	6.9%	17.7%
AZÚCARES Y ARTÍCULOS DE CONFITERÍA,	5,673,424,025	6.5%	6.1%	5.9%	6.2%	24.0%
PRODUCTOS DIVERSOS DE LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS,	5,324,654,035	6.5%	5.8%	4.7%	5.8%	29.8%
RESIDUOS Y DESPERDICIOS DE LAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS; ALIMENTOS	4,831,703,448	5.6%	5.4%	4.6%	5.3%	35.1%
ABONOS,	4,211,475,572	3.9%	4.7%	6.0%	4.6%	39.7%
SAL; AZUFRE; TIERRAS Y PIEDRAS; YESOS, CALES Y CEMENTOS,	3,736,917,230	4.4%	3.9%	3.8%	4.1%	43.8%
OTROS	3,508,087,517	3.7%	4.0%	3.9%	3.8%	47.7%
PAPEL Y CARTÓN; MANUFACTURAS DE PASTA DE CELULOSA; DE PAPEL O DE CARTÓN,	3,246,205,269	3.6%	3.5%	3.6%	3.6%	51.2%
FUNDICIÓN, HIERRO Y ACERO,	2,660,589,887	2.7%	3.0%	3.1%	2.9%	54.2%
BEBIDAS, LÍQUIDOS ALCOHÓLICOS Y VINAGRE,	2,386,716,797	2.5%	2.8%	2.5%	2.6%	56.8%
PRODUCTOS DE MOLINERÍA; MALTA; ALMIDÓN Y FÉCULA; INULINA; GLUTEN DE TRIGO,	2,225,515,036	2.1%	2.4%	3.4%	2.4%	59.2%
MADERA, CARBÓN VEGETAL Y MANUFACTURAS DE MADERA,	2,207,139,371	2.5%	2.5%	2.2%	2.4%	61.6%
MATERIAS PLÁSTICAS Y MANUFACTURAS DE ESTAS MATERIAS,	2,010,376,730	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%	63.8%
PRODUCTOS QUÍMICOS INORGÁNICOS; COMPUESTOS INORGÁNICOS U ORGÁNICOS DE	1,974,450,301	2.2%	2.2%	2.1%	2.2%	66.0%
CAFÉ, TÉ, YERBA MATE Y ESPECIAS,	1,871,723,810	2.0%	2.1%	1.9%	2.1%	68.1%
PRODUCTOS CERÁMICOS,	1,765,964,868	2.0%	2.0%	1.7%	1.9%	70.0%
VEHÍCULOS Y MATERIAL PARA VÍAS FÉRREAS O SIMILARES Y SUS PARTES; APARATOS	1,680,046,892	1.7%	1.9%	2.2%	1.8%	71.8%
VIDRIO Y MANUFACTURAS DE VIDRIO,	1,572,780,348	1.8%	1.8%	1.4%	1.7%	73.6%
GRASAS Y ACEITES ANIMALES O VEGETALES; PRODUCTOS DE SU DESDOBLAMIENTO;	1,571,916,117	1.5%	1.7%	2.2%	1.7%	75.3%
SEMILLAS Y FRUTOS OLEAGINOSOS; SEMILLAS Y FRUTOS DIVERSOS; PLANTAS	1,543,480,585	1.7%	1.8%	1.5%	1.7%	77.0%
COMBUSTIBLES MINERALES, ACEITES MINERALES Y PRODUCTOS DE SU DESTILACIÓN;	1,214,793,564	1.2%	1.3%	1.7%	1.3%	78.3%
REACTORES NUCLEARES, CALDERAS, MÁQUINAS, APARATOS Y ARTEFACTOS	1,090,741,750	1.3%	1.2%	1.0%	1.2%	79.5%
CARNES Y DESPOJOS COMESTIBLES	1,045,396,928	1.1%	1.2%	1.2%	1.1%	80.7%

Tabla 10. Pareto de los principales tipos de productos de la región Pacífico

Este caso de estudio se centró en evaluar el impacto de los cierres viales en el desempeño de la cadena de suministro para dos tipos de productos principales: cereales y azúcares, que son altamente representativos en la actividad económica regional, tanto por la industria establecida en el Valle del Cauca como por las importaciones de cereales.

3.5.2 Interpretación de cierres viales en Tramos

En la ilustración 19, se presenta el diagrama de Pareto del número de cierres viales para los tramos evaluados en la región Pacífica. El tramo más afectado es el 5002, que conecta el eje cafetero con el Chocó, presentando numerosos cierres con paso restringido, principalmente causados por deslizamientos de tierra, como se muestra en la ilustración 20. Otros tramos con alta afectación incluyen el 2504 y el 2501, ambos partes de la vía Panamericana en los departamentos del Cauca y Nariño, respectivamente. Estos tramos están afectados por diversos factores de cierre, como restricciones a vehículos de carga, emergencias y mantenimientos.

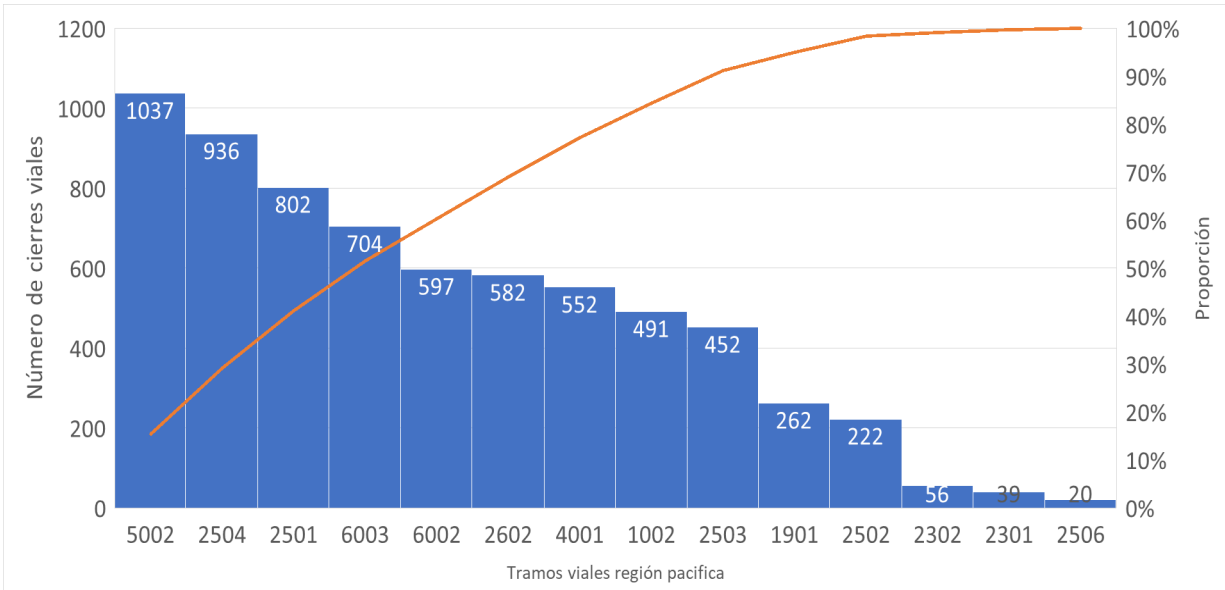


Ilustración 19. Pareto de cierres viales por tramo - Periodo enero 2018 a junio 2020

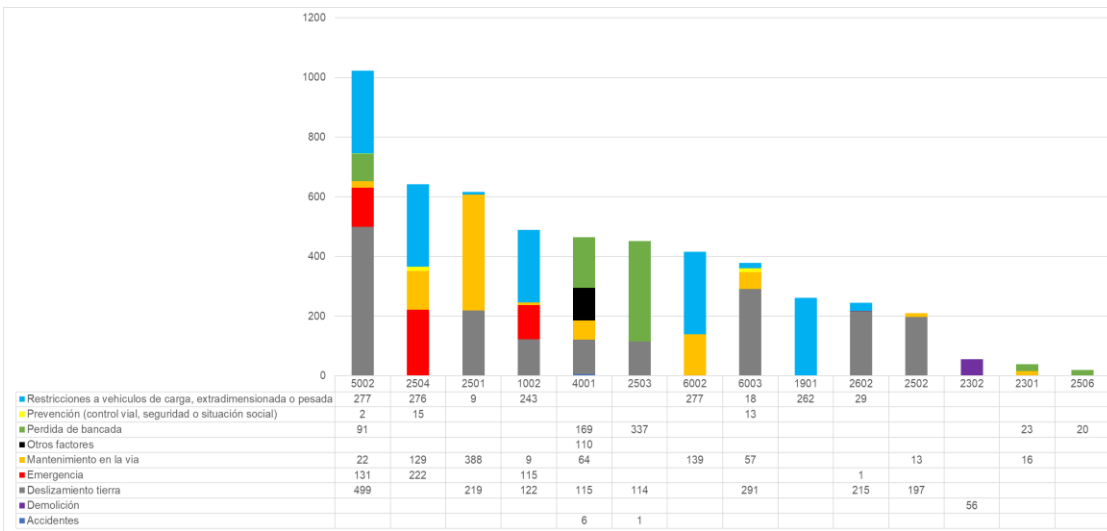


Ilustración 20. Cierres con paso restringido por tramo, definiendo factor de cierre

El Pareto de factores de cierre paso restringido de la ilustración 21, indica que el factor de mayor frecuencia es el deslizamiento de tierra, seguido a restricciones de vehículos de carga y finalmente mantenimiento en la vía. Estos tres factores representan el 33% de las causas que ocasionan el 80% de los cierres con paso restringido.

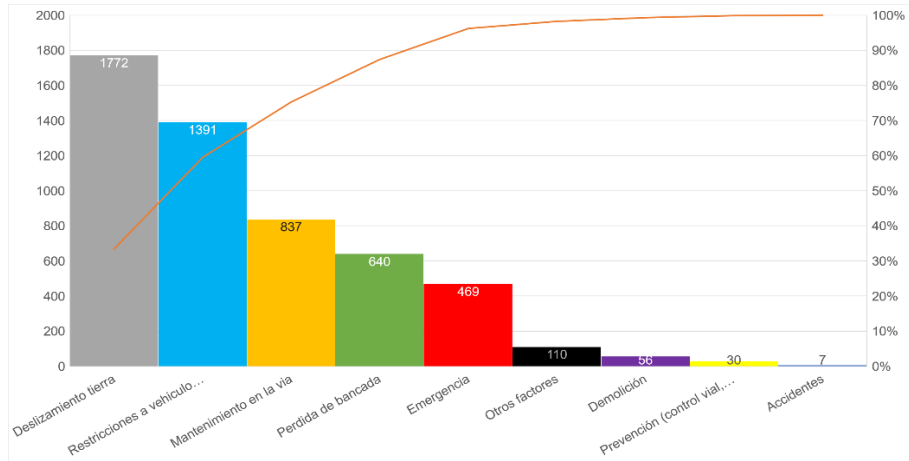


Ilustración 21. Pareto factores de cierres con paso restringido.

La ilustración 22 destaca que el tramo más afectado por cierres totales es el 2602, que conecta el Cauca con Huila y Caquetá, seguido por el 6003, que conecta el Chocó con Antioquia. Estos cierres se deben principalmente a medidas de prevención (factores sociales, seguridad y control vial) y deslizamientos de tierra. El tramo 2504, parte de la vía Panamericana que conecta el Cauca con Nariño, está principalmente afectado por emergencias como agrietamientos en la vía, deslizamientos o daños en muros de contención, lo que lleva a cierres totales.

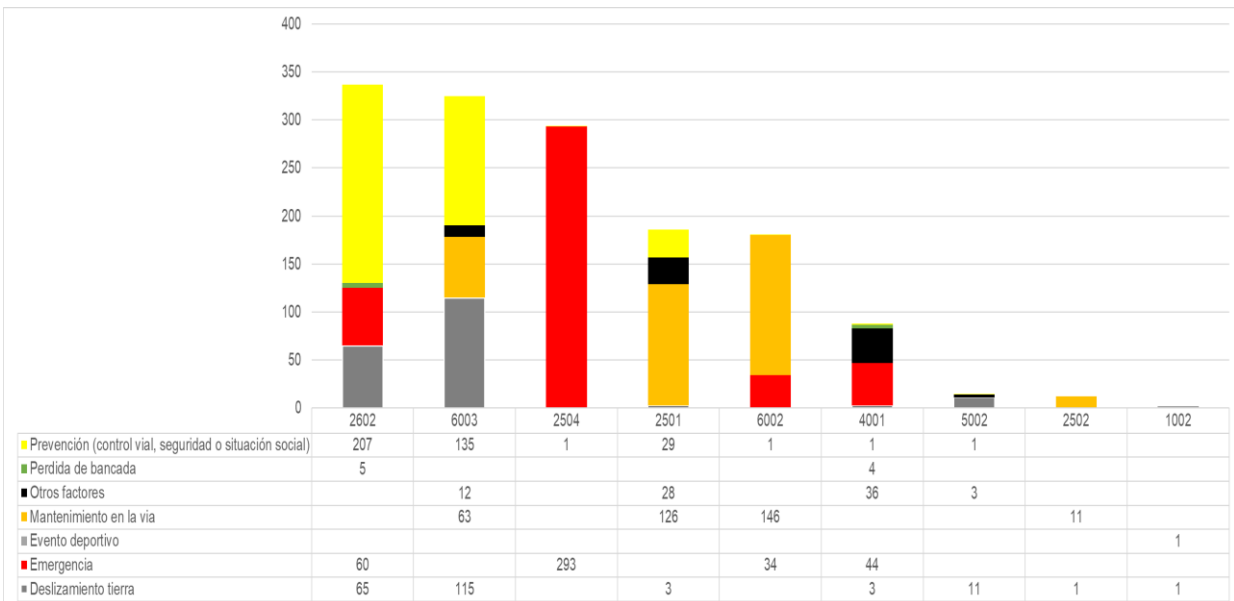


Ilustración 22. Cierres totales por tramo vial, definiendo factor de cierre

El Pareto de cierre total de la ilustración 23, indica que el factor de mayor frecuencia son las emergencias, seguido de prevención y mantenimiento en la vía. Estos tres factores representan el 33% de las causas que ocasionan el 80% de los cierres totales.

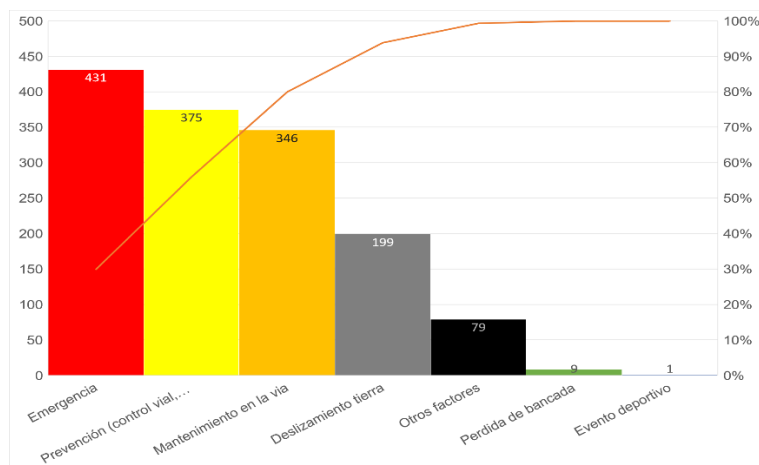


Ilustración 23. Pareto Cierre total

La Tabla 11 presenta un conjunto de métricas descriptivas que permiten caracterizar los tipos de cierres viales diarios en la región Pacífico de Colombia, incluyendo tanto cierres totales como aquellos con paso restringido. Este análisis cuantitativo facilita la identificación de los factores más recurrentes y variables que afectan la continuidad operativa de la red vial, proporcionando insumos clave para evaluar el nivel de riesgo asociado a cada causa.

Entre las causas más representativas, los deslizamientos de tierra destacan como el evento con mayor frecuencia promedio diaria (5.1), alta dispersión (desviación estándar de 2.6) y amplio rango de ocurrencia (de 1 a 11 cierres por día), lo que indica una alta inestabilidad asociada a esta causa. Las restricciones a vehículos de carga extrapesada y los mantenimientos en la vía también presentan una alta frecuencia (medias de 3.7 y 3.3, respectivamente), aunque con menor variabilidad, sugiriendo una ocurrencia más controlada o programada.

En términos de dispersión, las varianzas y rangos permiten inferir que algunas causas presentan comportamiento más errático (como deslizamientos), mientras que otras se mantienen dentro de márgenes más estables. En conjunto, estos indicadores permiten priorizar las causas de cierre más disruptivas para la logística regional y orientan la toma de decisiones hacia una gestión proactiva del riesgo vial.

Descripción de cierres diarios en la región pacifico	Deslizamiento tierra	Restricciones a vehículos de carga, extradimensionada	Mantenimiento en la vía	Emergencia	Perdida de bancada	Prevención (control vial, seguridad o situación social)	Otros factores	Demolición	Accidentes	Evento deportivo
Media	5.1	3.7	3.3	2.5	2.2	1.6	1.4	1.0	1.0	1.0
Desviación estándar	2.6	2.0	2.1	1.3	1.1	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0
Varianza de la muestra	6.7	4.0	4.3	1.7	1.2	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0
Rango	10.0	5.0	7.0	5.0	3.0	3.0	2.0	0.0	0.0	0.0
Mínimo	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Máximo	11.0	6.0	8.0	6.0	4.0	4.0	3.0	1.0	1.0	1.0
Suma	1,971	1,508	1,360	1,031	649	405	189	56	7	1
Cuenta	384	408	406	405	292	257	139	56	7	1

Tabla 11. Analítica Descriptiva por factor de cierre vial

3.5.3 Descripción de número de vehículos por tramo

Visualizar el flujo vehicular promedio a través de los datos del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) fue uno de los mayores desafíos de este estudio. En la ilustración 24, se muestra el tránsito de vehículos por cada tramo según los registros transformados del RNDC. Se sugiere que podría haber transitado más vehículos de carga por cada tramo, pero el planteamiento del caso se centró en los datos del RNDC. Las carreteras del Valle del Cauca tuvieron el mayor flujo de la región, especialmente el tramo 2506 que conecta el Valle con el eje cafetero y el Caribe, seguido por el tramo 4001 que conecta con el puerto de Buenaventura. Desde allí, se observa una disminución significativa del flujo de carga hacia Cauca y Nariño,

finalizando con el Chocó, que no tiene conexión directa con los demás departamentos de la región Pacífica, sino que conecta con Antioquia y el eje cafetero.

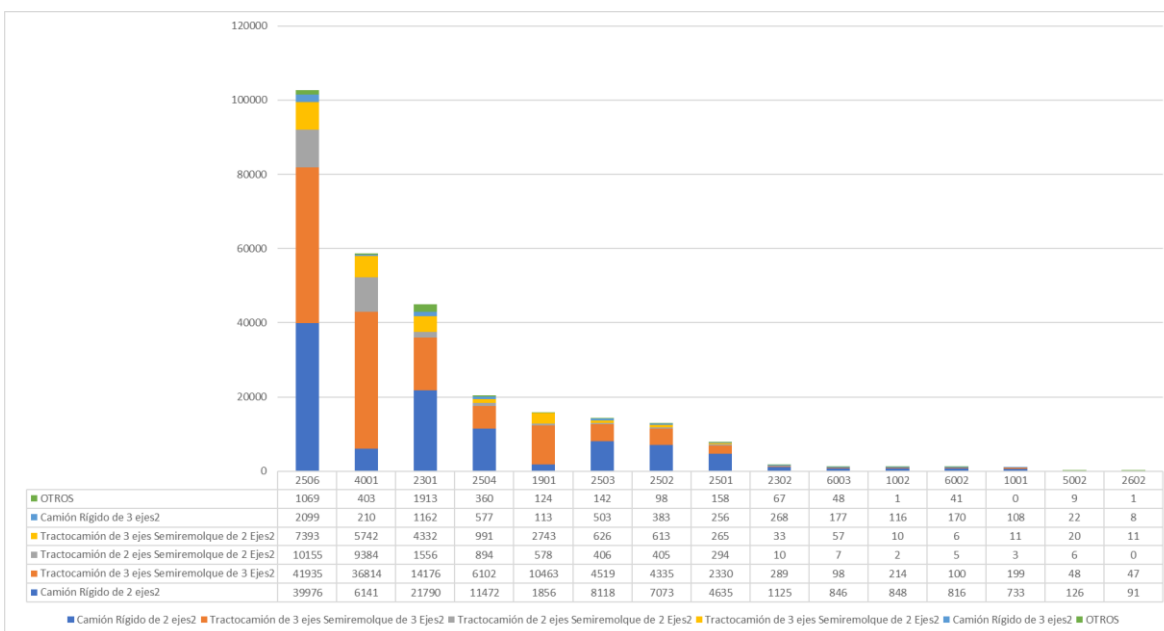


Ilustración 24. Flujo vehicular promedio mensual por cada Tramo

La ilustración 24 también confirma la distribución de la tipología vehicular, destacando el tipo tractocamión de 3 ejes semirremolque de 3 ejes como el vehículo de carga de mayor flujo, aunque este se limita a las vías principales del Valle y Cauca. En contraste, el camión rígido de 2 ejes tiene una gran presencia en todos los tramos de la región, debido a su capacidad de transitar por puntos de difícil acceso o vías con infraestructura irregular.

3.5.4 Correlación de factores de cierres

La matriz de correlaciones permite evaluar las interacciones entre los factores de cierre vial, facilitando la comprensión de las causas de estos problemas y sus asociaciones. Los rangos de correlación expuestos en la ilustración 25, se generaron a partir de lo descrito por Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, (2009), que indican que los valores de correlación (r) oscilan entre -1 y 1, donde valores cercanos a cero indican una correlación nula, mientras que valores cercanos a 1 o -1 indican una correlación muy fuerte, positiva o negativa respectivamente.

Rango		Tipo de correlación
0.85	1	Correlación positiva muy fuerte
0.7	0.84	Correlación positiva fuerte
0.5	0.69	Correlación positiva moderada
0.3	0.49	Correlación positiva débil
0	0.29	correlación inexistente
-0.29	0	correlación inexistente
-0.49	-0.3	Correlación negativa débil
-0.69	-0.5	Correlación negativa moderada
-0.84	-0.7	Correlación negativa fuerte
-1	-0.85	Correlación negativa muy fuerte

Ilustración 25. Rangos de coeficiente de correlación.

En la ilustración 26 se presenta la matriz de correlación entre los factores de cierre vial, con el objetivo de identificar y cuantificar las relaciones entre estos factores de cierres viales. Esto permite comprender cómo los factores se influyen mutuamente e identificar patrones, proporcionando una mejor visión del sistema.

Correlación factores de cierre	Deslizamiento tierra	Restricciones a vehículos de carga, extradimensionada o pesada	Mantenimiento en la vía	Emergencia	Perdida de bancada	Prevención (control vial, seguridad o situación social)	Demolición	Accidentes
Deslizamiento tierra		0.77	0.56	-0.28	0.38	0.30	0.18	0.17
Restricciones a vehículos de carga, extradimensionada o pesada	0.77		0.53	-0.62	0.26	0.47	-0.71	0.22
Mantenimiento en la vía	0.56	0.53		-0.20	0.71	0.66	-0.61	0.25
Emergencia	-0.28	-0.62	-0.20		-0.04	-0.07	-0.27	-0.22
Perdida de bancada	0.38	0.26	0.71	-0.04		0.38		0.43
Prevención (control vial, seguridad o situación social)	0.30	0.47	0.66	-0.07	0.38		0.50	0.80
Demolición	0.18	-0.71	-0.61	-0.27		0.50		
Accidentes	0.17	0.22	0.25	-0.22	0.43	0.80		

Ilustración 26. Matriz de correlación entre factores de cierres viales.

La matriz de correlación permite identificar relaciones estadísticas entre los distintos factores que provocan cierres viales en la región Pacífico, ofreciendo una visión integrada del comportamiento conjunto de estos eventos disruptivos. Un caso destacado es la alta correlación observada entre los deslizamientos de tierra y las restricciones a vehículos de carga pesada, lo cual sugiere que estos eventos tienden a presentarse de manera simultánea o bajo condiciones similares. No obstante, dado que los datos están agregados por meses y por múltiples tramos viales, no es posible afirmar una relación causal directa entre ambas variables. Este hallazgo, por tanto, debe ser interpretado como un comportamiento probable dentro de un contexto logístico más amplio, y no como una consecuencia directa. Del mismo modo, se observan correlaciones relevantes entre pérdida de bancada y mantenimiento vial, lo cual respalda la

lógica operacional de intervenir aquellas infraestructuras con mayores niveles de deterioro. En conjunto, estas correlaciones respaldan la coherencia interna de los datos y proporcionan un marco útil para priorizar eventos críticos dentro del análisis descriptivo y diagnóstico.

3.5.5 Tiempo de recuperación del sistema

La Tabla 12 presenta el tiempo promedio de duración, en días, de los cierres viales reportados en los tramos de la región Pacífica, discriminando entre cierres totales y pasos restringidos. Para estimar esta duración, se desarrolló un análisis basado en la continuidad temporal de los reportes de cierre en cada tramo, utilizando como insumo los registros diarios proporcionados por INVIAS. Dado que el sistema de reporte documenta cierres viales por fecha y tramo afectado, se asumió que la ocurrencia consecutiva de reportes diarios de cierre en un mismo tramo correspondía a un solo evento de cierre continuo. En este sentido, cuando se identificaron varios registros seguidos en días consecutivos para un mismo segmento vial, estos se agruparon y contabilizaron como un evento único de afectación, cuya duración se determinó a partir del número de días consecutivos con registro de cierre. Por ejemplo, si un tramo vial presentó reportes de cierre durante seis días consecutivos, se consideró que ese evento tuvo una duración total de seis días.

Este enfoque permitió construir una matriz mensual que resume la duración promedio de los cierres por tipo de afectación, lo cual es fundamental para interpretar la resiliencia operativa de la red vial, entendida como la capacidad del sistema para recuperar su funcionalidad tras una disrupción. Los resultados permiten identificar tramos críticos con tiempos de afectación promedio entre 3 y 5 días, lo que constituye un fuerte indicador del nivel de perturbación al flujo vehicular y del impacto prolongado sobre la cadena de suministro regional.

Duración afectación de cierres		1002	1002	1901	2301	2302	2501	2501	2502	2502	2503	2504	2504	2506	2602	2602	4001	4001	5002	5002	6002	6002	6003	6003
Mes	Cierre total	Paso restringido	Paso restringido	Paso restringido	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	Cierre total	Paso restringido	
01012018	0.0	4.0	2.3	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	2.3	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.3	0.0	2.3	1.0	0.0	
01022018	0.0	2.9	2.9	1.5	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	2.9	4.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	2.9	4.0	1.7	
01032018	0.0	1.8	1.8	1.8	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.8	0.0	0.0	
01042018	0.0	2.3	2.3	1.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	2.3	2.0	0.0	
01052018	0.0	1.2	1.2	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.2	1.3	1.3	
01062018	0.0	1.9	1.9	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	1.9	1.5	1.9	
01072018	0.0	1.9	1.9	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	1.6	1.9	1.3	1.9	
01082018	0.0	2.3	2.3	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.3	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3	2.3	0.0	2.3	
01092018	0.0	1.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.0	1.9	1.0	1.9	1.0	1.9	
01102018	0.0	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	1.8	0.0	1.8	0.0	1.8	0.0	0.0	1.0	1.8	0.0	1.8	1.8	1.8	
01112018	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	1.5	1.7	1.7	0.0	1.7	0.0	0.0	1.6	0.0	1.7	0.0	1.7	1.5	1.7	
01122018	0.0	2.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	2.5	2.5	0.0	2.5	0.0	1.0	2.3	3.0	2.5	0.0	2.5	2.5	2.5	
01012019	0.0	4.5	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	4.5	4.5	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	4.5	4.5	4.5	
01022019	0.0	4.7	4.7	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	4.7	4.7	4.7	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	4.3	4.7	4.7	4.7	
01032019	0.0	3.7	3.7	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	3.7	3.7	3.7	0.0	3.7	0.0	0.0	2.0	0.0	3.7	3.7	3.7	3.0	3.7	
01042019	0.0	3.4	3.4	0.0	0.0	1.0	3.4	1.0	2.8	3.4	3.4	3.4	0.0	3.4	0.0	1.0	3.4	1.0	3.4	3.0	3.4	0.0	3.4	
01052019	0.0	2.8	2.8	0.0	0.0	2.8	2.8	0.0	2.8	2.8	2.8	2.8	0.0	2.8	0.0	1.0	2.8	0.0	2.8	0.0	2.8	2.8	2.8	
01062019	0.0	2.2	2.2	0.0	0.0	2.2	2.2	0.0	2.0	2.2	4.0	2.2	0.0	2.2	0.0	0.0	2.2	0.0	2.2	1.0	2.2	2.2	1.3	
01072019	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	0.0	0.0	1.3	1.0	1.3	0.0	1.3	1.3	1.3	1.3	0.0	1.3	1.3	1.3	1.3	0.0	
01082019	1.0	1.9	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	0.0	0.0	1.9	1.7	1.9	0.0	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	
01092019	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	1.7	1.7	0.0	0.0	1.7	1.3	1.7	0.0	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	0.0	
01102019	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	1.9	2.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	0.0	
01112019	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	0.0	3.5	1.9	2.0	1.9	0.0	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	
01122019	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	1.9	1.9	0.0	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	1.9	1.9	2.0	1.9	0.0	1.9	1.9	1.9	1.9	0.0	
01012020	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	1.0	1.6	0.0	1.6	1.6	1.6	1.6	0.0	1.6	1.6	0.0	1.6	0.0	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	
01022020	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	2.3	2.5	2.5	2.5	0.0	2.5	2.5	0.0	2.3	0.0	2.3	2.2	2.3	2.8	2.3	
01032020	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	1.7	1.7	0.0	1.7	1.7	1.7	1.7	0.0	1.7	1.7	0.0	1.7	0.0	1.7	0.0	1.7	0.0	1.7	
01042020	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	0.0	1.3	1.3	1.3	1.3	0.0	1.3	1.3	0.0	1.3	0.0	1.3	0.0	1.3	1.0	1.3	
01052020	1.0	2.2	0.0	0.0	0.0	2.2	2.2	4.0	2.2	2.2	2.2	2.2	0.0	2.5	2.2	0.0	2.2	0.0	2.2	0.0	2.2	0.0	2.2	
01062020	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	0.0	1.8	1.8	1.0	1.8	0.0	1.8	0.0	1.8	0.0	1.8	

Tabla 12. Duración promedio de cierres viales en la región pacifico en días.

La Tabla 13 presenta un análisis descriptivo de las principales causas de cierres viales en la región, previamente identificadas en el diagrama de Pareto de la Ilustración 21. El análisis se basa en datos recopilados durante un período continuo de 912 días entre enero de 2018 y junio de 2020. Para cada evento, se estimó su duración en días a partir de la cantidad de días consecutivos en que se reportó el cierre en un mismo tramo vial, tal como se explicó previamente. A partir de estas duraciones individuales, se calculó la media de duración para cada causa, representando el promedio del tiempo de afectación por evento en un punto específico de la red. Los resultados muestran que los deslizamientos de tierra constituyen la causa más frecuente de paso restringido, con un total de 179 eventos durante el período evaluado. La duración promedio por evento es de 2,1 días, con una desviación estándar de 1,4 días, lo que refleja una variabilidad moderada entre eventos, y una varianza de 2 días.

Este comportamiento estadístico es fundamental para entender la capacidad de respuesta de la red vial ante eventos recurrentes, así como para identificar causas con mayor impacto potencial sobre la continuidad operativa del sistema logístico. Causas como el mantenimiento en la vía y las restricciones a vehículos de carga también muestran un comportamiento similar en términos de media y dispersión, lo que refuerza la necesidad de

monitorear estas condiciones y su recurrencia para una adecuada planificación de recuperación vial.

Descripción de recuperación del sistema por cierres viales por factor y tipo de cierre. (días)	Deslizamiento tierra	Mantenimiento en la vía	Restricciones a vehículos de carga, extradimensión arda o pesada
	Paso restringido	Paso restringido	Paso restringido
Media	2.1	2.1	2.1
Desviación estándar	1.4	1.3	1.4
Varianza de la muestra	2.0	1.8	1.9
Rango	5	5	5
Mínimo	1	1	1
Máximo	6	6	6
Suma	384	374	408
Cuenta	179	182	193

Tabla 13. Análisis descriptivo cierres con paso restringido.

En la tabla 14 se presenta el análisis descriptivo para cierres totales. Las emergencias en las vías son las de mayor frecuencia de ocurrencia, aunque en la tabla 12 las tres causales muestran un comportamiento estadístico similar en los indicadores. La media con 2.2 y una desviación estándar de 1.5 indican que la duración del cierre podría presentarse entre 0.7 y 3.7 días. La varianza demuestra una dispersión significativa de los datos y el coeficiente de asimetría siendo positivo, refleja una tendencia a que la duración del cierre sea mayor. Seguidamente, se debe considerar que la duración de un cierre total refleja una mayor vulnerabilidad en el sistema, puesto el impacto de tiempo para cada vehículo es mayor al bloquear el flujo vehicular hasta su apertura.

Descripción de recuperación del sistema por cierres viales por factor y tipo de cierre. (días)	Emergencia	Mantenimiento en la vía	Prevención (control vial, seguridad o situación social)
	Cierre total	Cierre total	Cierre total
Media	2.2	2.2	2.31
Desviación estándar	1.5	1.5	1.48
Varianza de la muestra	2.1	2.1	2.20
Rango	5	5	5.00
Mínimo	1	1	1.00
Máximo	6	6	6.00
Suma	334	238	243.00
Cuenta	152	107	105.00

Tabla 14. Análisis descriptivo cierre total.

La Tabla 15 presenta un análisis estadístico de la duración por días de los cierres viales, desagregado por tramo vial y tipo de cierre (cierre total o paso restringido), con base en los datos recopilados entre enero de 2018 y junio de 2020. La duración de cada evento se estimó a partir de la cantidad de días consecutivos en los que se reportó una afectación en el mismo tramo, permitiendo calcular métricas como la media, desviación estándar, varianza, y rango. Este análisis es fundamental para identificar los tramos más vulnerables, es decir, aquellos en los que los eventos disruptivos tienden a prolongarse, y para determinar qué tipo de cierre genera un mayor impacto sobre el flujo vehicular. Al comparar estos indicadores entre tramos y tipos de cierre, es posible priorizar acciones de intervención y diseñar estrategias diferenciadas para fortalecer la resiliencia vial en los puntos más críticos de la región Pacífico.

Descripción de duración de cierres viales en la región pacífico	1002 Cierre total	1002 Paso restringido	1901 Paso restringido	2301 Paso restringido	2302 Paso restringido	2501 Cierre total	2501 Paso restringido	2502 Cierre total	2502 Paso restringido	2503 Paso restringido	2504 Cierre total	2504 Paso restringido	2506 Paso restringido	2602 Cierre total	2602 Paso restringido	4001 Cierre total	4001 Paso restringido	5002 Cierre total	5002 Paso restringido	6002 Cierre total	6002 Paso restringido	6003 Cierre total	6003 Paso restringido
Media	1.0	2.1	2.3	1.7	1.7	1.8	2.2	2.0	2.0	2.2	2.2	2.2	3.3	2.2	1.8	1.7	1.9	1.5	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2
Desviación estándar	0.0	1.4	1.5	0.8	1.0	1.2	1.4	1.5	1.4	1.4	1.5	1.4	2.3	1.4	1.2	1.1	1.2	0.9	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Varianza de la muestra	0.0	1.9	2.2	0.6	1.0	1.3	2.1	2.4	1.9	2.1	2.3	2.0	5.1	2.1	1.3	1.1	1.5	0.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2
Rango	0.0	5.0	5.0	2.0	4.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	1.0	6.0	6.0	3.0	5.0	6.0	6.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	3.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0
Suma	2	385	262	26	56	141	246	12	123	270	293	340	20	297	145	79	208	12	408	177	408	225	268
Cuenta	2	181	112	15	33	78	113	6	62	125	132	155	6	137	80	46	108	8	193	85	193	109	124

Tabla 15. Análisis estadístico cierres viales por tramos y tipo de cierre

3.5.6 Cierres simultáneos

La tabla 16 presenta el promedio de cierres viales simultáneos en cada tramo por cada mes del período evaluado. Los datos revelan que, durante un mismo período y en un mismo tramo, pueden ocurrir cierres simultáneos en diferentes puntos de la vía. Este análisis es crucial para identificar el impacto acumulativo de múltiples cierres viales en un mismo tramo, exponiendo los problemas de infraestructura y prevención que se presentaron en ese momento. La tabla 14 también muestra momentos críticos en algunos tramos, donde se registraron hasta 7 cierres viales simultáneos en promedio. Las vías con el mayor número de cierres simultáneos fueron la 5002, que conecta Chocó con Antioquia, la 4001, que va de Loboquerrero a Buenaventura, y la 2504, parte de la Panamericana.

Cierres simultáneos	1002	1901	2301	2302	2501	2502	2503	2504	2506	2602	4001	5002	6002	6003
01/01/2018	1.0	1.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	2.0	1.0	0.0	1.0	2.8	2.8	1.0
01/02/2018	1.6	1.0	1.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.3	1.0	0.0	0.0	1.8	1.8	1.0
01/03/2018	1.0	1.0	1.3	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0
01/04/2018	1.0	1.0	2.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0
01/05/2018	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.4
01/06/2018	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.5
01/07/2018	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.3
01/08/2018	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0
01/09/2018	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.6	1.6	1.3
01/10/2018	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.0	0.0	2.9	2.9	3.1
01/11/2018	0.0	1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0	4.2	4.2	2.7
01/12/2018	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	1.0	2.8	6.3	6.3	2.8
01/01/2019	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	1.0	0.0	6.0	6.0	2.2
01/02/2019	1.0	1.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.0	2.0	0.0	1.0	0.0	6.7	6.7	2.7
01/03/2019	1.3	1.0	0.0	0.0	2.8	0.0	1.0	2.5	0.0	1.0	1.0	7.0	7.0	2.1
01/04/2019	2.8	1.0	0.0	0.0	2.1	1.8	1.0	2.4	0.0	1.0	1.3	4.6	4.6	1.1
01/05/2019	1.4	1.0	0.0	0.0	3.0	1.1	1.0	2.0	0.0	1.0	2.6	2.0	2.0	2.1
01/06/2019	1.0	1.0	0.0	0.0	3.0	1.0	1.0	2.6	0.0	1.0	3.0	2.0	2.0	2.3
01/07/2019	1.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	1.0	3.0	0.0	2.0	4.0	2.0	2.0	1.0
01/08/2019	1.1	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	2.0	3.0	0.0	2.8	4.0	2.0	2.0	2.0
01/09/2019	1.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	2.0	3.7	0.0	4.0	4.1	2.4	2.4	2.5
01/10/2019	1.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	2.0	4.0	0.0	2.2	5.4	2.1	2.1	2.0
01/11/2019	1.0	0.0	0.0	0.0	3.5	1.0	2.0	4.1	0.0	2.0	4.0	1.7	1.7	2.2
01/12/2019	1.8	0.0	0.0	0.0	2.7	1.0	2.5	4.0	0.0	2.0	2.1	1.0	1.0	2.2
01/01/2020	2.0	0.0	0.0	0.0	3.0	1.5	2.2	4.0	0.0	2.9	1.5	1.0	1.0	1.9
01/02/2020	2.0	0.0	0.0	0.0	3.0	2.0	2.0	4.0	0.0	3.0	2.1	1.0	1.0	1.8
01/03/2020	1.5	0.0	0.0	0.0	5.0	3.0	2.2	4.0	0.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1.0
01/04/2020	1.0	0.0	0.0	0.0	5.0	2.1	3.0	4.0	0.0	4.0	2.0	1.1	1.1	1.1
01/05/2020	1.8	0.0	0.0	0.0	5.0	2.4	3.0	3.6	0.0	4.0	2.0	1.0	1.0	2.0
01/06/2020	1.0	0.0	0.0	0.0	5.0	3.0	3.0	3.0	0.0	4.0	2.1	1.0	1.0	2.0

Tabla 16. Media de cierres simultáneos por tramo.

El análisis estadístico de cierres simultáneos, son importantes para evaluar las condiciones de la vía frente a situaciones de clima extremo, infraestructura y capacidad. El análisis de la tabla 17 muestra como los deslizamientos de tierra afectaron considerablemente la región pacifico, puesto cuando se presentan eventos de este tipo con paso restringido ocurren en promedio en 4.6 lugares a la vez. Seguido de restricciones a vehículos de carga y mantenimiento en la vía, los cuales disminuyen en rango y varianza, indicando una menor dispersión.

Descripción cierres viales simultaneos por factor y tipo de cierre (dias).	Deslizamiento tierra	Mantenimiento en la via	Restricciones a vehiculos de carga, extradimensionada o pesada
	Paso restringido	Paso restringido	Paso restringido
Media	4.6	2.2	3.4
Desviación estándar	2.6	1.1	1.7
Varianza de la muestra	6.9	1.1	3.0
Rango	10	3	5
Mínimo	1	1	1
Máximo	11	4	6
Suma	1,772	837	1,391
Cuenta	384	374	408

Tabla 17. Análisis estadístico de cierres viales con paso restringido simultaneo.

En la tabla 18 se describe el análisis de cierres totales simultáneos, evaluando factores de emergencia, mantenimiento y prevención en la vía, que son los más frecuentes en la región Pacífica según el Pareto de la ilustración 23. Estos datos muestran similitudes en media, moda y desviación estándar, además de coeficientes de asimetría positivos que indican una tendencia a cierres simultáneos de mayor duración.

Descripción cierres viales simultaneos por factor y tipo de cierre (dias).	Emergencia	Mantenimiento en la via	Prevención (control vial, seguridad o situación social)
	Cierre total	Cierre total	Cierre total
Media	1.3	1.5	1.5
Desviación estándar	0.5	0.6	0.7
Varianza de la muestra	0.3	0.4	0.5
Rango	2	2	3.0
Mínimo	1	1	1.0
Máximo	3	3	4.0
Suma	431	346	375.0
Cuenta	334	238	243.0

Tabla 18. Análisis estadístico de cierres totales simultáneos.

El análisis estadístico de cierres simultáneos por ruta se presenta en la tabla 19, describe como la ruta con la media más alta fue la 2501, que comprende la vía Panamericana en Nariño, con un valor de 3.3 cierres simultáneos y una desviación estándar de 1, lo que indica una variación entre 2.3 y 4.3 cierres al mismo tiempo. La ruta que presenta mayor vulnerabilidad en el Valle del Cauca es la 4001, que va al puerto de Buenaventura, con una tendencia de cierres simultáneos entre 1.3 y 4.1, considerando un coeficiente de asimetría positivo y un rango de 6,

que indica una mayor cantidad de cierres a la vez. En el departamento del Cauca, el tramo 2504 es el de mayor vulnerabilidad, mientras que, en Chocó, los tramos 5002 y 6002 son los más afectados.

Descripción de cierres simultáneos en tramos de la región pacífico	1002	1901	2301	2302	2501	2502	2503	2504	2506	2602	4001	5002	6002	6003
Media	1.3	1.0	1.5	1.0	3.3	1.8	1.7	2.6	1.0	2.0	2.7	2.5	2.5	1.9
Desviación estándar	0.5	0.0	0.5	0.0	1.0	0.7	0.7	1.1	0.0	1.1	1.4	2.1	2.1	0.7
Varianza de la muestra	0.3	0.0	0.3	0.0	1.0	0.6	0.5	1.3	0.0	1.3	1.9	4.5	4.5	0.6
Rango	3.0	0.0	1.0	0.0	4.0	2.0	3.0	4.0	0.0	3.0	6.0	8.0	8.0	3.0
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	4.0	1.0	2.0	1.0	5.0	3.0	4.0	5.0	1.0	4.0	7.0	9.0	9.0	4.0
Suma	491	262	39	56	802	222	452	936	20	582	552	1,037	1,037	704
Cuenta	385	262	26	56	246	123	270	365	20	298	208	408	408	362

Tabla 19. Análisis descriptivo de cierres simultáneos en tramos de la región pacífico

En conclusión, el análisis estadístico de cierres simultáneos por tramo y por factor, ayuda a identificar los tramos vulnerables frente a infraestructura y flujo de tráfico. Identificar estos puntos de vulnerabilidad, permite enfocar las estrategias para lograr un grado de mitigación esperada. Para las cadenas de suministros debe ser importante el comprender tiempos estimados de cierres viales para acuerdos de servicios con clientes o planeación de los suministros para plantas y CEDIS.

3.5.7 Encuesta a transportistas

Se llevó a cabo una encuesta dirigida a transportadores con experiencia en las principales vías de la región Pacífico de Colombia, con el objetivo de recopilar información relevante sobre los tiempos aproximados de afectación que han experimentado en sus viajes al enfrentarse a cierres viales. La encuesta se centró en la descripción detallada de estos tiempos bajo diferentes escenarios, que combinaban tipos de cierre, factores causantes y tipos de calzada. El propósito era obtener estimaciones sobre los tiempos de afectación según la causa del cierre vial, el tipo de cierre y los tramos de la región donde los transportadores transitan con mayor frecuencia.

Estos tiempos estimados fueron luego asociados con los costos de flete por hora de los vehículos de carga, permitiendo aproximar el impacto económico de los cierres viales en cada vehículo. Esta información es crucial para el estudio, ya que permite correlacionar los tiempos de afectación con los niveles de riesgo presentes en el momento y lugar de un cierre vial. Al modelar estos datos en función del flujo vehicular de carga, fue posible estimar los impactos

generales en la cadena de suministro y calcular las pérdidas económicas para los sectores productivos más afectados.

En la encuesta se logra capturar información de 16 transportistas que cumplen con las condiciones requeridas para el caso de estudio, las cuales fueron que la persona tuviera una amplia experiencia en el sector transporte y que se movilizara en tramos analizados de la región pacífico. Las 16 encuestas corresponden principalmente a conductores de vehículos de pasajeros, donde 10 laboran en Expreso Bolivariano y 4 en Copetran, que cumplen trayectos entre Cúcuta e Ipiales o de Bogotá a Pasto, con paso por Cali. Los dos encuestados restantes son de transporte de carga independientes. Los tiempos suministrados en la encuesta sobre cada escenario, son descritos en la tabla 20, la cual indica como riesgo medio, la media de los datos, además de los niveles de riesgo alto y bajo, que son definidos por la fórmula de la ecuación 6, los cuales indican los límites superiores e inferiores en un intervalo de confianza del 95% para una media (Eppen & Gould, 2000).

$$LIMITE = MEDIA \pm 1.96 * \frac{DESVIACIÓN\ ESTÁNDAR}{RAÍZ\ (NÚM.\ DATOS)}$$

Ecuación 7. Límite superior e inferior al 95% de confianza.

TIPO_CIERRE	FACTOR_CIERRE_VIAL	Escenarios					
		Críticidad Baja		Críticidad Media		Críticidad Alta	
		DOBLE CALZADA - TIEMPO (HORAS)	CALZADA SENCILLA - TIEMPO (HORAS)	DOBLE CALZADA - TIEMPO (HORAS)	CALZADA SENCILLA - TIEMPO (HORAS)	DOBLE CALZADA - TIEMPO (HORAS)	CALZADA SENCILLA - TIEMPO (HORAS)
Cierre total	Deslizamiento tierra	2.4	3.6	3.6	4.6	4.7	5.6
Cierre total	Mantenimiento en la vía	1.3	2.7	2.1	3.1	2.9	3.4
Cierre total	Perdida de bancada	2.2	3.7	3.3	4.9	4.3	6.2
Cierre total	Emergencia	1.7	2.9	2.4	3.8	3.2	4.7
Cierre total	Accidentes	2.2	2.9	3.0	3.6	3.8	4.3
Cierre total	Inundaciones	1.5	2.8	2.4	3.7	3.4	4.6
Cierre total	Demolición	1.6	2.2	2.6	2.9	3.5	3.7
Cierre total	Prevención (control vial, seguridad o situación social)	2.0	3.1	3.1	4.2	4.2	5.2
Cierre total	Restricciones a vehículos de carga, extradimensionada o pesada	1.8	2.3	2.9	2.9	4.1	3.4
Cierre total	Evento deportivo	1.8	2.8	2.6	3.3	3.5	3.9
Paso restringido	Deslizamiento tierra	1.9	2.4	2.7	3.6	3.6	4.2
Paso restringido	Mantenimiento en la vía	1.1	1.3	1.7	2.1	2.2	2.5
Paso restringido	Perdida de bancada	2.0	2.2	2.9	3.3	3.8	4.0
Paso restringido	Emergencia	1.5	1.7	2.3	2.4	3.1	3.2
Paso restringido	Accidentes	1.7	2.2	2.4	3.0	3.1	3.6
Paso restringido	Inundaciones	1.5	1.5	2.3	2.4	3.1	3.3
Paso restringido	Demolición	1.0	1.6	1.8	2.6	2.5	2.7
Paso restringido	Prevención (control vial, seguridad o situación social)	1.9	2.0	2.9	3.1	3.8	3.7
Paso restringido	Restricciones a vehículos de carga, extradimensionada o pesada	1.0	1.8	1.7	2.9	2.4	3.1
Paso restringido	Evento deportivo	1.3	1.8	1.9	2.6	2.5	3.4
Cierre total	Otros factores	2.2	2.9	3.0	3.6	3.8	4.3

Tabla 20. Tiempo de afectación vehicular bajo escenario de criticidad

Considerando lo anterior, se toma en cuenta que el 87% de los encuestados indican tener más de 10 años de experiencia como transportistas y pertenecer al sector de transporte de pasajeros. Se realizaron preguntas importantes al tema tales como, ¿Con que frecuencia se encuentra con cierres viales en sus rutas? En lo que el 56% indica que diariamente se enfrentan cierres viales y el 31% que al menos una vez a la semana. ¿Cuáles de las siguientes causas de cierre vial es la que más se le presenta? A lo cual indicaron que el desplazamiento de tierra es la más frecuencia con un 27%, accidentes en la vía con un 22% y mantenimientos en las vías con un 18%. ¿Cuáles son los trayectos que más frecuenta? Siendo la panamericana del Valle del Cauca con un 28%, la panamericana del Cauca con un 23%, panamericana Nariño con un 17% y vías del Valle con 17%. ¿Como afectan los cierres viales su trabajo diario? En este punto el 34% de las respuestas indican que se presenta un aumento en los costos de combustibles, un 31% en que se genera un mayor estrés y fatiga, pérdida de ingresos con el 15% y un incremento en los tiempos de entrega con el 12%. ¿Como considera que los cierres viales afectan el sector en que labora? El 34% indica que se presentan aumentos en los de transportes o fletes, el 31% de las respuestas indican perdidas de ventas y el 31% una disminución en el número de viajes. ¿Como afronta normalmente un cierre vial? El 42% de las respuestas refieren a esperar en la vía mientras este el flujo lento, el 32% indica tomar rutas alternas si las hay, hay respuestas como que analizan que hacer de acuerdo con el impacto y en el peor escenario esperar en una ciudad o pueblo hasta que se solucione. Finalmente se preguntó ¿Qué medidas cree que podrían reducir el impacto de los cierres viales en su trabajo? En lo cual indican que se debe tener una mejor planificación y comunicación de las obras viales con un 40%, además de una mayor inversión en infraestructura vial y una mejor gestión de tráfico en las zonas afectadas, cada una con una participación del 22%.

Esta información permite obtener un mejor panorama sobre la situación de las vías en esta región, siendo importante considerar la percepción de estas personas experimentadas en el tema por su amplia experiencia y recorrido en el sector transporte.

3.5.8 Evaluación de la criticidad operativa en los tramos viales

Este estudio reconoce que los impactos asociados a los cierres viales pueden diferir considerablemente según el contexto geográfico, la naturaleza del evento disruptivo y las condiciones estructurales de la infraestructura. Si bien no se realiza una modelación probabilística formal del riesgo, se propone una evaluación empírica de la criticidad operativa de los tramos viales, tomando como referencia dos variables observadas, tales como el tiempo

de recuperación del sistema (medido como la duración promedio de los eventos de cierre en días consecutivos), y la cantidad de cierres simultáneos reportados en una misma vía.

Estas variables, permiten identificar tramos con afectación persistente y repetitiva, lo cual representa una mayor presión sobre el sistema logístico regional. Por ejemplo, eventos como desastres naturales pueden extender el tiempo de afectación de la vía y coincidir con otros cierres en tramos adyacentes, generando una mayor criticidad en la operación logística, especialmente para sectores que dependen de rutas específicas.

A partir de los datos consolidados en las Tablas 12 y 16, se calcularon promedios mensuales que describen el comportamiento histórico de estas variables entre enero de 2018 y junio de 2020. Esta información fue clasificada utilizando un histograma de frecuencias, con el fin de identificar rangos de criticidad según niveles bajo, medio y alto.

Riesgos	Rangos de criticidad			Valoración de la criticidad			
	Duración del cierre (días)		Cierres simultáneos (media cierres)	Duración del cierre (días)		Cierres simultáneos	Condición de resultado
	Paso restringido	Cierre total		Paso restringido	Cierre total		
Alto	>=3.4	>=1.8	>=2.6	2	3	3	>=6
Medio	3.4> Dias >=1.8	1.8> Dias >=1	2.6> cierres >1.8	1	2	2	6 > X >= 3
Bajo	< 1.8	< 1	<=1.8	0	0	0	<3

Ilustración 27. Criterios y valoración de la criticidad operativa.

Con el propósito de categorizar los tramos viales en función de su impacto operativo en cada mes evaluado, se definió una clasificación empírica que evalúa la criticidad operativa en la red vial de la región Pacífico, tal como muestra la ilustración 27. Esta clasificación es una aproximación basada en datos observados de afectación, útil para identificar patrones mensuales de perturbación sobre el flujo vehicular. La clasificación se fundamenta en tres variables claves, como la duración promedio de los cierres viales con paso restringido, la duración promedio de los cierres totales y la media de cierres simultáneos en cada tramo por mes. Estas variables fueron obtenidas a partir del análisis mensual de los datos del INVIAS, entre enero de 2018 y junio de 2020. Para establecer rangos de clasificación en niveles bajo, medio y alto, se utilizó la distribución del histograma de frecuencias, la cual es una herramienta estadística que permite agrupar dado un conjunto de datos, clasificándolos en grupos por su magnitud (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009). A partir de estos histogramas, se definieron los puntos de corte que mejor representan la distribución real de los datos.

Los criterios de clasificación por variable se ilustran en la Ilustración 27, al cual se le asignó un valor de criticidad para cada categoría. La suma total de estas valoraciones por tramo y por mes permitió consolidar una medida compuesta de criticidad, con la siguiente condición

de resultado, alta criticidad si la suma es mayor o igual a 6. Media criticidad, si la suma es igual o mayor a 3 y menor o igual a 6. Finalmente, la baja criticidad, si la suma es menor a 3.

La clasificación mensual de cada tramo con base en esta metodología se presenta en la tabla 21. Esta matriz proporciona una lectura rápida sobre los momentos y tramos en los que el sistema vial enfrentó mayores desafíos operativos, sirviendo como insumo para priorizar intervenciones, monitorear tendencias estacionales y planificar rutas logísticas alternativas.

Nivel criticidad	1002	1901	2301	2302	2501	2502	2503	2504	2506	2602	4001	5002	6002	6003
ene-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO
feb-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
mar-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
abr-18	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
may-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
jun-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
jul-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
ago-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO
sep-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
oct-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	MEDIO	ALTO
nov-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
dic-18	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO
ene-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	ALTO
feb-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	ALTO	ALTO
mar-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	ALTO	ALTO
abr-19	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	BAJO	ALTO	ALTO	BAJO
may-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO
jun-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
jul-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO
ago-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
sep-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO
oct-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO
nov-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO
dic-19	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	BAJO	MEDIO	MEDIO
ene-20	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
feb-20	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO
mar-20	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
abr-20	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	BAJO	MEDIO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
may-20	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	BAJO	ALTO	MEDIO	BAJO	BAJO	MEDIO
jun-20	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Tabla 21. Matriz de criticidad operativa en los tramos viales dado cada mes evaluado.

A partir de estos niveles de criticidad, se definieron tres escenarios de tiempo estimado de espera por vehículo ante la ocurrencia de un cierre, los cuales se presentan en la Tabla 20. Esta tabla contempla factores como el tipo de vía, el tipo de cierre, la causa asociada y el nivel de criticidad observado, permitiendo estimar en horas el tiempo de afectación esperada para los vehículos que transitan por cada tramo.

Finalmente, esta matriz de criticidad operativa se integró con los datos históricos diarios del RNDC, permitiendo asociar cada evento de cierre reportado con un nivel estimado de afectación. Al cruzar esta información con la media mensual de vehículos por tramo, su tipología y los costos de flete, fue posible estimar una afectación económica aproximada en términos de sobrecosto logístico y tiempos de demora acumulados para el sector transporte. Este enfoque ofrece una herramienta de análisis descriptivo robusta, adaptable a contextos con datos estructurados, que permite no solo interpretar el comportamiento histórico de la red vial, sino también orientar la toma de decisiones estratégicas en materia de gestión de infraestructura y logística territorial.

4 Discusión

Este caso de estudio, enfocado en evaluar el impacto de los cierres viales en la cadena de suministro, se desarrolló mediante un análisis de datos, combinando información de dos bases de datos principales y una encuesta aplicada a transportistas de la región. Este enfoque permitió no solo recopilar información clave, sino también estructurarla y alinearla con los objetivos del estudio, garantizando una evaluación precisa de los efectos de las interrupciones viales en la logística de carga.

Los resultados obtenidos en el período de análisis permitieron estimar el impacto de los cierres viales en múltiples dimensiones operativas, tales como sobrecostos en los fletes y su incidencia en el costo logístico, tiempos de espera derivados de las restricciones viales, flujos de vehículos de carga afectados en los tramos evaluados, movilización de mercancías por tipo de producto y escenarios de riesgo en distintos tramos basado en tiempos de recuperación del sistema, junto a cierres simultáneos.

Estos factores están directamente relacionados con indicadores clave del desempeño de la cadena de suministro, tales como el costo logístico y el cumplimiento de los tiempos de entrega. La variabilidad en los tiempos de tránsito y los sobrecostos asociados a los fletes afectan la rentabilidad de los transportistas y empresas, generando un efecto en cascada que eventualmente impacta el precio final de los productos para el consumidor.

Si bien los cierres viales afectan a todos los sectores económicos, su impacto no es uniforme, ya que depende de variables como la ubicación de las plantas de producción, proveedores y destinos de los productos finales, así como la frecuencia y magnitud de las interrupciones en la red vial. Dentro del análisis, se identificaron los sectores de cereales, azúcares y confitería como los de mayor movilización de carga en la región, tal como se detalla en la tabla 10. El sector de cereales es un eslabón clave en la producción agroindustrial, ya que abastece criaderos de animales y plantas procesadoras de harinas y alimentos procesados. El sector de confitería y azúcares representa la segunda actividad de mayor volumen de carga en la región, por lo que su afectación logística genera impactos significativos en la disponibilidad y distribución de estos productos.

El estudio permite comprender cómo la dinámica de los cierres viales altera la eficiencia del transporte de carga en estos sectores estratégicos, proporcionando información clave para la toma de decisiones y la formulación de estrategias de mitigación ante disrupciones en la infraestructura vial.

4.1 Tiempos de espera

Los tiempos de espera por tramo constituyen un indicador clave para medir la afectación del flujo vehicular durante un cierre vial, permitiendo evaluar el impacto en la operación logística. En la base de datos de cierres viales del Ministerio de Transporte, únicamente se registró la ocurrencia del cierre en un tramo determinado durante un día específico, sin precisar la duración exacta de la interrupción. Para superar esta limitación, se incorporó información estimada sobre el tiempo promedio de afectación por vehículo. A partir de la identificación de los días en que se presentaron cierres en cada tramo y el análisis de las horas promedio de afectación, se calcularon los tiempos de espera generalizados y diferenciados por sector económico. Estos tiempos son determinantes en la evaluación del desempeño logístico, ya que están directamente relacionados con los KPI de las cadenas de suministro, tales como el cumplimiento de tiempos de entrega y la confiabilidad operativa. Una mayor incertidumbre en los tiempos de tránsito afecta la planificación logística y la eficiencia de los procesos, generando impactos en costos, productividad y satisfacción de los clientes.

En la tabla 22, se presentan los tiempos de cierre vial por tramo, categorizados según niveles de riesgo. Los resultados indican que el tramo 2602 es el más crítico, no solo por la cantidad total de horas de afectación, sino también por su alta exposición a eventos de riesgo. En particular, se registraron 980 horas en riesgo alto y 1.200 horas en riesgo medio, lo que lo convierte en un punto de vulnerabilidad dentro de la red de transporte de la región. Desde un enfoque de infraestructura, el departamento del Cauca se identifica como la zona más afectada, debido a la concentración de cierres en los tramos 2602, 2504 y 2503, los cuales presentan los tiempos de afectación más elevados en la categoría de riesgo alto.

Tramo vial	ALTO	BAJO	MEDIO	Total general
2602	980.4	127.3	1200.7	2308.4
6003	314.9	441.8	885.8	1642.4
2504	789.5	633.0	53.9	1476.5
2501		380.3	961.7	1342.0
2503	849.5	159.1	316.4	1325.0
5002	131.9	715.8	202.1	1049.7
6002	280.9	293.6	368.1	942.6
4001	352.2	83.5	267.6	703.4
1901	120.4	260.9	229.1	610.4
1002		432.1	100.0	532.0
2502	85.6	200.1	152.3	438.0
2301	0.0	58.3	7.8	66.1
2302	0.0	57.9	0.0	57.9
2506	0.0	39.7	0.0	39.7
Total general	3905.4	3883.4	4745.4	12534.2

Tabla 22. Sumatoria de horas de cierres viales.

En la tabla 23, se presenta la media del tiempo estimado de afectación por cierre vial, diferenciada según el nivel de riesgo. Los resultados confirman que el tramo 2602 es el más afectado, con un tiempo promedio superior a 4 horas por cierre, lo que representa una alta vulnerabilidad para el tránsito de vehículos de carga en este corredor vial. En segundo lugar, el tramo 2503, ubicado en la carretera Panamericana en el departamento del Cauca, presenta un tiempo estimado de 3.5 horas afectadas por cierre vial, seguido del tramo 6003 en el Chocó y el 4001 en el Valle del Cauca.

Tramo vial	ALTO	BAJO	MEDIO	Total general
2602	4.6	3.2	3.9	4.1
2503	4.1	2.3	3.3	3.5
6003	3.9	2.7	3.7	3.4
4001	3.2	1.9	2.5	2.7
2501		1.9	2.9	2.5
2502	3.6	1.9	2.7	2.3
1901	3.1	1.8	2.9	2.3
6002	3.1	1.6	2.9	2.3
2506		2.0		2.0
2504	2.9	1.3	2.2	1.9
2301		1.7	2.0	1.7
5002	2.8	1.5	1.7	1.7
1002		1.3	1.8	1.3
2302		1.0		1.0
Total general	3.6	1.7	3.1	2.5

Tabla 23. Promedio de horas por cierre vial, de acuerdo con el nivel de criticidad.

El análisis descriptivo de los tiempos de espera generados por los cierres viales en la región del Pacífico se presenta en la tabla 24, donde se detallan parámetros estadísticos clave como media, desviación estándar, variación de la muestra y rangos de afectación. Esta información permite identificar los tramos de mayor riesgo no solo por su tiempo promedio de cierre, sino también por la dispersión de los datos.

Un aspecto relevante del análisis es que el tramo 2504, aunque es el tercero en tiempos totales de cierre vial (según la tabla 22), es el tramo con mayor frecuencia de cierres, con 365 eventos registrados, seguido por el tramo 6003. Adicionalmente, se evidencia que los tramos del Chocó presentan la desviación estándar más alta, lo que indica una alta variabilidad en los tiempos de cierre, mientras que los tramos del Cauca, que forman parte de la vía Panamericana, también exhiben una elevada dispersión. Esta variabilidad, junto con los valores máximos de tiempo de espera, resulta clave para evaluar la gravedad e impacto de las interrupciones viales en la región.

	1002	1901	2301	2302	2501	2502	2503	2504	2506	2602	4001	5002	6002	6003
Media	1.3	2.3	1.8	1.0	2.4	2.4	3.4	1.9	2.0	4.1	2.7	1.6	2.1	3.4
Desviación estándar	0.3	0.6	0.3	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.0	0.5	0.7	0.5	0.8	0.8
Varianza de la muestra	0.1	0.4	0.1	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.2	0.4	0.2	0.6	0.7
Rango	1.7	1.3	1.3	0.0	2.2	1.7	1.9	1.9	0.0	2.5	2.1	3.2	1.7	3.2
Mínimo	1.0	1.8	1.6	1.0	1.3	1.9	2.2	1.2	2.0	2.8	1.7	1.0	1.3	2.0
Máximo	2.7	3.1	2.9	1.0	3.6	3.6	4.1	3.1	2.0	5.2	3.8	4.2	3.1	5.2
Suma	415.3	610.4	45.9	57.9	592.6	295.4	926.9	707.4	39.7	1185.5	558.9	373.4	298.0	1219.5
Cuenta	308.0	262.0	26.0	56.0	246.0	123.0	270.0	365.0	20.0	286.0	208.0	238.0	141.0	362.0

Tabla 24. Análisis descriptivo horas de cierres región pacífico.

Finalmente, la consideración de estos tiempos de espera es fundamental para la evaluación del riesgo en la cadena de suministro. Aunque estos valores por sí solos no proporcionan una visión completa del impacto logístico, su combinación con flujos vehiculares y costos de flete permite una evaluación más precisa del riesgo asociado a ciertos corredores viales. Esta información se convierte en una herramienta esencial para la toma de decisiones estratégicas, facilitando la identificación de tramos críticos y la planificación de estrategias de mitigación en la gestión del transporte de carga.

4.2 Costos de fletes

Los costos asociados en este caso de estudio fueron estimados a partir de la cuantificación de los valores de flete por trayecto registrados en la base de datos del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC). Inicialmente, la información disponible definía costos por trayecto, sin embargo, mediante el proceso de análisis y transformación de datos, se obtuvo un estimado del costo de flete por hora, lo que permite una evaluación más precisa del impacto económico de los cierres viales en la cadena de suministro.

Para la construcción de esta métrica, se unificaron los valores de flete por trayecto, considerando la tipología vehicular y la distancia recorrida, y posteriormente se aplicó un ajuste basado en la velocidad promedio estimada en cada tramo vial. Este enfoque permitió determinar el sobre costo logístico que enfrentaron los sectores económicos en los tramos evaluados, considerando el valor económico del flete según el tipo de vehículo.

La tabla 25 presenta el costo promedio del flete por hora para diferentes tipologías vehiculares en los tramos analizados de la región del Pacífico. La variabilidad de estos valores se debe a factores contextuales, tales como las condiciones del tramo, incluyendo pendientes, calidad de la vía y restricciones de velocidad. La Dificultad de acceso al destino, que puede incrementar costos por mayor consumo de combustible y tiempos de operación. La velocidad

promedio, que afecta el rendimiento del transporte y, en consecuencia, el costo por hora de operación.

Este análisis proporciona una base cuantitativa para evaluar los sobrecostos logísticos derivados de las interrupciones viales, permitiendo estimar el impacto financiero de los cierres viales en las principales cadenas de suministro de la región y ofreciendo insumos clave para la optimización de la planificación del transporte y estrategias de mitigación.

Promedio de costo flete x hora	Camión Rígido de 2 ejes	Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 3 Ejes	Tractocamión de 2 ejes Semirremolque de 2 Ejes	Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 2 Ejes	Camión Rígido de 3 ejes	OTROS
1002	\$ 523,829	\$ 507,532	\$ -	\$ 249,382	\$ 660,696	\$ 306,999
1901	\$ 251,034	\$ 875,785	\$ 1,356,740	\$ 1,232,361	\$ 480,471	\$ 221,950
2301	\$ 225,059	\$ 295,931	\$ 356,017	\$ 304,644	\$ 357,982	\$ 286,074
2302	\$ 402,527	\$ 830,839	\$ 572,873	\$ 680,982	\$ 728,119	\$ 451,721
2501	\$ 222,502	\$ 561,847	\$ 403,076	\$ 328,803	\$ 424,428	\$ 410,132
2502	\$ 367,629	\$ 482,440	\$ -	\$ 716,032	\$ 336,952	\$ 250,186
2503	\$ 426,572	\$ 465,121	\$ 283,377	\$ 444,289	\$ 933,772	\$ 125,857
2504	\$ 409,880	\$ 925,513	\$ -	\$ 732,559	\$ 424,656	\$ 224,440
2506	\$ 503,750	\$ 876,298	\$ 586,535	\$ 659,281	\$ 931,005	\$ 557,502
2602	\$ 180,166	\$ 442,603	\$ -	\$ 664,220	\$ 261,534	\$ 84,675
4001	\$ 154,488	\$ 356,849	\$ 148,777	\$ 165,978	\$ 340,347	\$ 119,845
5002	\$ 373,621	\$ 635,159	\$ 223,400	\$ 665,745	\$ -	\$ 401,118
6002	\$ 263,258	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6003	\$ 320,034	\$ 721,256	\$ 859,042	\$ -	\$ 481,590	\$ 235,388

Tabla 25. Costo promedio de flete por hora (pesos colombianos).

A partir de la información presentada en la tabla 26, resulta fundamental analizar los flujos vehiculares mensuales en cada ruta, considerando la tipología vehicular utilizada en el transporte de carga. En la tabla se detalla la distribución del flujo vehicular por tramo vial y por tipología de vehículo de carga, evidenciando variaciones significativas tanto por tipo de vehículo como por ubicación geográfica. Entre los hallazgos más relevantes, se destaca que el tramo 2506 presenta el mayor flujo vehicular de la región, lo que es consistente con su función como puerta de ingreso a la región en la carretera Panamericana. El tramo 4001 exhibe una alta concentración de tractocamiones de 3 ejes, lo que sugiere que es una vía clave para el transporte de carga pesada por el puerto de Buenaventura y los tramos 2301 y 2504 muestran una mayor presencia de camiones rígidos de 2 ejes, indicando su importancia para el transporte de carga liviana o de distribución regional.

Media de número de vehículos	Camión Rígido de 2 ejes	Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 3 Ejes	Tractocamión de 2 ejes Semirremolque de 2 Ejes	Tractocamión de 3 ejes Semirremolque de 2 Ejes	Camión Rígido de 3 ejes	OTROS
2506	39968	41985	10228	7395	2100	993
4001	6141	36815	9385	5743	211	403
2301	21790	14176	1557	4332	1163	1914
2504	11473	6102	895	992	577	360
1901	1857	10464	579	2743	113	124
2503	8118	4519	407	626	503	142
2502	7073	4335	406	613	383	99
2501	4636	2331	294	265	257	158
2302	1124	289	10	33	270	63
6003	847	98	7	57	177	48
1002	848	215	3	10	117	2
6002	816	101	5	7	170	41
5002	127	48	6	20	23	10
2602	92	48	0	12	9	2

Tabla 26. Vehículos promedio mensual que transitan en tramos de la región pacífico por mes.

El sobrecosto acumulado del flete de transporte, presentado en la tabla 27, se calcula a partir del costo promedio del flete por hora multiplicado por el flujo vehicular registrado en los diferentes tramos viales. Este indicador es fundamental para cuantificar el impacto económico de los cierres viales en la logística de los distintos sectores económicos de la región, proporcionando una referencia clave para la evaluación de costos adicionales en el transporte de carga.

Los resultados obtenidos revelan que en 2019 los sobrecostos acumulados superaron el billón de pesos, mientras que, en 2020, durante el período analizado, se mantuvo un comportamiento similar. Estas cifras reflejan únicamente el costo logístico asociado a los fletes, sin considerar otros factores económicos que podrían incrementar significativamente el impacto financiero de los cierres viales. Es importante resaltar que, si se incluyeran otras variables económicas, como pérdidas de productos, daños en mercancías, costos de viáticos, disminución de la demanda y costo de oportunidad, el impacto estimado en la eficiencia y rentabilidad de la cadena de suministro sería aún mayor.

Tramo vial	2018	2019	2020	Total general
2504	\$ 142,632,439,801	\$ 334,939,511,938	\$ 87,157,867,189	\$ 564,729,818,927
4001	\$ 18,877,458,272	\$ 226,598,705,928	\$ 249,628,119,200	\$ 495,104,283,400
2503	\$ 19,178,092,121	\$ 210,028,362,412	\$ 64,819,560,500	\$ 294,026,015,032
1901	\$ 159,594,320,849	\$ 121,153,944,991	\$ -	\$ 280,748,265,840
2501	\$ 11,133,198,575	\$ 65,808,483,257	\$ 55,757,659,467	\$ 132,699,341,299
2502	\$ 2,746,146,098	\$ 24,951,734,428	\$ 46,712,894,005	\$ 74,410,774,531
2506	\$ 70,282,239,998	\$ -	\$ -	\$ 70,282,239,998
6003	\$ 10,290,439,740	\$ 17,267,713,185	\$ 3,447,886,512	\$ 31,006,039,438
2301	\$ 23,611,314,719	\$ -	\$ -	\$ 23,611,314,719
1002	\$ 4,307,857,256	\$ 3,503,485,363	\$ 1,748,462,291	\$ 9,559,804,910
2602	\$ 671,057,851	\$ 2,824,893,399	\$ 2,102,562,588	\$ 5,598,513,837
6002	\$ 1,925,806,531	\$ 951,011,562	\$ 462,164,187	\$ 3,338,982,280
5002	\$ 1,390,093,302	\$ 1,402,576,984	\$ 274,446,794	\$ 3,067,117,080
2302	\$ 1,623,021,586	\$ -	\$ -	\$ 1,623,021,586
Total general	\$ 468,263,486,700	\$ 1,009,430,423,446	\$ 512,111,622,732	\$ 1,989,805,532,877

Tabla 27. Sobrecosto acumulado de impacto económico en fletes (pesos colombianos).

El análisis de datos permitió identificar los tramos viales de mayor criticidad, los cuales destacan los tramos 2504 y 2503, que corresponden a la carretera Panamericana en el departamento del Cauca, así como los tramos 4001 y 1901, que establecen la conexión con el puerto de Buenaventura en el Valle del Cauca. Estos segmentos de la red vial se presentan en la ilustración 28, los cuales presentan un impacto significativo en los costos de flete, debido a la alta frecuencia de cierres viales registrados en estos corredores estratégicos. La tabla 22 evidencio que los tramos ubicados en el departamento del Cauca presentan tiempos de cierre elevados, afectando la continuidad operativa del transporte de carga. Adicionalmente, la tabla 26 mostro que los tramos que conectan con el puerto de Buenaventura registran un alto flujo vehicular, lo que incrementa el impacto de las interrupciones viales en la logística regional y nacional.

Un factor común en estos tramos críticos es su geografía montañosa, la cual incrementa la vulnerabilidad de la infraestructura vial y contribuye a la frecuencia de emergencias. Entre las principales problemáticas identificadas en estos corredores se encuentran deslizamientos de tierra, que generan bloqueos prolongados, pérdida de bancada, afectado por la estabilidad de las vías y condiciones climáticas adversas, que incrementan la probabilidad de cierres viales.

Estos hallazgos resaltan la importancia de fortalecer las estrategias de resiliencia en la infraestructura vial, optimizando la planificación del transporte y diseñando planes de contingencia para minimizar el impacto de los cierres viales en la cadena de suministro.

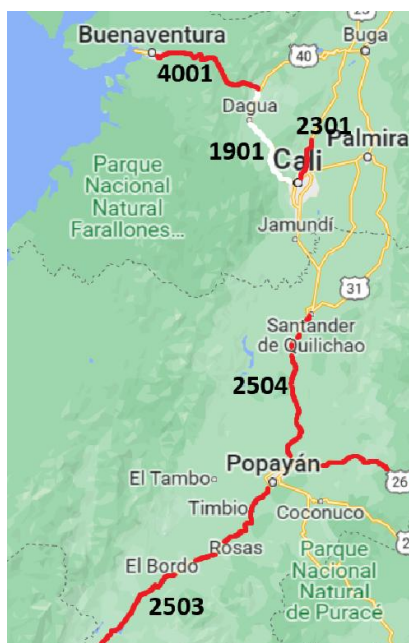


Ilustración 288. Mapa de tramos de mayor impacto en costo flete. (Google, 2024)

4.3 Sector Cereal

El sector de cereales desempeña un papel fundamental en la economía colombiana, ya que productos como el maíz, trigo y soya son esenciales tanto para el consumo humano como para la producción de alimentos para animales. Sin embargo, a pesar de su potencial agrícola, Colombia continúa dependiendo en gran medida de la importación de estos commodities (Zapata Quinchía, 2021). Según Mazo González, (2024), el país produce 1.8 millones de toneladas de maíz anualmente, pero debe importar el 80% para cubrir su demanda interna, lo que evidencia la brecha existente en la producción agropecuaria nacional

El análisis de la tabla 28 muestra la movilización de carga de los principales cereales en Colombia, donde el maíz, trigo y arroz registran los mayores volúmenes de transporte, mientras que otros productos como el sorgo, centeno y cebada tienen una menor participación en el flujo logístico del país. En este contexto, la región del Pacífico movilizó el 10.8% del total nacional, destacándose como un corredor estratégico para la distribución de estos productos.

CEREALES.	2018	2019	2020	Total general
MAIZ	2,542,981,251	2,625,152,339	1,167,131,856	6,335,265,446
TRIGO Y MORCAJO O TRANQUILLON	845,463,618	841,217,313	496,335,921	2,183,016,852
ARROZ	398,771,094	450,076,885	274,622,996	1,123,470,975
AVENA	32,169,755	42,826,581	24,198,096	99,194,432
ALFORFON; MIJO Y ALPISTE; LOS DEMAS CEREALES	13,490,641	33,366,628	20,299,945	67,157,214
SORGO DE GRANO	27,834,792	2,466,011	1,905,468	32,206,271
CEBADA	7,864,134	5,769,413	3,662,727	17,296,274
GASES	2,942,516	2,672,372	1,740,297	7,355,185
CENTENO	236,700	139,000	32,000	407,700
TOTAL	3,871,754,501	4,003,686,542	1,989,929,306	9,865,370,349

Tabla 28. Movilización de carga de Cereales (Kilogramos)

Los cierres viales han generado afectaciones significativas en la logística del sector cereal, principalmente en la carretera Panamericana a su paso por Cauca y Nariño (tramos 2501, 2503 y 2504), así como en las rutas del Valle del Cauca (tramos 4001 y 1901). La tabla 29 detalla las horas estimadas de afectación, permitiendo visualizar el impacto directo sobre el transporte de estos productos y proporcionando información clave para la planificación de rutas alternativas o la adopción de estrategias multimodales que mitiguen los efectos de estas

interrupciones. Posibles impactos en el sector de cereales, facilitando la toma de decisiones informadas sobre trayectos o rutas multimodales para mitigar las afectaciones en sus recorridos.

Tramo vial	2018	2019	2020	Total general
2501	142.1	627.2	572.7	1342.0
2503	41.1	780.2	106.1	927.4
2504		737.1	106.7	843.8
4001	35.3	339.5	328.6	703.4
1901	351.9	258.5		610.4
2301	66.1			66.1
2302	44.5			44.5
2506	39.7			39.7
5002	36.4			36.4
Total general	757.2	2742.5	1114.0	4613.8

Tabla 29 Sumatoria de horas de cierres viales sector cereal

Un aspecto crucial en la evaluación del impacto logístico es el análisis estadístico de los tiempos de cierre vial. La tabla 30 muestra la variación de los tiempos promedio por cierre y su desviación estándar, lo que permite comprender la dispersión de los eventos y su nivel de criticidad en los diferentes corredores viales. De acuerdo con los datos, los tramos de la carretera Panamericana (2501, 2503 y 2504) presentan los tiempos de espera más elevados y una alta variabilidad, lo que incrementa la incertidumbre en la planificación del transporte de carga.

Análisis horas x cierre	1901	2301	2302	2501	2503	2504	2506	4001	5002
Media	2.3	2.5	1.0	5.5	5.2	4.7	2.0	3.4	2.4
Desviación estándar	0.6	0.6	0.0	2.7	2.3	1.8	0.0	1.3	0.0
Varianza de la muestra	0.4	0.4	0.0	7.2	5.5	3.1	0.0	1.7	0.0
Rango	1.3	1.5	0.0	8.4	6.0	6.9	0.0	4.3	0.0
Mínimo	1.8	1.7	1.0	1.3	2.2	2.5	2.0	1.7	2.4
Máximo	3.1	3.1	1.0	9.8	8.2	9.4	2.0	6.0	2.4
Suma	610.4	66.1	44.5	1342.0	927.4	843.8	39.7	703.4	36.4
Cuenta	262.0	26.0	43.0	246.0	177.0	178.0	20.0	208.0	15.0

Tabla 30. Análisis descriptivo de espera en horas de cierres viales sector cereal

Por otra parte, la tabla 31 muestra el número promedio de vehículos que transitaron diariamente en los tramos de la región Pacífico. Al analizar el Valle del Cauca, se evidencia que los tramos 4001 y 2506 son estratégicos para la distribución de cereales, ya que la mayor parte del flujo de carga proviene del puerto de Buenaventura hacia el interior del país.

Media de numero de vehículos	Camión Rígido de 2 ejes	Tractocamión de 3 ejes		Tractocamión de 2 ejes		Camión Rígido de 3 ejes	OTROS	TOTAL
		Semirremolque de 3 Ejes	Semirremolque de 2 Ejes	Semirremolque de 3 Ejes	Semirremolque de 2 Ejes			
4001	2	227	3	3	0	0	0	235
2506	31	138	5	4	3	0	0	181
1901	1	107	0	0	0	0	0	108
2301	29	11	1	1	1	0	0	43
2503	9	7	0	0	0	0	0	16
2504	11	0	0	0	0	0	0	11
2501	4	4	0	0	0	0	0	8
2302	1	4	1	0	1	0	0	7
1002	0	0	0	0	0	0	0	0
2502	0	0	0	0	0	0	0	0
2602	0	0	0	0	0	0	0	0
5002	0	0	0	0	0	0	0	0
6002	0	0	0	0	0	0	0	0
6003	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 31. Vehículos promedio día por tipología en tramos del sector cereal

La tabla 32 permite cuantificar el sobre costo acumulado en pesos colombianos por fletes año a año, integrando la información de tiempos de espera y flujo vehicular promedio en cada tramo vial. Aunque la carretera Panamericana (tramos 2501, 2502 y 2503) es la más crítica en términos de tiempos de espera, su impacto en sobre costos es menor debido a la baja densidad vehicular en comparación con otros corredores logísticos. En contraste, las rutas hacia el puerto de Buenaventura, a pesar de presentar tiempos de espera menores, generan los mayores sobre costos debido al alto volumen de tránsito en estos corredores.

Tramo vial	2018	2019	2020	Total general
4001	\$ 3,412,974,035	\$ 41,214,473,464	\$ 44,619,932,928	\$ 89,247,380,426
1901	\$ 33,486,078,340	\$ 22,934,649,024	\$ -	\$ 56,420,727,363
2501	\$ 180,934,823	\$ 2,462,976,075	\$ 4,781,214,013	\$ 7,425,124,910
2506	\$ 4,943,621,826	\$ -	\$ -	\$ 4,943,621,826
2503	\$ 232,212,544	\$ 3,939,227,340	\$ 538,678,698	\$ 4,710,118,581
2504	\$ -	\$ 3,988,739,922	\$ 479,131,008	\$ 4,467,870,930
2301	\$ 1,272,628,089	\$ -	\$ -	\$ 1,272,628,089
2302	\$ 59,257,107	\$ -	\$ -	\$ 59,257,107
5002	\$ 35,222,652	\$ -	\$ -	\$ 35,222,652
6003	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6002	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2502	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1002	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2602	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total general	\$ 43,622,929,416	\$ 74,540,065,823	\$ 50,418,956,646	\$ 168,581,951,886

Tabla 32. Sobre costo acumulado de impacto económico en fletes del sector cereal (pesos colombianos).

El análisis realizado confirma que los datos obtenidos coinciden con tendencias reportadas en el sector, en las que las importaciones de cereales a través del puerto de Buenaventura representan una parte significativa del abastecimiento nacional. En este contexto, el tramo 4001 es particularmente crítico, ya que cualquier interrupción en esta vía afecta directamente la disponibilidad de estos productos, impactando tanto la industria agroalimentaria como la comercialización de cereales en el país.

4.4 Sector azúcares y confiterías

El sector azucarero en Colombia se concentra en los departamentos de Valle del Cauca, Cauca, Risaralda, Caldas y Quindío, siendo una de las industrias clave en la economía del país. En 2023, Colombia exportó 627 mil toneladas de azúcar a 60 países, logrando una mayor producción por hectárea que otros grandes productores como Brasil y Estados Unidos, consolidándose como un referente mundial en eficiencia agrícola (Revista Semana, 2023b). Además, en 2022, la agroindustria de la caña representó el 2.8% del PIB nacional, con una participación del 1.3% en el mercado mundial de azúcar (Cuartas, 2022). Sin embargo, el sector enfrenta desafíos logísticos y climáticos, que impactan tanto la producción como la distribución de sus productos. A pesar de esto, las exportaciones de azúcar en 2022 aumentaron un 7.3% en comparación con el año anterior (El País, 2022). Durante los 30 meses evaluados en este estudio, la movilización de carga del sector azucarero reflejó una distribución que se detalla en la tabla 33, donde el azúcar de caña o remolacha y la sacarosa químicamente pura en estado sólido representaron el 79.5% de la carga total movilizada.

AZÚCARES Y ARTÍCULOS DE CONFITERÍA,	2018	2019	2020	Total general
AZUCAR DE CAÑA O DE REMOLACHA Y SACAROSA QUÍMICAMENTE PURA; EN ESTADO SÓLIDO	1,898,328,375	1,819,508,501	793,462,066	4,511,298,942
LOS DEMAS AZUCARES; INCLUIDAS LA LACTOSA; LAMALTOSA; LA GLUCOSA Y LA FRUCTO	173,582,220	190,906,472	72,476,144	436,964,836
ARTÍCULOS DE CONFITERIA SIN CACAO (INCLUIDO EL CHOCOLATE BLANCO)	164,195,652	170,237,580	69,466,019	403,899,251
MELAZA DE LA EXTRACCIÓN O DEL REFINADO DEL AZÚCAR	130,381,081	124,305,575	66,311,227	320,997,883
TOTAL	2,366,487,328	2,304,958,128	1,001,715,456	5,673,160,912

Tabla 33. Movilización de carga de Azúcares y artículos de confitería en kilogramos.

Para analizar los riesgos logísticos en la distribución del azúcar, se evaluaron los tiempos de cierre vial en los principales tramos recorridos por los vehículos del sector. La tabla 34 evidencia que el tramo 4001, que conduce al puerto de Buenaventura, fue el más afectado, seguido por los tramos 2501 y 2503 en la vía Panamericana. Estos datos permiten evaluar los

niveles de riesgo en la movilidad del sector, al identificar las principales interrupciones en las rutas de transporte.

Tramo vial	2018	2019	2020	Total general
4001	35.3	339.5	328.6	703.4
2501	5.4	371.3	302.3	679.0
2503		136.1	45.5	181.6
2301	66.1			66.1
2506	39.7			39.7
1901	28.8			28.8
Total general	175.4	846.8	676.4	1,698.6

Tabla 34. Sumatoria de horas de cierres viales sector azúcares y confiterías.

El análisis descriptivo de los tiempos de espera en cada cierre vial, presentado en la tabla 35, muestra que en la carretera Panamericana, los tiempos promedio de espera oscilaron entre 5 y 5.9 horas, con desviaciones estándar de 2.5 horas, lo que indica una alta variabilidad y riesgo en estos tramos. En los tramos del Valle del Cauca, los tiempos de espera fueron menores, entre 1.8 y 3.4 horas, aunque la vía hacia Buenaventura sigue siendo la más crítica por su impacto logístico.

Análisis horas x cierre	1901	2301	2501	2503	2506	4001
Media	1.8	2.5	5.0	5.9	2.0	3.4
Desviación estándar	0.0	0.6	2.6	2.4	0.0	1.3
Varianza de la muestra	0.0	0.4	6.8	6.0	0.0	1.7
Rango	0.0	1.5	8.4	5.0	0.0	4.3
Mínimo	1.8	1.7	1.3	3.3	2.0	1.7
Máximo	1.8	3.1	9.8	8.2	2.0	6.0
Suma	28.8	66.1	679.0	181.6	39.7	703.4
Cuenta	16.0	26.0	136.0	31.0	20.0	208.0

Tabla 35. Análisis descriptivo de espera en horas de cierres viales sector cereal

Para cuantificar el impacto de los cierres viales en el sector, se estimó el número promedio de vehículos de carga que transitan diariamente por cada tramo. La tabla 36 detalla la tipología vehicular en cada ruta, destacando que más del 90% de la carga de azúcar en Colombia circula por los tramos del Valle del Cauca, tanto para importación como exportación.

Medio de numero de vehículos	Camión Rígido de 2 ejes	Tractocamión de 3 ejes		Tractocamión de 2 ejes		Tractocamión de 3 ejes		Camión Rígido de 3 ejes	OTROS	TOTAL
		Semirremolque de 3 Ejes	Semirremolque de 2 Ejes	Semirremolque de 2 Ejes	Semirremolque de 2 Ejes					
2506	12	74				3		2	1	92
4001	1	48		1		3		0	1	54
1901		43								43
2301	25	9		1		3		1	5	44
2503	3	2		0		0		1	0	6
2302	1	1								2
2501	1	2		0		0		0	0	3
1002	0	0		0		0		0	0	0
2502	0	0		0		0		0	0	0
2504	0	0		0		0		0	0	0
2602	0	0		0		0		0	0	0
5002	0	0		0		0		0	0	0
6002	0	0		0		0		0	0	0
6003	0	0		0		0		0	0	0

Tabla 36. Vehículos promedio día por tipología en tramos del sector azúcares y confiterías.

Integrando la información de flujo vehicular, tiempos de espera y costos de transporte, se determinó el sobrecosto de los fletes para el sector, lo que se refleja en la tabla 37. Se evidencia que el tramo 4001 hacia el puerto de Buenaventura es el más afectado, debido a la combinación de altos tiempos de cierre y volumen de carga transportada.

Tramo vial	2018	2019	2020	Total general
4001	\$ 610,514,907	\$ 8,611,857,120	\$ 8,849,841,491	\$ 18,072,213,519
1901	\$ 1,082,335,805	\$ -	\$ -	\$ 1,082,335,805
2506	\$ 813,464,105	\$ -	\$ -	\$ 813,464,105
2301	\$ 698,524,228	\$ -	\$ -	\$ 698,524,228
2501	\$ 2,338,336	\$ 305,526,849	\$ 105,652,710	\$ 413,517,895
2503	\$ -	\$ 332,631,379	\$ 44,777,361	\$ 377,408,740
6003	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5002	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2502	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2504	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6002	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2302	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1002	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2602	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total general	\$ 3,207,177,381	\$ 9,250,015,349	\$ 9,000,271,562	\$ 21,457,464,292

Tabla 37. Sobrecosto acumulado de impacto económico en fletes del sector azúcares y confiterías.

Los resultados obtenidos confirman que el sector azucarero colombiano está orientado hacia la exportación de commodities y productos procesados, consolidando al tramo 4001 como un punto crítico para la logística del sector. Esta información es clave para la gestión de riesgos y la planificación estratégica, ya que permite evaluar escenarios predictivos, diseñar planes de mitigación de impactos y fortalecer la resiliencia del sector frente a disrupciones en la red de transporte.

4.5 Análisis complementarios

El presente estudio sobre el impacto por cierres viales de la cadena de suministro en la región del Pacífico se enfocó en la identificación de los sectores más críticos, evaluando tanto

el flujo vehicular como los tiempos de cierre vial. Los cierres viales en esta zona presentan una alta variabilidad en términos de sobrecostos logísticos, dependiendo de factores como deslizamientos de tierra, pérdida de bancada, accidentes y mantenimientos viales. Esta aleatoriedad en las interrupciones incrementa la complejidad en la planificación logística, generando desafíos significativos para la gestión del transporte y la toma de decisiones empresariales.

Para mejorar la capacidad de respuesta ante estos eventos, es fundamental la implementación de modelos de probabilidad, análisis de riesgos e impactos que permitan proyectar escenarios y evaluar la incidencia de los cierres viales en la cadena de suministro. La incorporación de factores estocásticos y variables ambientales, como las precipitaciones, permite obtener una representación más precisa de los riesgos, en especial en casos de deslizamientos y pérdida de infraestructura vial, los cuales están directamente relacionados con la estacionalidad climática.

Desde un enfoque estratégico, es crucial fomentar la colaboración entre los actores de la cadena de suministro, incluyendo el sector gubernamental, las empresas de transporte y los sectores económicos afectados. El intercambio de información en tiempo real sobre el estado de las vías, las condiciones meteorológicas y los riesgos inminentes permitiría a las organizaciones ajustar sus operaciones con rapidez, minimizando pérdidas y optimizando la gestión logística. Un caso representativo es el tramo 4001, que conecta al puerto de Buenaventura, siendo el corredor más crítico para la logística de la región debido a su alta exposición a pérdida de bancada, especialmente en temporadas de lluvias intensas.

En este estudio, se realiza un análisis comparativo entre las precipitaciones y los cierres viales en la zona, con el propósito de identificar correlaciones entre las condiciones climáticas y las interrupciones. Como parte de las estrategias de mitigación, se recomienda el desarrollo de canales de comunicación seguros entre empresas, sectores productivos y entidades gubernamentales, con el fin de facilitar el intercambio de información sobre riesgos y agilizar la toma de decisiones en escenarios de interrupción vial.

Adicionalmente, el análisis de datos se complementa con la aplicación de técnicas de minería de datos, como el algoritmo K-means, que permite identificar patrones en la ocurrencia de cierres viales y su impacto en la movilidad de carga. Asimismo, se incorpora un modelo de probabilidad de ocurrencias en la vía 4001, el cual servirá como base para el desarrollo de simulaciones avanzadas. Estas herramientas proporcionarán una visión más estructurada de los riesgos y contribuirán al diseño de estrategias de resiliencia en la cadena de suministro.

Este enfoque analítico responde directamente a la pregunta de investigación, al proporcionar soluciones prácticas y fundamentadas que permitan mejorar la adaptabilidad de la región del Pacífico frente a eventos de disrupción vial, fortaleciendo así la eficiencia operativa y la sostenibilidad del transporte de carga.

4.5.1 Análisis de grupos con K-means

K-means es un algoritmo de agrupamiento ampliamente utilizado en análisis de datos, el cual particiona un conjunto en k clústeres minimizando la distancia entre los puntos de datos y el centroide de cada grupo (Aldarmaki et al., 2022). En este estudio, K-means se empleó para identificar patrones en los cierres viales de la región Pacífico, agrupando variables clave como tipología vehicular, tiempos de afectación, costos de fletes y tipo de infraestructura vial.

Para garantizar la calidad del análisis, el algoritmo se configuró explorando un rango de 2 a 10 clústeres, seleccionando el número óptimo según el coeficiente de silueta (Silhouette Score), el cual mide la cohesión y separación de las agrupaciones generadas. Se aplicó normalización a las variables para evitar sesgos debido a diferencias de escala, minimizando el impacto de valores extremos en la formación de clústeres.

Numero de clusters o agrupaciones	Silhouette Score o coeficiente de silueta
2	0.587
3	0.444
4	0.351
5	0.467
6	0.56
7	0.649
8	0.719
9	0.757
10	0.757

Tabla 38. Resultados de coeficiente de silueta en factor cierre, tipo de cierre y número de vehículos

El análisis de K-means generó agrupaciones que reflejan la relación entre el flujo vehicular, los factores de cierre y el tipo de interrupción vial. Como se muestra en la tabla 38, el mejor agrupamiento obtuvo un Silhouette Score máximo de 0.757, indicando una adecuada cohesión entre los clústeres. La ilustración 29 presenta la relación entre los factores de cierre (eje Y) y el número de vehículos en cada tramo (eje X), donde los diferentes colores representan cada agrupación. En esta representación, los puntos marcan el tipo de cierre: un círculo indica cierres totales, mientras que otro señala pasos restringidos.

El análisis reveló que en tramos con bajo flujo vehicular no se observa una tendencia clara en el tipo de cierre, mientras que en vías de alto tráfico predominan los pasos restringidos, lo que sugiere que estos tramos corresponden a carreteras de doble calzada con mayor capacidad operativa. Asimismo, se encontró que los cierres en vías con alto flujo vehicular de carga están mayormente relacionados con la pérdida de bancada y mantenimiento vial, con una correlación de 0.71 entre ambos factores (ver ilustración 26). Este hallazgo sugiere que el tráfico intenso, particularmente de vehículos de carga pesada, acelera el deterioro de la infraestructura vial y contribuye a la inestabilidad de los taludes, lo que incrementa la frecuencia de cierres viales. Esta conclusión enfatiza la importancia de mejorar la planificación de infraestructura, incluyendo refuerzos estructurales en tramos críticos y la implementación de monitoreo preventivo. Adicionalmente, la gestión estratégica del flujo vehicular en temporadas de lluvias podría reducir la probabilidad de cierres viales y mitigar los impactos sobre la cadena de suministro en la región Pacífico.

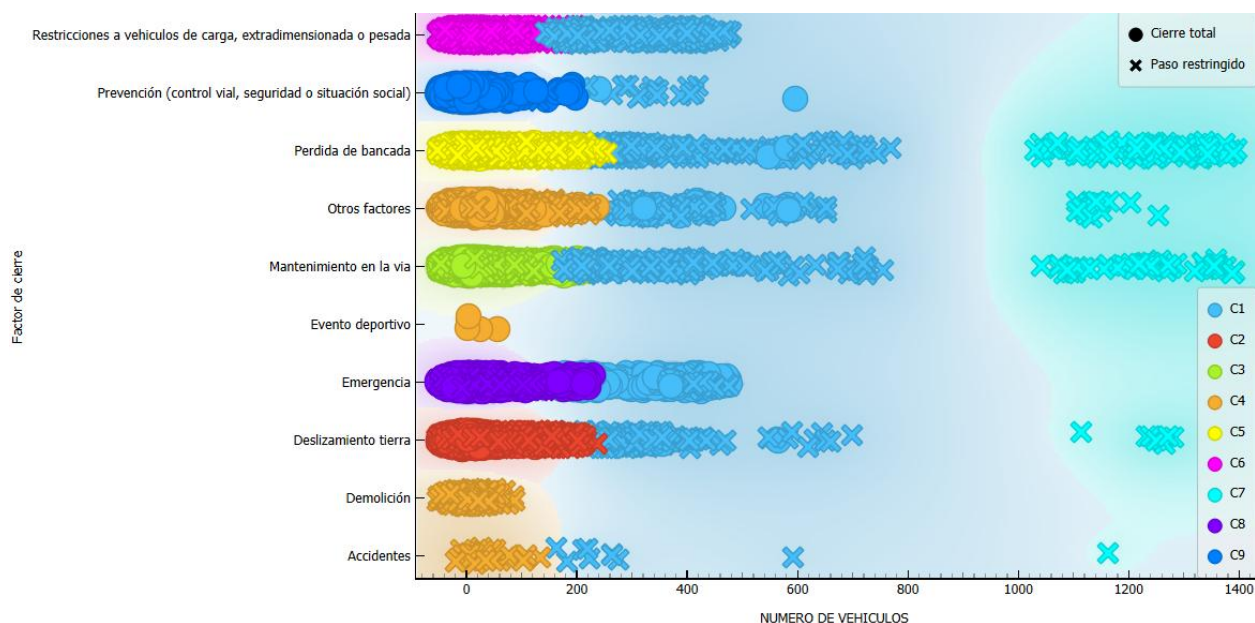


Ilustración 29. Scatter Plot factor de cierre, número de vehículos y tipo de cierre.

La ilustración 30 y la tabla 39 presentan el análisis de agrupamiento mediante el algoritmo K-means, relacionando tres variables clave: tiempo de afectación por cierres viales, número de vehículos y tipo de infraestructura vial (calzada sencilla o doble calzada). El coeficiente de silueta (Silhouette Score) obtenido fue de 0.550, indicando una cohesión moderada en las agrupaciones, aunque con cierto solapamiento entre los clústeres 6 y 4, así

como entre 1 y 2, lo que sugiere una menor diferenciación en algunas de las categorías analizadas.

En la ilustración 30, el eje X representa el número de vehículos que transitan por cada tramo, mientras que el eje Y muestra el tiempo de afectación en horas. Los puntos se diferencian por tipo de carretera: calzadas sencillas, marcadas con círculos, y dobles calzadas, representadas con cruces. Los hallazgos de este análisis radican en la mayor susceptibilidad de calzadas sencillas a interrupciones, puesto se identificó que los tramos de calzada sencilla, que presentan menor flujo vehicular, están asociados con mayores tiempos de afectación. Esto sugiere que se debe a menor frecuencia de mantenimiento por bajo tráfico o por baja inversión. Otro caso es el comportamiento de las carreteras de doble calzada, en las cuales se observa que las carreteras presentan un mayor flujo vehicular y, aunque también experimentan interrupciones, los tiempos de afectación tienden a ser más controlados. Además, los patrones de agrupamiento en las agrupaciones 5 y 3, correspondientes a carreteras de doble calzada, el cual se identificó con un patrón más definido y menos solapado con otros clústeres.

Los resultados sugieren que la infraestructura vial desempeña un papel clave en la mitigación de los tiempos de afectación por cierres viales. La tendencia observada resalta la importancia de priorizar mejoras en calzadas sencillas, que presentan mayor vulnerabilidad ante disrupciones, con el objetivo de reducir los tiempos de afectación y mejorar la continuidad del flujo vehicular en la región.

Numero de clusters o agrupaciones	Silhouette Score o coeficiente de silueta
2	0.414
3	0.424
4	0.468
5	0.494
6	0.55
7	0.528
8	0.537
9	0.55
10	0.489

Tabla 39. Resultados de coeficiente de silueta entre tiempo de afectación, número de vehículos y tipo de carretera.

Scatter Plot factor de cierre, número de vehículos y sector económico relevante

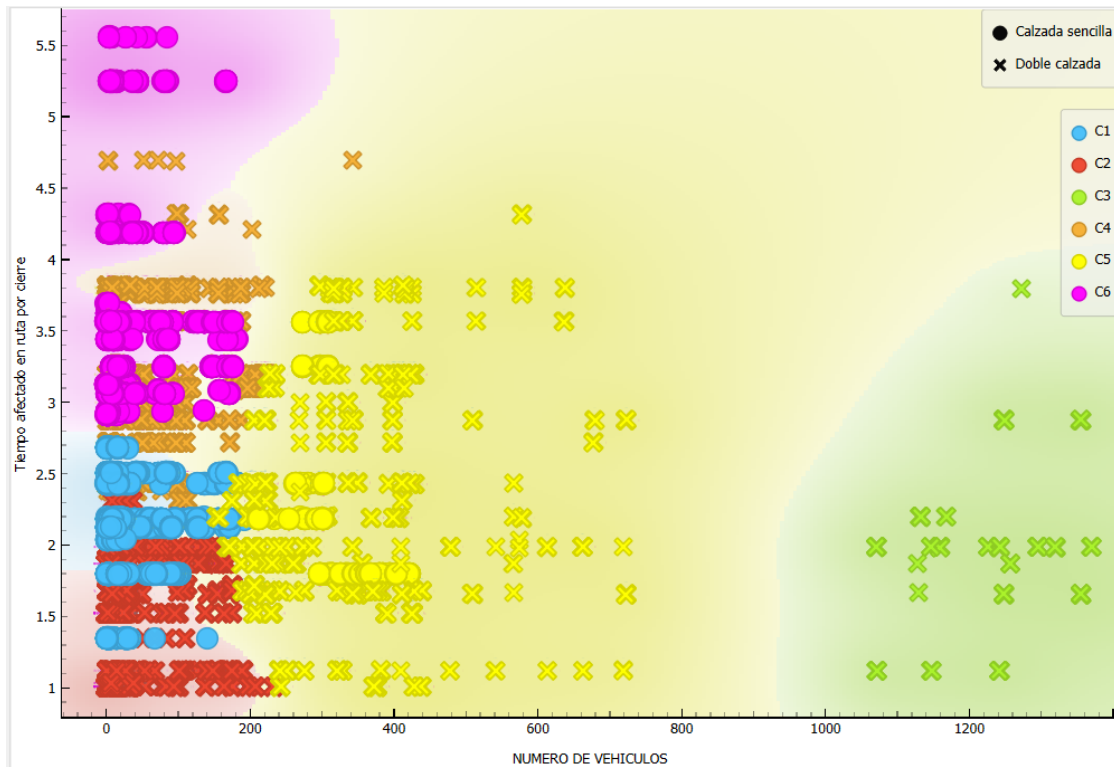


Ilustración 30. Scatter Plot de tiempos de afectación, número de vehículos y tipo de carretera.

Las ilustraciones 31 y la tabla 40 presentan el análisis de agrupamiento mediante K-means, aplicado al flujo vehicular según el tipo de sector económico en distintos tramos viales de la región Pacífico. Con un Silhouette Score de 0.766, el modelo muestra una buena cohesión entre los clústeres, lo que indica que las agrupaciones generadas reflejan de manera consistente los patrones en la distribución del tráfico.

En la ilustración 31, se destaca la predominancia de tractocamiones de 3 ejes con semirremolque de 3 ejes como la principal tipología vehicular utilizada en los sectores analizados. Esta configuración es ampliamente adoptada debido a su capacidad para transportar grandes volúmenes de carga, lo que permite optimizar costos unitarios en los sectores económicos más relevantes de la región. No obstante, esta alta capacidad de carga también implica un mayor riesgo operativo en caso de cierres viales, ya que cualquier interrupción en la ruta puede generar mayores costos logísticos y retrasos en la cadena de suministro. Adicionalmente, se observa una variación en el flujo vehicular en los tramos 1901 y 4001, que corresponden a las principales rutas de acceso al puerto de Buenaventura. Esta diferencia puede estar asociada con la importancia logística y económica de estas vías para los

sectores de azúcares y cereales, donde la eficiencia en el transporte de mercancías es un factor crítico. En particular, la presencia de un mayor volumen de tráfico en estos corredores refuerza su papel estratégico dentro de la cadena de suministro regional.

El análisis evidencia la importancia de la selección de la tipología vehicular en función de las necesidades logísticas de cada sector. La preferencia por vehículos de gran capacidad responde a la necesidad de optimizar costos operativos, aunque también resalta la vulnerabilidad de estos sectores ante interrupciones en la infraestructura vial. Asimismo, la alta concentración de flujo vehicular en las rutas hacia el puerto de Buenaventura confirma su papel clave en la movilización de carga, lo que indica la necesidad de estrategias para mitigar los impactos de los cierres viales y fortalecer la resiliencia del sistema logístico en la región.

Numero de clusters o agrupaciones	Silhouette Score o coeficiente de silueta
2	0.575
3	0.412
4	0.429
5	0.461
6	0.52
7	0.563
8	0.633
9	0.69
10	0.766

Tabla 40. Resultados de coeficiente de silueta entre tramo vial, número de vehículos y sector económico relevante

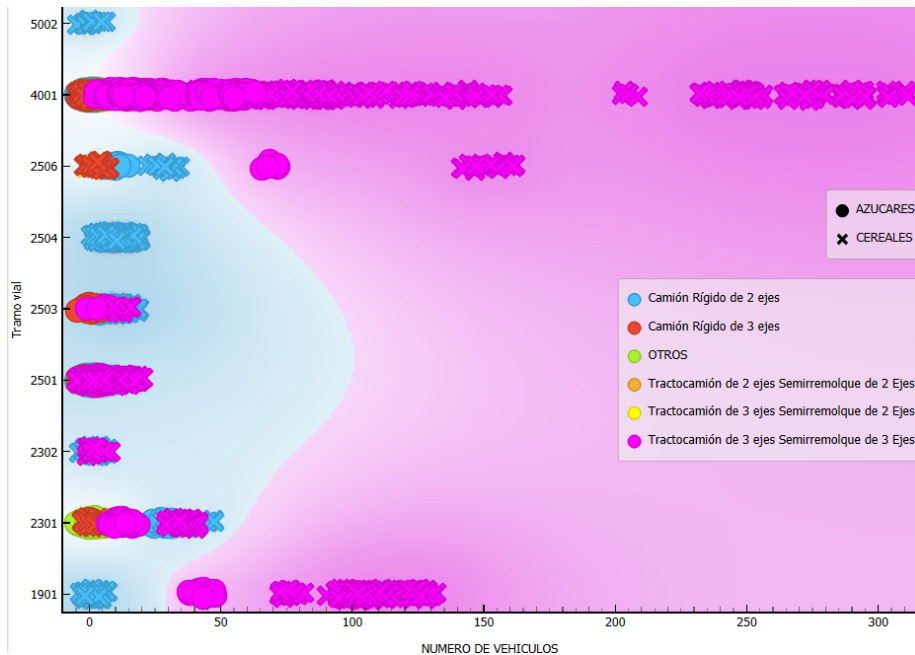


Ilustración 31. Scatter Plot tramo vial, número de vehículos y sector económico relevante

Las ilustraciones 32 y la tabla 41 presentan el análisis de K-means aplicado a la relación entre el flujo vehicular (número de vehículos), los factores de cierre vial y los sectores económicos más relevantes de la región Pacífico. Con un Silhouette Score de 0.879 y la formación de 9 clústeres, el modelo demuestra una excelente cohesión, lo que garantiza la validez de los grupos generados. Si bien la ilustración 32 guarda similitudes con la ilustración 30, su enfoque está dirigido a evaluar el impacto de los cierres viales sobre los sectores económicos. En esta ilustración se identifica que el sector de cereales es el más afectado por pérdida de bancada, seguido de interrupciones viales causadas por mantenimientos en la vía y deslizamientos de tierra. Los clústeres generados reflejan que los centroides del modelo están organizados según sectores económicos, los grupos 1, 2, 4, 5, 7 y 9 están predominantemente asociados al sector de cereales, mientras que los grupos restantes corresponden al sector azucarero, lo que evidencia diferencias en el comportamiento del flujo vehicular entre ambos sectores.

Numero de clusters o agrupaciones	Silhouette Score o coeficiente de silueta
2	0.652
3	0.58
4	0.756
5	0.781
6	0.866
7	0.873
8	0.874
9	0.879
10	0.879

Tabla 41. Resultados de coeficiente de silueta entre factor de cierre, número de vehículos y sector económico relevante

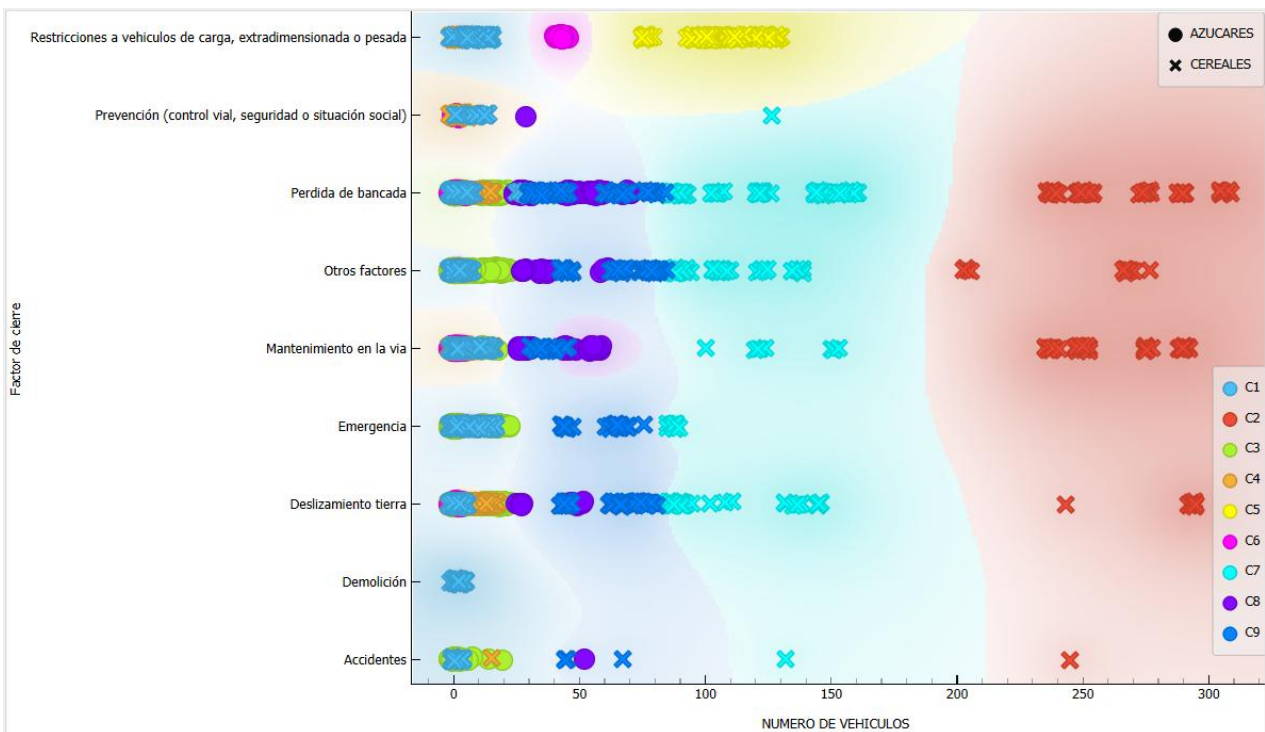


Ilustración 32. Scatter Plot factor de cierre, número de vehículos y sector económico relevante

El análisis indica que el sector de cereales fue particularmente vulnerable a la pérdida de bancada, debido a su alta dependencia del tramo 4001, una de las principales rutas de acceso al puerto de Buenaventura, donde la combinación de elevados volúmenes de tráfico de carga y la inestabilidad geotécnica incrementa significativamente la probabilidad de interrupciones viales. Este hallazgo resalta que distintos sectores económicos enfrentan impactos diferenciados ante los mismos tipos de cierre, lo que subraya la necesidad de una planificación logística sectorizada.

Desde una perspectiva estratégica, esta información es clave para la gestión del riesgo y la optimización del transporte, permitiendo a los actores involucrados en la cadena de suministro anticipar y mitigar los efectos de las interrupciones viales. La implementación de un enfoque preventivo, con estrategias adaptadas a los impactos económicos de cada sector y de las principales rutas logísticas, contribuiría a fortalecer la resiliencia del sistema de transporte.

4.5.2 Análisis cierres viales y lluvias región pacífico.

Los deslizamientos de tierra y la pérdida de bancada están relacionados con la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, ya que estas representan un factor determinante en la inestabilidad del terreno, especialmente en zonas montañosas. Además, las lluvias pueden provocar crecientes de ríos, afectando no solo la infraestructura vial, sino también otros sectores socioeconómicos, generando estados de emergencia. Esta problemática se agrava con el cambio climático y fenómenos como El Niño y La Niña, los cuales han mostrado una tendencia a aumentar en frecuencia e intensidad con el tiempo (Rodríguez, 2022).

Para analizar esta relación, se realizó un comparativo con las bases de datos del IDEAM, utilizando las normales climatológicas del periodo 1991-2020, que incluyen información sobre precipitaciones, número de días con lluvia y temperaturas máximas, medias y mínimas (IDEAM, 2020). En la tabla 42, se presenta un análisis de correlación mensual entre las precipitaciones y los cierres viales en tramos críticos de la región del Pacífico. Los resultados indican que el tramo 4001 muestra una correlación positiva fuerte entre lluvias y cierres viales, evidenciando que los incrementos en las precipitaciones están directamente asociados a un mayor número de interrupciones en esta vía. Los tramos 2503 y 2504 presentan una correlación positiva moderada, sugiriendo que las lluvias afectan la transitabilidad, aunque con menor impacto que en el tramo 4001. En contraste, los tramos 1901 y 2602 muestran una correlación negativa moderada o inexistente, lo que indica que en estos corredores viales las lluvias no son el factor predominante en la generación de cierres viales.

# cierres y precipitaciones	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	correlacion	Correlación positiva moderada
# cierre viales 2503	15	18	18	28	17	11	4	30	26	26	36	49	0.61	
Precipitaciones en Rosas-Cauca	251	185	232	239	196	83	40	39	83	257	393	354		
# cierres y precipitaciones	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	correlacion	Correlación positiva moderada
# cierre viales 2504	62	58	58	40	22	31	27	61	61	72	85	90	0.66	
Precipitaciones en Popayan-Cauca	227	181	209	191	181	87	62	52	112	288	325	279		
# cierres y precipitaciones	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	correlacion	Correlación negativa moderada
# cierre viales 2602	18	18	18	17	11	11	8	55	61	39	42	45	-0.57	
precipitaciones en Inza-Cauca	96	125	186	222	211	178	151	107	111	151	154	111		
# cierres y precipitaciones	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	correlacion	Correlación positiva fuerte
# cierre viales 4001	21	34	28	46	51	48	16	60	53	70	68	57	0.78	
Precipitaciones Buenaventura-Valle del Cauca	375	279	413	527	609	556	568	706	773	825	732	635		
# cierres y precipitaciones	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	correlacion	Correlación inexistente
# cierre viales 1901	31	35	31	35	24	24	15	16	13	11	12	15	-0.04	
Precipitaciones Dagua-Valle del Cauca	81	75	96	145	142	78	59	52	84	146	145	103		

Tabla 42. Correlación entre número de cierres viales frente a nivel de precipitación en la zona.

En la ilustración 33, se observa el flujo vehicular mensual en el periodo analizado, destacando picos de actividad logística en octubre y abril, meses en los que se concentra el mayor movimiento de carga para los sectores económicos estudiados. Es importante notar que el mes de octubre coincide con el período de mayor intensidad de lluvias en la región de Buenaventura, lo que sugiere que las precipitaciones han impactado negativamente las actividades agroindustriales y logísticas.

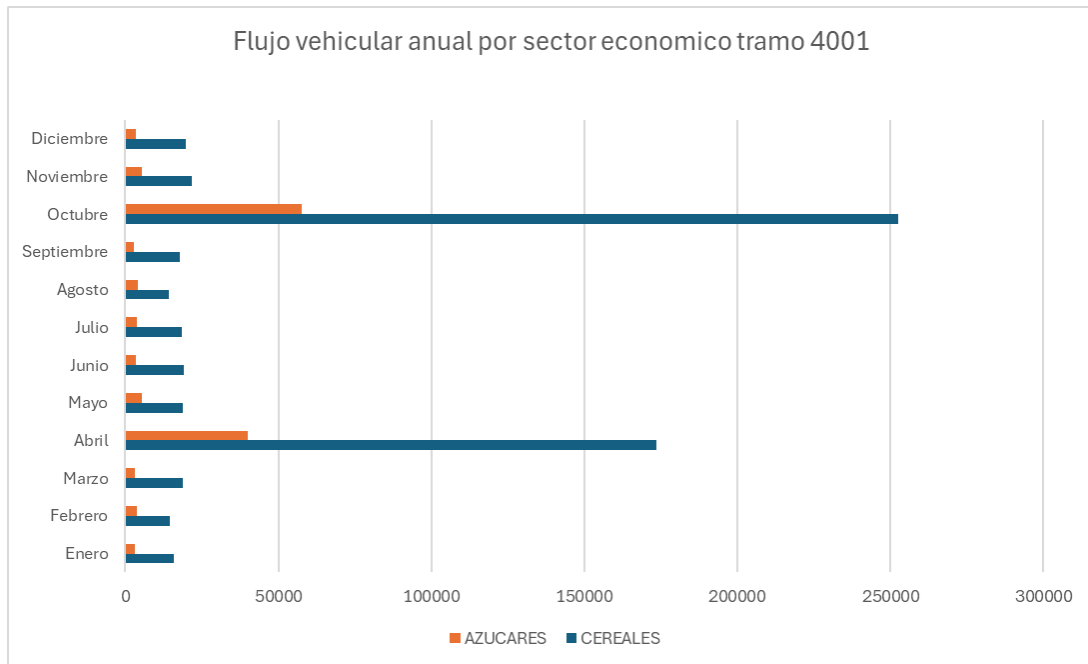


Ilustración 33. Flujo vehicular acumulado tramo 4001

Este análisis confirma que las precipitaciones son un factor clave en la generación de cierres viales en la región del Pacífico, por lo que los sectores económicos deben considerar la estacionalidad climática en su planificación logística, especialmente en la programación de cosechas y el transporte de mercancías y materias primas, con el objetivo de mitigar riesgos e impactos operacionales. Además, los eventos climáticos extremos asociados al cambio climático plantean un desafío creciente para la infraestructura vial y la logística de transporte, lo que abre oportunidades para el desarrollo de estrategias de resiliencia y adaptación en la gestión de cadenas de suministro en la región (Ahmed & Dey, 2020).

4.5.3 Análisis de probabilidades

La incertidumbre en los cierres viales de puntos críticos representa un factor clave en la evaluación de los riesgos e impactos de las cadenas de suministro en la región del Pacífico. La identificación de escenarios probables permite anticipar interrupciones y tomar decisiones estratégicas basadas en datos. En este sentido, el desarrollo de bases para modelos de simulación discreto, fundamentado en datos históricos actualizados sobre cierres viales, que describan frecuentes y comportamientos, es una herramienta importante para las principales empresas de la región, ya que facilita la cuantificación del riesgo y permite la implementación de estrategias logísticas proactivas.

En la ilustración 34, se presenta un diagrama de probabilidades correspondiente al tramo 4001 (Loboguerrero - Buenaventura), modelando distintos escenarios de cierre vial con base en los datos analizados. Por ejemplo, para el mes de julio de 2020, se determinó que la probabilidad de ocurrencia de un evento de cierre vial fue del 12.4%. En caso de presentarse un cierre, la probabilidad de que fuera un paso restringido alcanzó el 84%, en el cual el factor causal más probable fue la pérdida de bancada, con un 36% de ocurrencia. Igualmente, que la duración estimada del cierre tuvo una probabilidad del 51% de ser resuelto en un día.

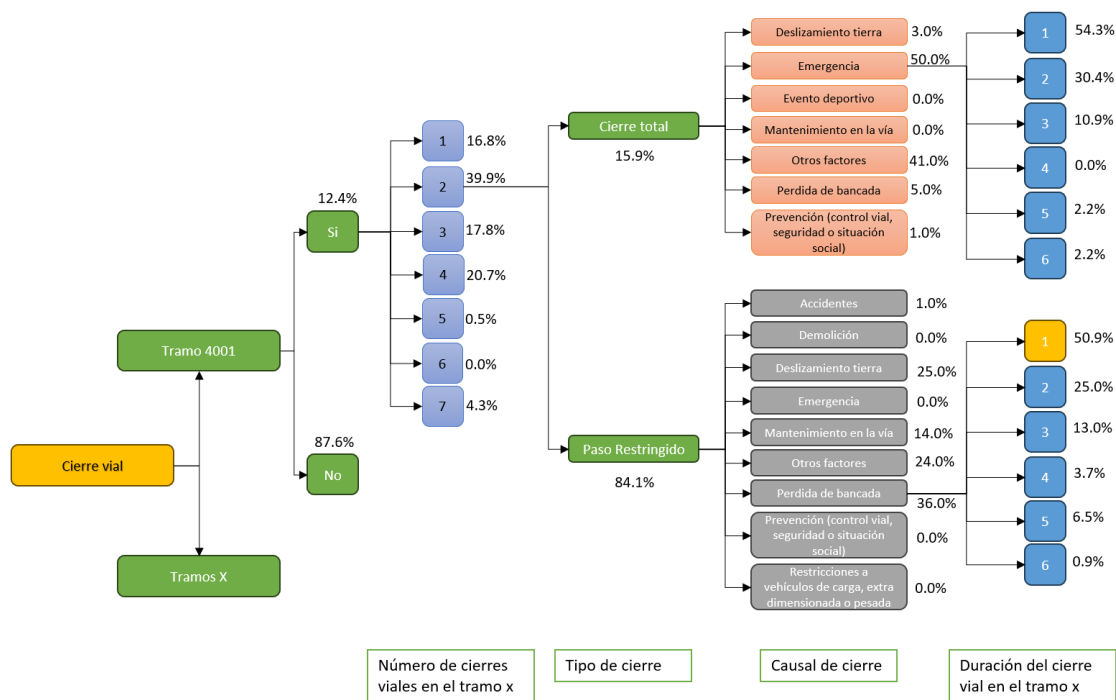


Ilustración 34. Diagrama de probabilidades, cierre vial en tramo 4001 (Vía a Buenaventura)

Para la implementación efectiva de estos modelos, es fundamental contar con información actualizada y en tiempo real sobre el estado de la infraestructura vial y los riesgos asociados. En este sentido, se recomienda fortalecer la conectividad entre empresas, sectores económicos y el gobierno, promoviendo el intercambio de información crítica sobre eventos viales y condiciones climáticas. Una colaboración activa basada en datos sincronizados y decisiones en tiempo real mejora la resiliencia de las cadenas de suministro, permitiendo una respuesta coordinada y eficiente ante eventos imprevistos (Lohmer et al., 2020).

Este análisis proporciona una base sólida para comprender cómo las interrupciones viales afectan el desempeño logístico. Además, sugiere la importancia del uso de herramientas tecnológicas para anticipar y mitigar impactos en la operación de la cadena de suministro. En este contexto, la necesidad de datos en tiempo real sobre cierres viales y riesgos potenciales cobra relevancia, ya que mejora la visibilidad del sistema logístico y permite la toma de decisiones estratégicas más efectivas.

4.6 Consideraciones

La gestión de riesgos en las cadenas de suministro es una responsabilidad compartida entre los sectores económicos y el gobierno, ya que un flujo eficiente de bienes, servicios y recursos es esencial para la estabilidad y desarrollo de la sociedad. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los impactos por cierres viales en el desempeño logístico de la cadena de

suministro a través de data driven, identificando los cierres viales como un factor crítico de disrupción.

Para ello, se planteó la metodología hacia la transformación de datos y al análisis de impactos. A través del caso de estudio, se identificaron los sectores económicos más afectados en la región del Pacífico, destacándose el sector de cereales y azúcares, que presentan los mayores volúmenes de movilización de carga en términos de peso y número de vehículos. El análisis cuantificó el impacto de los cierres viales en costos logísticos y tiempos de transporte, considerando la tipología vehicular y empleando una matriz de adyacencia para definir los trayectos en tramos transitados entre un origen y destino. La transformación de datos permitió evaluar con mayor precisión la relación entre los flujos vehiculares y los tramos críticos, representando un aporte metodológico relevante en el estudio de disrupciones logísticas. Adicionalmente, se caracterizaron los factores que generan cierres viales, analizando su frecuencia, duración y distribución espacial en la región del Pacífico. Se evaluaron relaciones entre cierres simultáneos, tiempos de espera y tiempos de recuperación, lo que permitió la construcción de escenarios de riesgo. A partir de esta información, se establecieron correlaciones entre demoras, costos de flete por hora y condiciones de la infraestructura vial, identificando los tramos con mayor impacto y proponiendo medidas de mitigación.

Aunque la ventana de análisis de esta investigación abarca desde enero de 2018 hasta junio de 2020, es importante reconocer que los efectos estructurales y operativos derivados de la pandemia por COVID-19 no se encuentran completamente reflejados en los datos utilizados. El primer caso de contagio en Colombia fue registrado oficialmente el 6 de marzo de 2020 (Minsalud, 2020) y las restricciones severas comenzaron con el Decreto 531 del 8 de abril de 2020. Por tanto, solo los meses de marzo a junio representan los primeros indicios de disrupción, funcionando como una línea base del comportamiento logístico prepandemia.

De acuerdo con el artículo de Gonzalez et al., (2022), el impacto del COVID-19 en el transporte de carga en Colombia fue considerable. En abril de 2020, la carga transportada por carretera fue solo el 40% de la carga prevista, lo cual también se reflejó en los datos analizados en este estudio, puesto se observó una caída en el flujo vehicular entre marzo a abril del 46%, seguida de una recuperación parcial del 16% en mayo y 5,8% en junio. Esta fluctuación, centrada principalmente en el flujo vehicular, confirma lo planteado por Gonzalez et al., (2022), quienes destacan que el transporte de carga es una variable altamente sensible a las restricciones sanitarias, los cierres de actividades económicas y los ajustes regulatorios. Además, el análisis muestra que otras variables como el mantenimiento vial no presentaron alteraciones significativas en este periodo, lo que reafirma que el componente más impactado

por la pandemia fue el flujo vehicular. Por ende, los resultados de esta tesis ofrecen una radiografía del comportamiento logístico inmediatamente anterior y durante los primeros meses de disrupción, del impacto por el COVID-19 en el contexto logístico colombiano.

Si bien este trabajo proporciona una base sólida para comprender el impacto de los cierres viales sobre el desempeño logístico en la región Pacífico, es necesario reconocer una serie de supuestos fundamentales y limitaciones que condicionan su alcance y aplicación. En primer lugar, la evaluación se restringe al periodo comprendido entre enero de 2018 y junio de 2020, lo cual excluye eventos críticos posteriores (especialmente comportamientos durante el COVID). Por tanto, el análisis debe interpretarse como una línea base exploratoria, útil para describir patrones históricos y desarrollar modelos de referencia, pero no como una herramienta predictiva actualizada.

En segundo lugar, se establece como supuesto de cobertura que la base de datos del Registro Nacional de Despachos de Carga (RNDC) es representativa frente a todos los vehículos de carga en circulación. Puesto, este estudio excluye vehículos no registrados en la RNDC, como el transporte informal o automóviles particulares, lo cual limita la estimación de la capacidad vial real y de la afectación completa de la red.

En cuanto a la estimación de impactos económicos, se aplicó el supuesto de costo promedio por tipología vehicular, basado en valores estándar de operación, sin considerar las diferencias por tipo de mercancía, condiciones específicas del viaje, ni factores adicionales como deterioro de productos perecederos, gastos logísticos complementarios (viáticos, horas hombre), o pérdida de oportunidades comerciales por retrasos prolongados. Aunque estos costos indirectos no fueron incluidos, su análisis representa una línea de investigación futura de gran valor para ampliar la dimensión socioeconómica del problema.

Adicionalmente, se adopta el supuesto de duración acumulativa de los eventos, es decir, se considera el tiempo total de cierre reportado por INVIAS como afectación efectiva continua, sin diferenciar por horarios diurnos/nocturnos, fluctuaciones operativas, o ventanas de mantenimiento. Esta simplificación fue necesaria para hacer uniforme el tratamiento de los datos y consolidar una valoración de estos.

Finalmente, se aclara que la clasificación de criticidad logística presentada en este trabajo se toma en escala ordinal, para una segmentación diagnóstica basada en evidencia histórica, orientada a priorizar tramos vulnerables y fortalecer la planeación logística. Su valor reside en la posibilidad de identificar puntos estructurales de riesgo dentro del sistema de transporte terrestre regional.

A pesar de estas limitaciones, los objetivos del estudio fueron alcanzados y su desarrollo metodológico ofrece un marco analítico adaptable a nuevas condiciones. Se recomienda, para estudios posteriores, incorporar fuentes complementarias como bases de datos de movilidad urbana y rural, registros de transporte no formalizado, así como ampliar el análisis hacia la movilidad general y no solo hacia la logística de carga. Igualmente, se sugiere integrar variables ambientales como la estimación de emisiones de CO₂ asociadas a cierres viales, que contribuirían a valorar el impacto en términos de sostenibilidad.

En conclusión, este estudio contribuye significativamente al entendimiento del impacto de los cierres viales sobre el desempeño logístico regional, destacando la importancia de un monitoreo continuo, el uso de herramientas analíticas accesibles y la necesidad de enfoques estratégicos que fortalezcan la resiliencia de la cadena de suministro ante interrupciones recurrentes en la infraestructura vial de la región Pacífico colombiana.

5 Conclusiones

Este estudio permitió identificar que el impacto de los cierres viales sobre el desempeño logístico de las cadenas de suministro en la región Pacífico está altamente correlacionado con la frecuencia de las interrupciones y el volumen de carga movilizado. A partir del análisis de datos históricos provenientes del Registro Nacional de Despacho de Carga (RNDC) y del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), se evaluaron los tramos más críticos de la red vial en la región entre los años 2018 y 2020, evidenciando que eventos como deslizamientos de tierra, pérdida de bancada, accidentes y mantenimientos programados afectan directamente los costos logísticos y los tiempos de tránsito, generando impactos relevantes sobre la eficiencia operativa.

En un país donde aproximadamente el 77 % de la carga se transporta por vía terrestre, la infraestructura vial representa un componente clave para la competitividad logística. Esta condición es especialmente crítica en la región Pacífico, donde el puerto de Buenaventura constituye un nodo estratégico para el comercio exterior. En este contexto, los cierres viales causados por fenómenos naturales, bloqueos sociales o fallas en la infraestructura generan disrupciones que afectan no solo a las empresas transportadoras, sino también a sectores económicos completos y, por extensión, a la sociedad en general.

A través del análisis de registros oficiales, se logró evaluar un total de 6.752 eventos de cierre vial en la región durante el periodo de estudio. Las causas principales fueron los deslizamientos de tierra (26 %), las restricciones impuestas a vehículos de carga (20,6 %) y las actividades de mantenimiento (12,4 %). Se encontró que la duración promedio de los cierres totales fue de 1,9 días, mientras que los cierres con paso restringido tuvieron una duración promedio de 2,2 días. La media de cierres simultáneos en la región fue de 1,9 eventos, reflejando una afectación recurrente y superpuesta en diferentes corredores logísticos. Los tramos con mayor nivel de impacto fueron el 2504, en términos generales de carga movilizada, y el 4001, como el más crítico para sectores estratégicos como los cereales y los azúcares.

Mediante el uso de técnicas de análisis descriptivo y diagnóstico, y a través de la preparación sistemática de los datos bajo la metodología CRISP-DM, fue posible estimar que en la región pacifico en un día que presente eventos de cierres viales se generan sobrecostos logísticos acumulados cercanos a los 4.600 millones de pesos, los cuales generan retrasos promedios de 2,5 horas en los flujos de carga. Esta cuantificación permite dimensionar el impacto directo de las disrupciones en la competitividad logística de la región y en la operación de las principales cadenas de suministro.

Particularmente, el sector de cereales presentó un nivel crítico de afectación, con demoras promedio de 153,7 horas al mes durante el tránsito de carga y sobrecostos estimados en 5.619 millones de pesos mensuales, con especial concentración en los tramos 4001 (Buenaventura) y 1901 (Cali–Loboguerrero). En el caso del sector de azúcares y confiterías, se reportaron demoras promedio de 56,6 horas mensuales y sobrecostos por 715 millones de pesos, siendo nuevamente el tramo 4001 el más crítico debido a su alta dependencia operativa y su exposición recurrente a cierres por deslizamientos y pérdida de bancada.

Asimismo, se determinó que las emergencias y los controles preventivos fueron las principales causas de cierres totales, mientras que los cierres con paso restringido estuvieron dominados por deslizamientos de tierra y restricciones a vehículos de carga. A partir del procesamiento de la información consolidada, se estimó que el impacto económico acumulado de los cierres viales en la región alcanza aproximadamente los 738 mil millones de pesos anuales, valor que representa una pérdida directa en términos de sobrecostos logísticos y tiempos adicionales de tránsito.

Uno de los aportes más relevantes de esta investigación fue la combinación de múltiples fuentes de datos, lo cual permitió estimar, de forma detallada y por tramo vial, los tiempos de afectación, los sobrecostos logísticos y los flujos vehiculares. Esta integración de información facilitó la identificación y clasificación de segmentos de alta criticidad, a diferencia de estudios previos que abordaron esta temática desde perspectivas teóricas o simuladas, el presente trabajo aplica un enfoque empírico, basado en datos reales, y articula los resultados con sectores económicos específicos.

Frente a las estrategias de mitigación, el estudio resalta la necesidad de fortalecer los canales de comunicación entre los actores de la cadena de suministro, el gobierno y el sector transporte. Se recomienda implementar sistemas de información en tiempo real, establecer planes de contingencia operativa e invertir en infraestructura vial resiliente, priorizando los tramos con mayores niveles de criticidad. También se destaca la importancia de integrar datos actualizados y sistemas predictivos para mejorar la planificación logística y reducir los efectos de interrupciones imprevistas.

Aunque el estudio cumplió con los objetivos planteados, se identificaron limitaciones relacionadas con la disponibilidad de datos actualizados y con el alcance del análisis, centrado exclusivamente en vehículos de carga registrados en el RNDC. Para futuras investigaciones se sugiere ampliar el horizonte temporal, incluir análisis multimodal, aplicar modelos de simulación más robustos y considerar también los impactos sociales y ambientales de los cierres viales.

Finalmente, la articulación de los hallazgos con los sectores económicos más representativos de la región —como cereales, azúcares y productos industriales— constituye un enfoque diferencial frente a estudios anteriores. Mientras gran parte de la literatura analiza los cierres viales desde una perspectiva genérica o estructural, este estudio permitió visualizar los impactos desde un punto de vista sectorial y operativo, proporcionando insumos concretos para la toma de decisiones tanto empresariales como gubernamentales.

Los hallazgos de este estudio permiten establecer una base empírica sólida para la toma de decisiones basadas en evidencia, orientadas a mejorar la eficiencia y la resiliencia de la red logística nacional, con énfasis en la región Pacífico. Desde la perspectiva de las políticas públicas, los resultados permiten identificar los tramos más vulnerables de la red vial a partir de registros históricos de cierres y flujos de carga, facilitando la priorización de intervenciones en infraestructura, la asignación de recursos por criticidad logística y la definición de corredores estratégicos en planes nacionales de transporte y competitividad. Para la planeación logística empresarial, la caracterización de sectores afectados y la cuantificación de impactos en tiempo y sobrecostos constituyen un insumo clave para ajustar rutas, negociar contratos, establecer inventarios de seguridad o diseñar planes de continuidad operativa ante cierres prolongados. En lo que respecta a la inversión en infraestructura vial, la segmentación de tramos según factores como calzada, flujo vehicular y tiempo promedio de afectación genera información útil para evaluar el retorno de la inversión desde una perspectiva logística. Asimismo, permite reforzar decisiones en proyectos de mantenimiento, ampliación o rediseño de vías, alineando criterios técnicos con el comportamiento logístico territorial.

En conclusión, esta investigación ofrece un marco sólido para comprender el impacto logístico de los cierres viales en la región Pacífico de Colombia, resaltando la importancia de adoptar enfoques analíticos y de planificación proactiva para mitigar sus efectos. Los resultados obtenidos constituyen una base empírica útil para diseñar estrategias que fortalezcan la resiliencia del transporte de carga en el país y para mejorar la eficiencia de las cadenas de suministro frente a interrupciones operativas.

6 Referencias Bibliográficas

- Achurra, A. T., & B., R. del C. C. (2024). Impacto en la Cadena de Suministros Debido a Cierres Viales en Panamá: Retos y Colaboración Sectorial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 9577–9595. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I5.14340
- Agencia nacional de infraestructura. (2023). *Tráfico Vehicular ANI | Datos Abiertos Colombia*. <https://www.datos.gov.co/Transporte/Tr-fico-Vehicular-ANI/8yi9-t44c/data?pane=feed>
- Ahmed, S., & Dey, K. (2020). Resilience modeling concepts in transportation systems: a comprehensive review based on mode, and modeling techniques. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s43065-020-00008-9>
- Alvarenga, M. Z., Oliveira, M. P. V. de, Zanquetto Filho, H., Desouza, K. C., & Ceryno, P. S. (2022). SUA CADEIA DE SUPRIMENTOS ESTÁ PREPARADA PARA A PRÓXIMA INTERRUPÇÃO? CONSTRUINDO CADEIAS RESILIENTES. *Revista de Administração de Empresas*, 62(1). <https://doi.org/10.1590/s0034-759020220106x>
- ANDI. (2019). *Boletín semanal, índice global de competitividad*. [https://www.andi.com.co/Uploads/Boletín 03 - 309. Corredores estrategicos de colombia, Índice global de competitividad.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/Boletín%2003%20-%20309%20Corredores%20estrategicos%20de%20colombia,%20Índice%20global%20de%20competitividad.pdf)
- Bag, S., Rahman, M. S., Srivastava, G., Chan, H. L., & Bryde, D. J. (2022). The role of big data and predictive analytics in developing a resilient supply chain network in the South African mining industry against extreme weather events. *International Journal of Production Economics*, 251, 108541. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108541>
- Bittencourt, J. C. N., Costa, D. G., Portugal, P., & Vasques, F. (2024). A data-driven clustering approach for assessing spatiotemporal vulnerability to urban emergencies. *Sustainable Cities and Society*, 108, 105477. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2024.105477>
- Brzozowska, J., Pizoń, J., Baytikenova, G., Gola, A., Zakimova, A., & Piotrowska, K. (2023). Data engineering in CRISP DM process production data - case study. *Applied Computer Science*, 19(3), 83–95. <https://doi.org/10.35784/acs-2023-26>
- Cámara de comercio de Cali. (2023). *Enfoque competitivo Buenaventura: el Puerto de Colombia*. <https://www.ccc.org.co/inc/uploads/2023/06/Enfoque-Buenaventura-VF.pdf>
- Caracol Radio. (2020). *Derrumbes en Colombia Derrumbe genera cierre en la vía Florencia - Suaza: Derrumbe genera cierre en la vía Florencia - Suaza*. Caracol Radio. https://caracol.com.co/emisora/2020/05/19/neiva/1589840200_549651.html
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de operaciones Producción y cadena de suministros* (12th ed.).
- Clavijo-Burítica, N., Abushaega, M. M., González, A. D., Amorim, P., & Polo, A. (2021).

- Resilience-based Analysis of Road Closures in Colombia: An Unsupervised Learning Approach. *Engineering Analytics*, 21–42. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003137993-3/resilience-based-analysis-road-closures-colombia-nicolas-clavijo-buritica-mastoor-abushaega-andrés-gonzález-pedro-amorim-andrés-polo>
- Clavijo-Buritica, N., Triana-Sanchez, L., & Escobar, J. W. (2023). A hybrid modeling approach for resilient agri-supply network design in emerging countries: Colombian coffee supply chain. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85(September 2022). <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101431>
- Colombia, M. (2023). *Vía Bogotá Villavicencio: estas son las restricciones para transitar que rigen desde el 31 de agosto | Más Colombia*. Más Colombia. <https://mascolombia.com/via-bogota-villavicencio-estas-son-las-restricciones-para-transitar-que-rigen-desde-el-31-de-agosto/>
- Consejo Privado de competitividad. (2022). Informe Nacional de Competitividad 2022. *Consejo Privado de Competitividad*, 398–400. https://www.google.com/search?q=informe+nacional+de+competitividad+2022&rlz=1C1UEAD_esCO988CO988&biw=1366&bih=649&sxsrf=APq-WBtnoXeun_nb3QBKI6ihk_mRd4FGvA%3A1650852117888&ei=FQFmYq3INciZwbkP0cOG0Ag&oq=informe+nacional+de+co&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2I6EAEYADIECCMQ
- Dai, Z., Aqlan, F., Zheng, X., & Gao, K. (2018). A location-inventory supply chain network model using two heuristic algorithms for perishable products with fuzzy constraints. *Computers and Industrial Engineering*, 119, 338–352. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.007>
- Deb Nath, R. P., Hose, K., Pedersen, T. B., & Romero, O. (2017). SETL: A programmable semantic extract-transform-load framework for semantic data warehouses. *Information Systems*, 68, 17–43. <https://doi.org/10.1016/j.is.2017.01.005>
- Dey, S. (2022). Surviving major disruptions: Building supply chain resilience and visibility through rapid information flow and real-time insights at the “edge.” *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 100008. <https://doi.org/10.1016/j.smse.2022.100008>
- Duarte, S. (2023). Cierre de la vía Panamericana le cuesta al menos \$1.000 millones diarios al transporte. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/cierre-de-panamericana-cuesta-1-000-millones-diarios-al-transporte-3671162>
- El-Rashidy, R. A., & Grant-Muller, S. M. (2014). An assessment method for highway network vulnerability. *Journal of Transport Geography*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.10.017>

- El Herald. (2011). Sigue la alerta roja por el invierno en Colombia. *El Herald*.
<https://www.elheraldo.co/noticias/nacional/nacional/sigue-la-alerta-roja-por-el-invierno-en-colombia-49291>
- El País. (2023). Bloqueo en la Panamericana dejó alza en el precio de algunos alimentos. *El País*. <https://www.elpais.com.co/economia/bloqueo-en-la-panamericana-dejo-alza-en-el-precio-de-algunos-alimentos-0200.html>
- Elleuch, H., Dafaoui, E., Elmhamedi, A., & Chabchoub, H. (2016). Resilience and Vulnerability in Supply Chain: Literature review. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1448–1453.
<https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2016.07.775>
- Eppen, G. D., & Gould, F. J. (2000). Investigación de operaciones en la ciencia administrativa. In *Prentice Hall hispanoamericana S.A.: Vol. Quinta edi.*
<https://jrvargas.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/01/investigacion-de-operaciones-en-la-ciencia-administrativa-5ta-edicion.pdf>
- Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., & Smyth, P. (1996). The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data. *Communications of the ACM*, 39(11), 27–34.
<https://doi.org/10.1145/240455.240464>
- Ferdous, O., Yousefi, S., & Tosarkani, B. M. (2025). A multi-disruption risk analysis system for sustainable supply chain resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 116, 105136. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2024.105136>
- Gonzalez, J. N., Camarero-Orive, A., González-Cancelas, N., & Guzman, A. F. (2022). Impact of the COVID-19 pandemic on road freight transportation – A Colombian case study. *Research in Transportation Business and Management*, 43, 100802.
<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100802>
- Google. (2024). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/@3.4336782,-76.4366209,8z?entry=ttu>
- Guo, Y., Liu, F., Song, J. S., & Wang, S. (2024). Supply chain resilience: A review from the inventory management perspective. In *Fundamental Research*. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.fmre.2024.08.002>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma* (segunda). The McGraw-Hill Companies.
<https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>
- Hashemi-Amiri, O., Ghorbani, F., & Ji, R. (2023). Integrated supplier selection, scheduling, and routing problem for perishable product supply chain: A distributionally robust approach.

- Computers and Industrial Engineering*, 175, 108845.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108845>
- Henríquez-Fuentes, G. R., Cardona-Arbeláez, D. A., Paternina-Arboleda, C., & León-González, A. (2018). Medición para cadenas de suministro bajo indicadores claves de desempeño (KPI) y tecnologías de información. *Dictamen Libre*, 23, 61–74.
<https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.23.5147>
- IDEAM. (2020). *Normales Climatológicas Estándar_Periodo 1991-2020*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
https://www.ideam.gov.co/documents/21021/553571/Normales+Climatológicas+Estándar_Periodo+1991-2020.xlsx/347421fe-b205-478f-9c24-55d0ea3785cd
- Instituto Nacional de Vías. (2024a). *Cierres viales*. INVIAS.
<https://www.invias.gov.co/index.php/cierres-viales>
- Instituto Nacional de Vías. (2024b). *Red vial nacional de carreteras*. Ministerio de Transporte.
- Instituto Nacional de vías Colombia. (2024). *Circulares y Resoluciones*.
<https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/resoluciones-circulares-otros>
- INVIAS. (2019). *Red Vial | Instituto Nacional de Vías*. <https://inviasopendata-invias.opendata.arcgis.com/datasets/red-vial>
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sheu, J. B., & Moghadam, H. S. (2016). Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/demand interruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 121–149. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.09.004>
- Jenelius, E., & Mattsson, L. G. (2015). Road network vulnerability analysis: Conceptualization, implementation and application. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.02.003>
- Khan, A. A., & Abonyi, J. (2022). Information sharing in supply chains – Interoperability in an era of circular economy. In *Cleaner Logistics and Supply Chain* (Vol. 5, p. 100074). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100074>
- Knoop, V. L., Snelder, M., van Zuylen, H. J., & Hoogendoorn, S. P. (2012). Link-level vulnerability indicators for real-world networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(5). <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.02.004>
- La república. (2023a). En lo que va de febrero las vías del país ya suman más de 35 bloqueos por protestas. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/en-lo-que-va-de-febrero-las-vias-del-pais-ya-suman-mas-de-35-bloqueos-por-protestas-3546842>
- La república. (2023b). Las pérdidas por derrumbe en la Vía al Mar en Cali ya ascienden a \$800 millones. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/las-perdidas-por-derrumbe->

en-la-via-al-mar-en-cali-ya-ascienden-a-800-millones-3545408

- La república. (2023c). Por cierre de la vía Panamericana, un millón de litros de leche han sido represados. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/por-cierre-de-la-via-panamericana-un-millon-de-litros-de-leche-han-sido-represados-3541543>
- La república. (2023d). Transporte de pasajeros, con pérdidas de \$20.000 millones por cierre de Panamericana. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/transporte-de-pasajeros-tiene-perdidas-por-20-000-millones-por-cierre-de-la-via-panamericana-3549665>
- La república. (2023e). Varias vías del Cauca presentan paso restringido y cierre total por creciente de ríos. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/vias-del-cauca-se-encuentran-con-paso-restringido-y-cierre-total-por-creciente-de-rios-3587603>
- Liu, H., Shi, H., Yuan, T., Fu, S., & Ran, B. (2025). Bus travel feature inference with small samples based on multi-clustering topic model over Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 163, 107525. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.107525>
- Lloreda Becerra, C., Rosero García Asesor Plan Estratégico Regional Carolina Van der Huck Arias, A., María Vicente Álvarez, A., Cruz Daraviña, P., López Rodríguez Desarrollo Socioeconómico Alejandro Zapata Salazar Ciudades Asentamientos del Pacífico Juan Fernando Quejada Sánchez Cultura Paz Territorial Diana Morelia Díaz Hidalgo Gobernanza Gobernabilidad Territorial Luz Marina Sánchez Vásquez Metodo, P., Otero Castellanos, F., Mauricio Cortés Gutiérrez, D., Javier Dorado Urbano, F., Gómez Cotacio, D. A., Camilo Cabrera, J., Eugenia Pino, B., Manuel Duque, J., Juliana Otero, S., Camila Torres Equipo técnico RAP Brayan Salgado Blanco, M., Camila Sotelo, M., Fernanda Arteaga, M., Arias Medina, L., Sheska Vélez Vergara, M., Carlos Bustamante Cortés, J., & Delgado Guerrero Enlace Nariño Yadira Ramírez Mosquera, R. (2022). Plan estratégico regional pacífico. *Región Administrativa y de Planeación Del Pacífico*. <https://rap-pacifico.gov.co/wp-content/uploads/2022/12/PER-PACIFICO.pdf>
- Lohmer, J., Bugert, N., & Lasch, R. (2020). Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. *International Journal of Production Economics*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107882>
- Luo, Q., & Liu, C. (2023). Exploration of road closure time characteristics of tunnel traffic accidents: A case study in Pennsylvania, USA. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 132, 104894. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104894>
- Marian, A. R., Hijazi, R., Masad, E., & Abdel-Wahab, A. (2024). Quantifying the vulnerability of road networks to flood-induced closures using traffic simulation. *Transportation*

- Engineering*, 17, 100262. <https://doi.org/10.1016/J.TRENG.2024.100262>
- Mazo González, D. (2024). *Alerta en el sector de cereales: Fenalce indicó baja productividad por alza en las importaciones*. Infobae. <https://www.infobae.com/colombia/2024/05/30/alerta-en-el-sector-de-cereales-fenalce-indico-baja-productividad-por-alza-en-las-importaciones/>
- Ministerio de transporte de Colombia. (2023). *Informes de Gestión 2023*. Junta Central de Contadores. <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/4053/informes-de-gestion/>
- Ministerio de transporte de Colombia. (2024a). *Anexo a los Manuales RNDC*. Registro Nacional Despacho de Carga. <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Frndc.mintransporte.gov.co%2Fportals%2F0%2FDocumentos%2FAnexo%2520a%2520los%2520Manuales%2520RNDC%252020110919.xls&wdOrigin=BROWSELINK>
- Ministerio de transporte de Colombia. (2024b). *Carga Movilizada por Carretera - RNDC*. <https://plc.mintransporte.gov.co/Estadísticas/Carga-Modo-Terrestre/Carga-Movilizada-Carretera-RNDC>
- Minsalud. (2020). Colombia confirma su primer caso de COVID-19. In *Ministerio de Salud* (p. 1). <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-confirma-su-primer-caso-de-COVID-19.aspx>
- Mousavi, B. A., Heavey, C., Azzouz, R., Ehm, H., Millauer, C., & Knobloch, R. (2022). Use of Model-Based System Engineering methodology and tools for disruption analysis of supply chains: A case in semiconductor manufacturing. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100335. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100335>
- Nocera, F., Contento, A., & Gardoni, P. (2024). Risk analysis of supply chains: The role of supporting structures and infrastructure. *Reliability Engineering & System Safety*, 241, 109623. <https://doi.org/10.1016/J.RESS.2023.109623>
- Pereira, H. de M., Bessa Júnior, J. E., & Nóbrega, R. A. de A. (2024). Geospatial-based decision support system for prioritizing road segments for maintenance and rehabilitation. *Case Studies on Transport Policy*, 16, 101170. <https://doi.org/10.1016/J.CSTP.2024.101170>
- Rahman, M. M., Nguyen, R., & Lu, L. (2022). Multi-level impacts of climate change and supply disruption events on a potato supply chain: An agent-based modeling approach. *Agricultural Systems*, 201, 103469. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2022.103469>
- Rajesh, R. (2018). Measuring the barriers to resilience in manufacturing supply chains using Grey Clustering and VIKOR approaches. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.043>

- Reggiani, A., Nijkamp, P., & Lanzi, D. (2015). Transport resilience and vulnerability: The role of connectivity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.12.012>
- Revista Semana. (2023). *Atentos: hay cierre total en la vía Cúcuta-Pamplona por protesta de docentes*. Revista Semana. <https://www.semana.com/nacion/cucuta/articulo/atentos-hay-cierre-total-en-la-via-cucuta-pamplona-por-protesta-de-docentes/202359/>
- Rodriguez, D. (2022). Lluvias en Colombia irían hasta febrero del 2023 | Ideam - Gobierno nacional | Finanzas | Economía | Portafolio. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/lluvias-en-colombia-irian-hasta-febrero-del-2023-ideam-gobierno-nacional-570997>
- Rojas-Reyes, J. J., Rivera-Cadavid, L., & Peña-Orozco, D. L. (2024). Disruptions in the food supply chain: A literature review. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 14, p. e34730). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34730>
- Roushan, A., Das, A., Dutta, A., & Bera, U. K. (2025). A multi-objective supply chain model for disaster relief optimization using neutrosophic programming and blockchain-based smart contracts. *Supply Chain Analytics*, 10, 100107. <https://doi.org/10.1016/J.SCA.2025.100107>
- Saldarriaga, V. (2022). *Como si fueran galletas y no vías de concreto, cedieron pavimentos en varias carreteras del Caribe - BluRadio*. Blu Radio. <https://www.bluradio.com/blu360/caribe/como-si-fueran-galletas-y-no-vias-de-concreto-cedieron-pavimentos-en-varias-carreteras-del-caribe-rg10>
- Schröer, C., Kruse, F., & Gómez, J. M. (2021). A systematic literature review on applying CRISP-DM process model. *Procedia Computer Science*, 181, 526–534. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.199>
- Schwab, K. (2019). *The Global Competitiveness Report*.
- Su, I. H., Wu, L., & Tan, K. H. (2023). The future of the food supply chain: A systematic literature review and research directions towards sustainability, resilience, and technology adoption. *Journal of Digital Economy*, 2, 303–316. <https://doi.org/10.1016/J.JDEC.2024.03.001>
- Vargas, J. P. (2023). Pérdidas en transporte llegarían a \$110.000 millones por derrumbe en Panamericana. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/perdidas-en-transporte-llegarian-a-110-000-millones-por-derrumbe-en-panamericana-3542412>
- VOSviewer. (2022). *VOSviewer - Visualización de paisajes científicos*. VOSviewer. <https://www.vosviewer.com/>
- Waller, M. A., & Fawcett, S. E. (2013). Data science, predictive analytics, and big data: A revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business*

Logistics, 34(2), 77–84. <https://doi.org/10.1111/jbl.12010>

Wieland, A., & Durach, C. (2021). Two perspectives on supply chain resilience. *Journal of Business Logistics*, 42(3). <https://doi.org/10.1111/jbl.12271>

Zapata Quinchía, A. (2021). Maíz, trigo y soya, ¿por qué Colombia no es autosuficiente? *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/negocios/maiz-trigo-y-soya-por-que-colombia-no-es-autosuficiente-BL15962461>

Zhong, H., & Liang, D. (2024a). A study of road closure due to rainfall and flood zone based on logistic regression. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 102, 104291. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2024.104291>

Zhong, H., & Liang, D. (2024b). A study of road closure due to rainfall and flood zone based on logistic regression. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 102, 104291. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104291>

Zuluaga Mazo, A., Gómez Montoya, R. A., & Fernández Henao, S. A. (2014). Indicadores logísticos en la cadena de suministro como apoyo al modelo scor. *Clío América*, 8(15), 90. <https://doi.org/10.21676/23897848.832>

Anexo 1. Entrevista

<https://docs.google.com/forms/d/1RHoj3kNINXdrFwbxSpi0NbF5IFwHZS13pKOBdVRKZeE/edit?pli=1>

Anexo 2. Matriz de adyacencia de recorridos

La matriz de adyacencia a continuación fue elaborada como requerimiento para la complementar la formulación al tener definido los tramos que compone un trayecto ij. Con ello poder realizar las sumatorias de las métricas a analizar de acuerdo con el número de trayectos que son conformados por un tramo específico ij .

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
TRAMO INICIO	TRAMO FIN	Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
4001	1001								X	X	X					X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
5002	1001					X					X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
Choco	1001					X	X				X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
6002	1001							X	X		X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
6003	1001								X		X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
1901	1001									X	X					X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Valle	1001										X					X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2301	1001											X				X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Valle norte	1001												X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2506	1001													X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2302	1001														X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Cauca Norte	1001															X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2504	1001																X	X	X					X	X	X	X	X	X
Popayán	1001																		X	X				X	X	X	X	X	X
2503	1001																			X				X	X	X	X	X	X
2602	1001																				X			X	X	X	X	X	X
Cauca Sur	1001																					X	X	X	X	X	X	X	X
Nariño norte	1001																						X		X	X	X	X	X
2502	1001																							X	X	X	X	X	X
Pasto	1001																								X	X	X	X	X
2501	1001																									X	X	X	X
Nariño sur	1001																										X	X	X
1002	1001																											X	X
1001	1001																												X
amazónica	1001																									X	X	X	X
Andina	1001										X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Caribe	1001										X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Orinoquia	1001										X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
4001	1002								X	X	X					X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
5002	1002				X						X		X		X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Choco	1002				X	X					X		X		X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
6002	1002						X	X			X		X		X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
6003	1002							X			X		X		X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
1901	1002									X	X					X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Valle	1002										X					X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2301	1002											X				X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Valle norte	1002												X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2506	1002													X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2302	1002														X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
Cauca Norte	1002															X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
2504	1002																X	X	X					X	X	X	X	X	X
Popayán	1002																		X	X				X	X	X	X	X	X
2503	1002																			X				X	X	X	X	X	X
2602	1002																				X			X	X	X	X	X	X
Cauca Sur	1002																						X	X	X	X	X	X	X

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
Nariño norte	1002																						X		X	X	X	X	
2502	1002																							X	X	X	X	X	
Pasto	1002																								X	X	X	X	
2501	1002																									X	X	X	
Nariño sur	1002																										X	X	
1002	1002																											X	
1001	1002																											X	X
amazónica	1002																									X	X	X	
Andina	1002										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Caribe	1002										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Orinoquia	1002										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4001	1901								X	X																			
5002	1901				X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Choco	1901				X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
6002	1901						X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
6003	1901							X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1901	1901									X																			
Valle	1901									X	X																		
2301	1901									X		X																	
Valle norte	1901									X	X		X																
2506	1901									X	X			X															
2302	1901									X	X				X														
Cauca Norte	1901									X	X					X													
2504	1901									X	X					X	X												
Popayán	1901									X	X					X	X	X											
2503	1901									X	X					X	X	X	X										
2602	1901									X	X					X	X	X	X	X									
Cauca Sur	1901									X	X					X	X	X	X	X			X						
Nariño norte	1901									X	X					X	X	X	X	X			X						
2502	1901									X	X					X	X	X	X	X			X						
Pasto	1901									X	X					X	X	X	X	X			X	X					
2501	1901									X	X					X	X	X	X	X			X	X	X				
Nariño sur	1901									X	X					X	X	X	X	X			X	X	X	X			
1002	1901									X	X					X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
1001	1901									X	X					X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
amazónica	1901									X	X					X	X	X	X	X			X	X					
Andina	1901									X	X		X	X															
Caribe	1901									X	X		X	X															
Orinoquia	1901									X	X		X	X															
4001	2301								X	X	X	X																	

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
TRAMO INICIO	TRAMO FIN	Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
5002	2301					X						X	X	X		X													
Choco	2301					X	X					X	X	X		X													
6002	2301							X	X			X	X	X		X													
6003	2301								X			X	X	X		X													
1901	2301										X	X	X																
Valle	2301											X	X																
2301	2301												X																
Valle norte	2301												X	X															
2506	2301												X		X														
2302	2301												X			X													
Cauca Norte	2301											X	X				X												
2504	2301											X	X				X	X											
Popayán	2301											X	X				X	X	X										
2503	2301											X	X				X	X	X	X									
2602	2301											X	X				X	X	X	X	X	X							
Cauca Sur	2301											X	X				X	X	X	X			X						
Nariño norte	2301											X	X				X	X	X	X				X					
2502	2301											X	X				X	X	X	X				X					
Pasto	2301											X	X				X	X	X	X				X	X				
2501	2301											X	X				X	X	X	X				X	X	X			
Nariño sur	2301											X	X				X	X	X	X				X	X	X	X		
1002	2301											X	X				X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
1001	2301											X	X				X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
amazónica	2301											X	X				X	X	X	X				X	X				
Andina	2301												X	X	X														
Caribe	2301												X	X	X														
Orinoquia	2301												X	X	X														
4001	2302									X				X		X													
5002	2302					X								X		X													
Choco	2302					X	X							X		X													
6002	2302							X	X					X		X													
6003	2302								X					X		X													
1901	2302											X		X		X													
Valle	2302												X		X		X												
2301	2302												X	X		X													
Valle norte	2302													X		X													
2506	2302														X	X													
2302	2302															X													
Cauca Norte	2302											X		X		X	X												
2504	2302											X		X		X	X	X											
Popayán	2302											X		X		X	X	X	X										

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
2503	2302										X		X		X	X	X	X	X										
2602	2302										X		X		X	X	X	X	X	X	X								
Cauca Sur	2302										X		X		X	X	X	X	X	X		X							
Nariño norte	2302										X		X		X	X	X	X	X	X			X						
2502	2302										X		X		X	X	X	X	X	X				X					
Pasto	2302										X		X		X	X	X	X	X	X				X	X				
2501	2302										X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X			
Nariño sur	2302										X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X		
1002	2302										X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
1001	2302										X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
amazónica	2302										X		X		X	X	X	X	X	X				X	X				
Andina	2302												X		X														
Caribe	2302												X		X														
Orinoquia	2302												X		X														
4001	2501								X	X	X					X	X	X	X	X				X	X	X			
5002	2501				X						X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X			
Choco	2501				X	X					X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X			
6002	2501						X	X			X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X			
6003	2501							X			X		X		X	X	X	X	X	X				X	X	X			
1901	2501									X	X					X	X	X	X	X				X	X	X			
Valle	2501										X					X	X	X	X	X				X	X	X			
2301	2501											X				X	X	X	X	X				X	X	X			
Valle norte	2501												X			X	X	X	X	X				X	X	X			
2506	2501													X		X	X	X	X	X				X	X	X			
2302	2501														X	X	X	X	X	X				X	X	X			
Cauca Norte	2501															X	X	X	X	X				X	X	X			
2504	2501																X	X	X	X				X	X	X			
Popayán	2501																	X	X	X				X	X	X			
2503	2501																			X				X	X	X			
2602	2501																				X			X	X	X			
Cauca Sur	2501																						X	X	X	X	X		
Nariño norte	2501																							X		X	X		
2502	2501																							X	X	X			
Pasto	2501																								X	X			
2501	2501																										X		
Nariño sur	2501																										X	X	
1002	2501																									X	X	X	
1001	2501																									X	X	X	X
amazónica	2501																										X		
Andina	2501										X		X	X		X	X	X	X	X				X	X	X			

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
TRAMO INICIO	TRAMO FIN																												
Caribe	2501										X		X	X		X	X	X	X				X	X	X				
Orinoquia	2501										X		X	X		X	X	X	X				X	X	X				
4001	2502								X	X	X					X	X	X	X				X						
5002	2502				X						X		X		X	X	X	X	X				X						
Choco	2502				X	X					X		X		X	X	X	X	X				X						
6002	2502						X	X			X		X		X	X	X	X	X				X						
6003	2502							X			X		X		X	X	X	X	X				X						
1901	2502									X	X					X	X	X	X				X						
Valle	2502										X					X	X	X	X				X						
2301	2502											X				X	X	X	X				X						
Valle norte	2502												X			X	X	X	X				X						
2506	2502													X		X	X	X	X				X						
2302	2502														X	X	X	X	X				X						
Cauca Norte	2502															X	X	X	X				X						
2504	2502																X	X	X				X						
Popayán	2502																		X	X			X						
2503	2502																			X			X						
2602	2502																				X		X						
Cauca Sur	2502																					X		X					
Nariño norte	2502																						X	X					
2502	2502																						X						
Pasto	2502																						X	X					
2501	2502																						X	X	X				
Nariño sur	2502																						X	X	X	X			
1002	2502																						X	X	X	X	X		
1001	2502																						X	X	X	X	X	X	
amazónica	2502																						X	X					
Andina	2502										X		X	X		X	X	X	X				X						
Caribe	2502										X		X	X		X	X	X	X				X						
Orinoquia	2502										X		X	X		X	X	X	X				X						
4001	2503								X	X	X					X	X	X	X										
5002	2503				X						X		X		X	X	X	X	X										
Choco	2503				X	X					X		X		X	X	X	X	X										
6002	2503						X	X			X		X		X	X	X	X	X										
6003	2503							X			X		X		X	X	X	X	X										
1901	2503									X	X					X	X	X	X										
Valle	2503										X					X	X	X	X										
2301	2503											X				X	X	X	X										
Valle norte	2503												X			X	X	X	X										
2506	2503													X		X	X	X	X										
2302	2503														X	X	X	X	X										

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
Cauca Norte	2503															X	X	X	X										
2504	2503																X	X	X										
Popayán	2503																		X	X									
2503	2503																			X									
2602	2503																			X	X								
Cauca Sur	2503																			X		X							
Nariño norte	2503																			X			X						
2502	2503																			X				X					
Pasto	2503																			X				X	X				
2501	2503																			X				X	X	X			
Nariño sur	2503																			X				X	X	X	X		
1002	2503																			X				X	X	X	X	X	
1001	2503																			X				X	X	X	X	X	X
amazónica	2503																			X	X			X	X				
Andina	2503										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Caribe	2503										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Orinoquia	2503										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
4001	2504								X	X	X					X	X												
5002	2504				X						X		X	X	X	X	X												
Choco	2504				X	X					X		X	X	X	X	X												
6002	2504						X	X			X		X	X	X	X	X												
6003	2504							X			X		X	X	X	X	X												
1901	2504									X	X					X	X												
Valle	2504										X					X	X												
2301	2504										X					X	X												
Valle norte	2504											X				X	X												
2506	2504												X			X	X												
2302	2504														X	X	X												
Cauca Norte	2504															X	X												
2504	2504																X												
Popayán	2504																X	X											
2503	2504															X	X	X											
2602	2504															X	X	X	X										
Cauca Sur	2504															X	X	X		X									
Nariño norte	2504															X	X	X				X							
2502	2504															X	X	X					X						
Pasto	2504															X	X	X					X	X					
2501	2504															X	X	X					X	X	X				
Nariño sur	2504															X	X	X					X	X	X	X			

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
TRAMO INICIO	TRAMO FIN																												
1002	2504																X	X	X				X	X	X	X	X		
1001	2504																X	X	X				X	X	X	X	X	X	
amazónica	2504																X	X	X				X	X					
Andina	2504										X		X	X		X	X												
Caribe	2504										X		X	X		X	X												
Orinoquia	2504										X		X	X		X	X												
4001	2506								X				X	X															
5002	2506				X								X	X															
Choco	2506				X	X							X	X															
6002	2506						X	X					X	X															
6003	2506							X					X	X															
1901	2506									X			X	X															
Valle	2506										X		X	X															
2301	2506											X	X	X															
Valle norte	2506												X	X															
2506	2506													X															
2302	2506													X	X														
Cauca Norte	2506										X		X	X		X													
2504	2506										X		X	X		X	X												
Popayán	2506										X		X	X		X	X	X											
2503	2506										X		X	X		X	X	X	X										
2602	2506										X		X	X		X	X	X	X	X		X							
Cauca Sur	2506										X		X	X		X	X	X	X			X							
Nariño norte	2506										X		X	X		X	X	X	X				X						
2502	2506										X		X	X		X	X	X	X				X						
Pasto	2506										X		X	X		X	X	X	X				X	X					
2501	2506										X		X	X		X	X	X	X				X	X	X				
Nariño sur	2506										X		X	X		X	X	X	X				X	X	X	X			
1002	2506										X		X	X		X	X	X	X				X	X	X	X	X		
1001	2506										X		X	X		X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	
amazónica	2506										X		X	X		X	X	X	X				X	X					
Andina	2506													X															
Caribe	2506													X															
Orinoquia	2506													X															
4001	2602								X	X	X					X	X	X				X							
5002	2602				X						X		X		X	X	X	X				X							
Choco	2602				X	X					X		X		X	X	X	X				X							
6002	2602						X	X			X		X		X	X	X	X				X							
6003	2602							X			X		X		X	X	X	X				X							
1901	2602									X	X					X	X	X				X							
Valle	2602										X					X	X	X				X							
2301	2602											X				X	X	X				X							

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																												
TRAMO INICIO	TRAMO FIN	Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001	
Valle norte	2602													X			X	X	X		X									
2506	2602														X		X	X	X		X									
2302	2602															X	X	X	X		X									
Cauca Norte	2602																X	X	X		X									
2504	2602																	X	X		X									
Popayán	2602																		X		X									
2503	2602																			X	X									
2602	2602																				X									
Cauca Sur	2602																					X	X							
Nariño norte	2602																			X	X	X	X	X						
2502	2602																			X	X	X			X					
Pasto	2602																			X	X	X			X	X				
2501	2602																			X	X	X			X	X	X			
Nariño sur	2602																			X	X	X			X	X	X	X		
1002	2602																			X	X	X			X	X	X	X	X	
1001	2602																			X	X	X			X	X	X	X	X	X
amazónica	2602																			X		X			X	X				
Andina	2602											X		X	X		X	X	X		X									
Caribe	2602											X		X	X		X	X	X		X									
Orinoquia	2602											X		X	X		X	X	X		X									
4001	4001									X																				
5002	4001				X					X	X			X		X														
Choco	4001				X	X				X	X			X		X														
6002	4001						X	X	X	X	X			X		X														
6003	4001							X	X	X	X			X		X														
1901	4001									X	X																			
Valle	4001									X		X																		
2301	4001									X			X																	
Valle norte	4001									X	X			X																
2506	4001									X	X				X															
2302	4001									X	X					X														
Cauca Norte	4001									X	X	X					X													
2504	4001									X	X	X					X	X												
Popayán	4001									X	X	X					X	X	X											
2503	4001									X	X	X					X	X	X	X										
2602	4001									X	X	X					X	X	X	X	X									
Cauca Sur	4001									X	X	X					X	X	X	X			X							
Nariño norte	4001									X	X	X					X	X	X	X				X						
2502	4001									X	X	X					X	X	X	X				X						

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
TRAMO INICIO	TRAMO FIN	Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
Pasto	4001									X	X	X					X	X	X	X				X	X				
2501	4001									X	X	X					X	X	X	X				X	X	X			
Nariño sur	4001									X	X	X					X	X	X	X				X	X	X	X		
1002	4001									X	X	X					X	X	X	X				X	X	X	X	X	
1001	4001									X	X	X					X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
amazónica	4001									X	X	X					X	X	X	X				X	X				
Andina	4001									X		X		X	X														
Caribe	4001									X		X		X	X														
Orinoquia	4001									X		X		X	X														
	4001					X				X				X		X													
	5002					X								X															
	5002					X																							
Choco	5002					X	X																						
6002	5002					X	X	X																					
6003	5002					X	X	X	X																				
1901	5002					X					X			X		X													
Valle	5002					X						X		X		X													
2301	5002					X							X	X		X													
Valle norte	5002					X								X		X													
2506	5002					X									X														
2302	5002					X										X													
Cauca Norte	5002					X						X		X	X		X												
2504	5002					X						X		X	X		X	X											
Popayán	5002					X						X		X	X		X	X	X										
2503	5002					X						X		X	X		X	X	X	X									
2602	5002					X						X		X	X		X	X	X	X	X	X							
Cauca Sur	5002					X						X		X	X		X	X	X	X			X						
Nariño norte	5002					X						X		X	X		X	X	X	X				X					
2502	5002					X						X		X	X		X	X	X	X					X				
Pasto	5002					X						X		X	X		X	X	X	X					X	X			
2501	5002					X						X		X	X		X	X	X	X					X	X	X		
Nariño sur	5002					X						X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	
1002	5002					X						X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	X
1001	5002					X						X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	X
amazónica	5002					X						X		X		X	X	X	X	X					X	X			
Andina	5002					X																							
Caribe	5002					X																							
Orinoquia	5002					X																							
4001	6002							X	X	X				X		X													
5002	6002					X	X	X																					
Choco	6002						X	X																					
6002	6002						X																						

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
6003	6002						X	X																					
1901	6002						X	X		X			X		X														
Valle	6002						X	X			X		X		X														
2301	6002						X	X				X	X		X														
Valle norte	6002						X	X					X		X														
2506	6002						X	X							X														
2302	6002						X	X								X													
Cauca Norte	6002						X	X			X		X	X		X													
2504	6002						X	X			X		X	X		X	X												
Popayán	6002						X	X			X		X	X		X	X	X											
2503	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X										
2602	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X	X		X							
Cauca Sur	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X			X							
Nariño norte	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X				X						
2502	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X					X					
Pasto	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X					X	X				
2501	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X					X	X	X			
Nariño sur	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X		
1002	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	
1001	6002						X	X			X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
amazónica	6002						X	X			X		X		X	X	X	X	X					X	X				
Andina	6002						X	X																					
Caribe	6002						X	X																					
Orinoquia	6002						X	X																					
4001	6003								X					X		X													
5002	6003					X	X	X	X																				
Choco	6003						X	X	X																				
6002	6003						X	X																					
6003	6003							X																					
1901	6003							X			X			X		X													
Valle	6003							X			X			X		X													
2301	6003							X				X	X		X														
Valle norte	6003							X					X		X														
2506	6003							X							X														
2302	6003							X								X													
Cauca Norte	6003							X			X		X	X		X													
2504	6003							X			X		X	X		X	X												
Popayán	6003							X			X		X	X		X	X	X											
2503	6003							X			X		X	X		X	X	X	X										
2602	6003							X			X		X	X		X	X	X	X	X		X							

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
Nariño norte	amazónica	X																					X						
2502	amazónica	X																						X					
Pasto	amazónica	X																							X				
2501	amazónica	X																							X	X			
Nariño sur	amazónica	X																							X	X	X		
1002	amazónica	X																							X	X	X	X	
1001	amazónica	X																							X	X	X	X	X
amazónica	amazónica	X																											
Andina	amazónica	X										X	X			X	X	X	X					X	X				
Caribe	amazónica	X										X	X			X	X	X	X					X	X				
Orinoquia	amazónica	X										X	X			X	X	X	X					X	X				
4001	Andina		X						X				X	X															
5002	Andina		X		X																								
Choco	Andina		X			X																							
6002	Andina		X				X	X																					
6003	Andina		X					X																					
1901	Andina		X							X			X	X															
Valle	Andina		X								X		X	X															
2301	Andina		X									X	X	X															
Valle norte	Andina		X										X	X															
2506	Andina		X											X															
2302	Andina		X												X														
Cauca Norte	Andina		X										X			X													
2504	Andina		X									X	X			X	X												
Popayán	Andina		X									X	X			X	X	X											
2503	Andina		X									X	X			X	X	X	X										
2602	Andina		X									X	X			X	X	X	X	X									
Cauca Sur	Andina		X									X	X			X	X	X	X				X						
Nariño norte	Andina		X									X	X			X	X	X	X					X					
2502	Andina		X									X	X			X	X	X	X					X					
Pasto	Andina		X									X	X			X	X	X	X					X	X				
2501	Andina		X									X	X			X	X	X	X					X	X	X			
Nariño sur	Andina		X									X	X			X	X	X	X					X	X	X	X		
1002	Andina		X									X	X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	
1001	Andina		X									X	X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	X

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																										
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002
amazónica	Andina		X								X		X			X	X	X	X					X	X			
Andina	Andina		X																									
Caribe	Andina		X																									
Orinoquia	Andina		X																									
4001	Caribe			X					X				X	X														
5002	Caribe			X		X	X	X	X																			
Choco	Caribe			X			X	X	X																			
6002	Caribe			X				X	X																			
6003	Caribe			X					X																			
1901	Caribe			X						X			X	X														
Valle	Caribe			X							X		X	X														
2301	Caribe			X								X	X	X														
Valle norte	Caribe			X									X	X														
2506	Caribe			X										X														
2302	Caribe			X											X													
Cauca Norte	Caribe			X						X		X	X		X													
2504	Caribe			X						X		X	X		X	X												
Popayán	Caribe			X						X		X	X		X	X	X											
2503	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X										
2602	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X	X									
Cauca Sur	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X			X							
Nariño norte	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X					X					
2502	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X						X				
Pasto	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X						X	X			
2501	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X						X	X	X		
Nariño sur	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X						X	X	X	X	
1002	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X						X	X	X	X	X
1001	Caribe			X						X		X	X		X	X	X	X						X	X	X	X	X
amazónica	Caribe			X						X		X		X	X	X	X	X						X	X			
Andina	Caribe			X																								
Caribe	Caribe			X																								
Orinoquia	Caribe			X																								
4001	Cauca Norte								X	X	X					X												
5002	Cauca Norte					X				X		X		X	X													
Choco	Cauca Norte					X	X			X		X		X	X													
6002	Cauca Norte							X	X		X		X		X	X												
6003	Cauca Norte							X			X		X		X	X												

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
1901	Cauca Norte									X	X					X													
Valle	Cauca Norte										X					X													
2301	Cauca Norte											X				X													
Valle norte	Cauca Norte												X			X													
2506	Cauca Norte													X		X													
2302	Cauca Norte														X	X													
Cauca Norte	Cauca Norte															X													
2504	Cauca Norte															X	X												
Popayán	Cauca Norte															X	X	X											
2503	Cauca Norte															X	X	X	X										
2602	Cauca Norte															X	X	X	X	X									
Cauca Sur	Cauca Norte															X	X	X	X			X							
Nariño norte	Cauca Norte															X	X	X	X				X						
2502	Cauca Norte															X	X	X	X					X					
Pasto	Cauca Norte															X	X	X	X					X	X				
2501	Cauca Norte															X	X	X	X					X	X	X			
Nariño sur	Cauca Norte															X	X	X	X					X	X	X	X		
1002	Cauca Norte															X	X	X	X					X	X	X	X	X	
1001	Cauca Norte															X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
amazónica	Cauca Norte															X	X	X	X					X	X				
Andina	Cauca Norte											X	X	X		X													
Caribe	Cauca Norte										X	X	X		X														
Orinoquia	Cauca Norte										X	X	X		X														
4001	Cauca Sur								X	X	X					X	X	X	X			X							
5002	Cauca Sur				X						X		X	X	X	X	X	X	X			X							
Choco	Cauca Sur				X	X					X		X	X	X	X	X	X	X			X							

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		AMAZÓNICA	ANDINA	CARIBE	ORINOQUIA	5002	CHOCO	6002	6003	4001	1901	VALLE	2301	VALLE NORTE	2506	2302	CAUCA NORTE	2504	POPAYÁN	2503	2602	CAUCA SUR	NARIÑO NORTE	2502	PASTO	2501	NARIÑO SUR	1002	1001
6002	Cauca Sur						X	X			X		X		X	X	X	X	X	X		X							
6003	Cauca Sur							X			X		X		X	X	X	X	X	X		X							
1901	Cauca Sur									X	X					X	X	X	X	X		X							
Valle	Cauca Sur										X					X	X	X	X	X		X							
2301	Cauca Sur											X				X	X	X	X	X		X							
Valle norte	Cauca Sur												X			X	X	X	X	X		X							
2506	Cauca Sur													X		X	X	X	X	X		X							
2302	Cauca Sur														X	X	X	X	X	X		X							
Cauca Norte	Cauca Sur															X	X	X	X	X		X							
2504	Cauca Sur																X	X	X	X		X							
Popayán	Cauca Sur																		X	X		X							
2503	Cauca Sur																			X		X							
2602	Cauca Sur																				X	X							
Cauca Sur	Cauca Sur																						X						
Nariño norte	Cauca Sur																						X	X					
2502	Cauca Sur																						X		X				
Pasto	Cauca Sur																						X	X		X			
2501	Cauca Sur																						X	X		X	X		
Nariño sur	Cauca Sur																						X	X		X	X	X	
1002	Cauca Sur																						X	X		X	X	X	X
1001	Cauca Sur																						X	X		X	X	X	X
amazónica	Cauca Sur																						X	X		X			
Andina	Cauca Sur											X	X	X		X	X	X	X	X		X							
Caribe	Cauca Sur											X	X	X		X	X	X	X	X		X							
Orinoquia	Cauca Sur											X	X	X		X	X	X	X	X		X							
4001	Choco					X	X			X			X		X														
5002	Choco					X	X																						
Choco	Choco					X																							

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																												
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001	
TRAMO INICIO	TRAMO FIN																													
6002	Choco					X	X																							
6003	Choco					X	X	X																						
1901	Choco				X	X				X			X		X															
Valle	Choco				X	X					X		X		X															
2301	Choco				X	X						X	X		X															
Valle norte	Choco				X	X							X		X															
2506	Choco				X	X								X																
2302	Choco				X	X									X															
Cauca Norte	Choco				X	X					X		X	X		X														
2504	Choco				X	X					X		X	X		X	X													
Popayán	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X												
2503	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X											
2602	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X	X									
Cauca Sur	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X		X								
Nariño norte	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X			X							
2502	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X				X						
Pasto	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X				X	X					
2501	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X				X	X	X				
Nariño sur	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X				X	X	X	X			
1002	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X				X	X	X	X	X		
1001	Choco				X	X					X		X	X		X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	
amazónica	Choco				X	X					X		X		X	X	X	X	X	X				X	X					
Andina	Choco					X	X	X																						
Caribe	Choco					X	X	X																						
Orinoquia	Choco					X	X	X																						
4001	Nariño norte									X	X	X				X	X	X	X				X							
5002	Nariño norte				X						X		X		X	X	X	X	X				X							
Choco	Nariño norte				X	X					X		X		X	X	X	X	X				X							
6002	Nariño norte							X	X		X		X		X	X	X	X	X				X							
6003	Nariño norte							X			X		X		X	X	X	X	X				X							
1901	Nariño norte									X	X					X	X	X	X				X							
Valle	Nariño norte										X					X	X	X	X				X							
2301	Nariño norte											X				X	X	X	X				X							
Valle norte	Nariño norte											X				X	X	X	X				X							

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
TRAMO INICIO	TRAMO FIN																												
2506	Nariño norte													X		X	X	X	X				X						
2302	Nariño norte														X	X	X	X	X				X						
Cauca Norte	Nariño norte															X	X	X	X				X						
2504	Nariño norte																X	X	X				X						
Popayán	Nariño norte																	X	X				X						
2503	Nariño norte																		X				X						
2602	Nariño norte																				X		X						
Cauca Sur	Nariño norte																					X	X						
Nariño norte	Nariño norte																						X						
2502	Nariño norte																						X	X					
Pasto	Nariño norte																						X		X				
2501	Nariño norte																						X		X	X			
Nariño sur	Nariño norte																						X		X	X	X		
1002	Nariño norte																						X		X	X	X	X	
1001	Nariño norte																						X		X	X	X	X	
amazónica	Nariño norte																						X		X				
Andina	Nariño norte										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Caribe	Nariño norte									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Orinoquia	Nariño norte									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
4001	Nariño sur							X	X	X						X	X	X	X				X	X	X	X			
5002	Nariño sur				X					X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X			
Choco	Nariño sur				X	X				X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X			
6002	Nariño sur						X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X			
6003	Nariño sur							X		X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X			
1901	Nariño sur								X	X						X	X	X	X				X	X	X	X			
Valle	Nariño sur									X						X	X	X	X				X	X	X	X			

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																														
		TRAMO INICIO	TRAMO FIN	Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001	
2301	Nariño sur													X				X	X	X	X					X	X	X	X			
Valle norte	Nariño sur														X			X	X	X	X					X	X	X	X			
2506	Nariño sur															X		X	X	X	X					X	X	X	X			
2302	Nariño sur																X	X	X	X	X					X	X	X	X			
Cauca Norte	Nariño sur																	X	X	X	X					X	X	X	X			
2504	Nariño sur																		X	X	X					X	X	X	X			
Popayán	Nariño sur																			X	X					X	X	X	X			
2503	Nariño sur																				X					X	X	X	X			
2602	Nariño sur																						X			X	X	X	X			
Cauca Sur	Nariño sur																							X	X	X	X	X	X			
Nariño norte	Nariño sur																								X		X	X	X			
2502	Nariño sur																									X	X	X	X			
Pasto	Nariño sur																										X	X	X			
2501	Nariño sur																											X	X			
Nariño sur	Nariño sur																												X			
1002	Nariño sur																												X	X		
1001	Nariño sur																											X	X	X	X	
amazónica	Nariño sur																											X	X			
Andina	Nariño sur												X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X			
Caribe	Nariño sur												X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X			
Orinoquia	Nariño sur												X		X	X		X	X	X	X					X	X	X	X			
4001	Orinoquia				X						X		X		X																	
5002	Orinoquia				X	X																										
Choco	Orinoquia				X		X																									
6002	Orinoquia				X			X	X																							
6003	Orinoquia				X				X																							

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
1901	Orinoquia				X					X	X		X																
Valle	Orinoquia				X						X		X																
2301	Orinoquia				X							X	X																
Valle norte	Orinoquia				X								X																
2506	Orinoquia				X									X															
2302	Orinoquia				X										X														
Cauca Norte	Orinoquia				X						X		X			X													
2504	Orinoquia				X						X		X			X	X												
Popayán	Orinoquia				X						X		X			X	X	X											
2503	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X										
2602	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X	X	X								
Cauca Sur	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X			X							
Nariño norte	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X				X						
2502	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X					X					
Pasto	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X					X	X				
2501	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X					X	X	X			
Nariño sur	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X					X	X	X	X		
1002	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	
1001	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
amazónica	Orinoquia				X						X		X			X	X	X	X					X	X				
Andina	Orinoquia				X																								
Caribe	Orinoquia				X																								
Orinoquia	Orinoquia				X																								
4001	Pasto									X	X	X				X	X	X	X					X	X				
5002	Pasto				X						X		X		X	X	X	X	X					X	X				
Choco	Pasto				X	X					X		X		X	X	X	X	X					X	X				
6002	Pasto						X	X			X		X		X	X	X	X	X					X	X				
6003	Pasto							X			X		X		X	X	X	X	X					X	X				
1901	Pasto									X	X					X	X	X	X					X	X				

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																										
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002
Valle	Pasto										X					X	X	X	X				X	X				
2301	Pasto											X				X	X	X	X				X	X				
Valle norte	Pasto												X			X	X	X	X				X	X				
2506	Pasto													X		X	X	X	X				X	X				
2302	Pasto														X	X	X	X	X				X	X				
Cauca Norte	Pasto															X	X	X	X				X	X				
2504	Pasto																X	X	X				X	X				
Popayán	Pasto																		X	X			X	X				
2503	Pasto																			X			X	X				
2602	Pasto																				X		X	X				
Cauca Sur	Pasto																					X	X		X			
Nariño norte	Pasto																						X		X			
2502	Pasto																							X	X			
Pasto	Pasto																								X			
2501	Pasto																								X	X		
Nariño sur	Pasto																								X	X	X	
1002	Pasto																								X	X	X	X
1001	Pasto																								X	X	X	X
amazónica	Pasto																								X			
Andina	Pasto										X		X	X		X	X	X	X					X	X			
Caribe	Pasto										X		X	X		X	X	X	X					X	X			
Orinoquia	Pasto										X		X	X		X	X	X	X					X	X			
4001	Popayán								X	X	X					X	X	X										
5002	Popayán				X						X		X		X	X	X	X										
Choco	Popayán				X	X					X		X		X	X	X	X										
6002	Popayán						X	X			X		X		X	X	X	X										
6003	Popayán							X			X		X		X	X	X	X										
1901	Popayán									X	X					X	X	X										
Valle	Popayán										X					X	X	X										
2301	Popayán											X				X	X	X										
Valle norte	Popayán												X			X	X	X										
2506	Popayán													X		X	X	X										
2302	Popayán														X	X	X	X										

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
Cauca Norte	Popayán															X	X	X											
2504	Popayán																	X	X										
Popayán	Popayán																		X										
2503	Popayán																		X	X									
2602	Popayán																		X	X	X								
Cauca Sur	Popayán																		X	X		X							
Nariño norte	Popayán																		X	X			X						
2502	Popayán																		X	X				X					
Pasto	Popayán																		X	X				X	X				
2501	Popayán																		X	X				X	X	X			
Nariño sur	Popayán																		X	X				X	X	X	X		
1002	Popayán																		X	X				X	X	X	X	X	
1001	Popayán																		X	X				X	X	X	X	X	X
amazónica	Popayán																		X	X				X	X				
Andina	Popayán											X	X	X		X	X	X											
Caribe	Popayán										X	X	X		X	X	X												
Orinoquia	Popayán										X	X	X		X	X	X												
4001	Valle								X	X	X																		
5002	Valle				X						X	X	X																
Choco	Valle				X	X					X	X	X																
6002	Valle						X	X			X	X	X																
6003	Valle							X			X	X	X																
1901	Valle									X	X	X																	
Valle	Valle										X																		
2301	Valle										X	X																	
Valle norte	Valle										X		X																
2506	Valle										X			X															
2302	Valle										X				X														
Cauca Norte	Valle										X					X													
2504	Valle										X				X	X													
Popayán	Valle										X					X	X	X											
2503	Valle										X					X	X	X	X										

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
2602	Valle										X					X	X	X	X	X	X								
Cauca Sur	Valle										X					X	X	X	X			X							
Nariño norte	Valle										X					X	X	X	X				X						
2502	Valle										X					X	X	X	X					X					
Pasto	Valle										X					X	X	X	X					X	X				
2501	Valle										X					X	X	X	X					X	X	X			
Nariño sur	Valle										X					X	X	X	X					X	X	X	X		
1002	Valle										X					X	X	X	X					X	X	X	X	X	
1001	Valle										X					X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
amazónica	Valle										X					X	X	X	X					X	X				
Andina	Valle										X		X	X															
Caribe	Valle										X		X	X															
Orinoquia	Valle										X		X	X															
4001	Valle norte										X		X																
5002	Valle norte				X								X		X														
Choco	Valle norte				X	X							X		X														
6002	Valle norte						X	X					X		X														
6003	Valle norte							X					X		X														
1901	Valle norte										X		X																
Valle	Valle norte										X		X																
2301	Valle norte											X	X																
Valle norte	Valle norte												X																
2506	Valle norte												X	X															
2302	Valle norte												X		X														
Cauca Norte	Valle norte											X	X			X													
2504	Valle norte											X	X			X	X												
Popayán	Valle norte											X	X			X	X	X											
2503	Valle norte											X	X			X	X	X	X										
2602	Valle norte											X	X			X	X	X	X	X		X							
Cauca Sur	Valle norte											X	X			X	X	X	X				X						

i	j	TRAMO POR EVALUAR (x)																											
		Amazónica	Andina	Caribe	Orinoquia	5002	Choco	6002	6003	4001	1901	Valle	2301	Valle norte	2506	2302	Cauca Norte	2504	Popayán	2503	2602	Cauca Sur	Nariño norte	2502	Pasto	2501	Nariño sur	1002	1001
Nariño norte	Valle norte										X		X			X	X	X	X				X						
2502	Valle norte										X		X			X	X	X	X					X					
Pasto	Valle norte										X		X			X	X	X	X					X	X				
2501	Valle norte										X		X			X	X	X	X					X	X	X			
Nariño sur	Valle norte										X		X			X	X	X	X					X	X	X	X		
1002	Valle norte										X		X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	
1001	Valle norte										X		X			X	X	X	X					X	X	X	X	X	X
amazónica	Valle norte										X		X			X	X	X	X					X	X				
Andina	Valle norte												X	X															
Caribe	Valle norte												X	X															
Orinoquia	Valle norte												X	X															