

ACCESIBILIDAD DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ ESPECIAL DEL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO A EQUIPAMIENTOS PORTUARIOS

ERASO UMAÑA DANIELA
ROMO RIVERA DAVID

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2024

ACCESIBILIDAD DE LAS ZONAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ ESPECIAL DEL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO A EQUIPAMIENTOS PORTUARIOS

ERASO UMAÑA DANIELA
ROMO RIVERA DAVID

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:
DANIEL MAURICIO GOYES CHAVES DR(C).

CODIRECTOR:
CIRO JARAMILLO MOLINA DR.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2024

Nota de aceptación

Director

Director

Jurado

Jurado

Dedicatoria:

A mis padres por su gran apoyo, amor y sacrificio para alcanzar este logro. A mi tía Magna Campiño por su sabiduría y amor los cuales ayudaron a mi crecimiento como persona. Mi prima, Alejandra Umaña por su amistad y compañía a lo largo de todos estos años en la academia. Mi amigo, David Guerrero por ser incondicional y brindar tanto cariño día a día.

A los profesores Ciro Jaramillo, Ricardo Ramírez y Lina Ospina por su dedicación y pasión por enseñar, despertando más mi genuino interés por la carrera.

Daniela Eraso Umaña

Dedicatoria:

Dedicado al café, mi combustible e inspiración en este trabajo y todas las personas que me han apoyado en este proceso. En primer lugar, a mi madre, por su apoyo y cuidados incondicionales diarios; a mi padre, mis hermanos; y a mi abuela querida, Isabel, quien fue mi motor y la persona que más me apoyó en la vida. Sé que desde donde esté, estará orgullosa de todo lo que he logrado.

También, dedico este producto de mi vida profesional a mis docentes: al profesor Ciro Jaramillo, por su variado apoyo; al profesor Ricardo Ramirez, un pilar en mi formación que nunca se rindió conmigo; a los profesores Katherine Posso, Lina Ospina, Jorge Latorre, Carlos Manrique y Diego Duque, por hacer que me enamore de mi carrera a través de sus asignaturas.

David Romo Rivera

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a nuestros tutores en el camino para el desarrollo de este proyecto, el profesor Dr. Ciro Jaramillo M, por su guía en el tiempo dedicado a este trabajo, por su paciencia, comprensión, oratoria y compromiso, cada consejo, cada gota de conocimiento que compartió con nosotros y este proyecto; Con el Ingeniero Dr. (C). Daniel Goyes C. quien con su creatividad, persistencia y compromiso contribuyo al desarrollo de cada uno de los ítems presentados. Así mismo, a nuestros padres Edelka Umaña, María Isabel Rivera, Omar Romo, Edwin Eraso e Isabel Peñaloza quienes con sus sacrificios hemos podido llegar a este momento, nos formaron, motivaron e impulsaron para encontrar nuestra pasión, inspirándonos cada día para ser excelentes profesionales y mejores personas, a nuestros amigos y amigas, Lizeth Pineda, Luz Parra, Alejandra Acevedo, Juan Ramírez, Lizeth Martínez y Luisa Rivas así como, la planta educativa de la Universidad del Valle, quienes nos formaron no solo académicamente sino también que forjaron nuestra personalidad y carácter.

De no ser por estas personas no habría sido posible lo que hoy este contenido en este trabajo, en quienes somos ahora y quienes seremos mañana; Es por ello y mucho más que les agradecemos infinitamente.

Daniela Eraso & David Romo

RESUMEN

El café especial del Departamento de Nariño es reconocido nacional e internacionalmente por su calidad y sabor, debido a las condiciones climáticas y geográficas de la región, y a la dedicación de sus caficultores para su producción. No obstante, su comercialización presenta desafíos debido a la falta de infraestructura de transporte y equipamientos logísticos adecuados para el desarrollo y el bienestar económico regional. La vulnerabilidad del departamento quedó en evidencia con el deslizamiento en Rosas, Cauca, en 2023, que causó altas pérdidas económicas y obligó a tomar rutas alternativas riesgosas, como la del conocido “Trampolín de la Muerte” que conecta Nariño con Putumayo, Huila y Cauca hacia el resto del país, afectando aún más la economía local.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar los niveles de accesibilidad de las zonas de producción de café especial en el departamento de Nariño hacia las terminales portuarias destinadas a la exportación, utilizando la infraestructura vial existente. El estudio se desarrolló en cuatro fases clave: Fase preliminar, para recopilación, revisión y ajuste de información espacial y alfanumérica. Fase de caracterización, para identificar y describir el área de estudio. Posterior, una fase de estimación de accesibilidad, donde se modelan los indicadores de accesibilidad utilizando herramientas tecnológicas como Sistemas de Información Geográfica (SIG) y métodos geoestadísticos, incluyendo la interpolación por Ponderación de Distancia Inversa (IDW) para generar superficies continuas y curvas de iso-accesibilidad e isócronas y, por último, una fase de evaluación, donde se analizan y valoran los resultados obtenidos.

Los resultados de este estudio permitieron identificar las zonas de producción con ventajas y desventajas en transporte y distribución del café especial hacia los puertos. Entre las ventajas se destacan los cortos tiempos de viaje hacia las vías principales, lo que permite un mejor rendimiento en la distribución del producto. Por otro lado, varias desventajas están relacionadas con la condición de las carreteras debido a la falta de mantenimiento, su propio diseño y la topografía donde se encuentran, así como, la distancia hacia las principales rutas de transporte y distribución del café. Estos resultados contribuyen a la toma de decisiones para el desarrollo de la infraestructura de transporte y la planificación de trayectos, lo que beneficia a productores y distribuidores. Esto, a su vez, promueve el desarrollo agropecuario en el departamento, así como las oportunidades de exportación y el desarrollo económico local y regional.

Palabras clave: Accesibilidad, café especial, Nariño, SIG, infraestructura de transporte, puertos marítimos.

ABSTRACT

Specialty coffee from the Department of Nariño is highly regarded both nationally and internationally for its outstanding quality and flavor. This recognition stems from the region's unique climatic and geographical conditions, as well as the dedication of its coffee growers. However, the commercialization of this coffee faces significant challenges due to inadequate transportation infrastructure and logistical equipment, which are crucial for regional development and economic well-being. The department's vulnerability was starkly highlighted by the 2023 landslide in Rosas, Cauca, which resulted in substantial economic losses and forced the use of risky alternate routes, such as the notorious "Trampoline of Death" that connects Nariño with Putumayo, Huila, and Cauca, further straining the local economy.

The main objective of this research was to assess the accessibility of specialty coffee production areas in Nariño to port terminals used for export, based on the existing road infrastructure. The study followed four key phases: Preliminary phase, collection, review, and adjustment of spatial and alphanumeric data. Characterization phase, identification and detailed description of the study area. Accessibility estimation phase, for modeling accessibility indicators using Geographic Information Systems (GIS) and geostatistical methods, including Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation to generate continuous surfaces and isoaccessibility and isochronous curves. And for the last, Evaluation phase, analysis and assessment of the results.

The study's findings highlighted both advantages and disadvantages in the transportation and distribution of specialty coffee to ports. Advantages include shorter travel times to major roads, which improves the efficiency of product distribution. On the other hand, challenges are linked to road conditions, including poor maintenance, unsuitable design, and the difficult topography, as well as the distance to key transport routes. These insights are crucial for guiding decisions on transportation infrastructure development and route planning, benefiting both producers and distributors. Ultimately, the study supports agricultural development in the department and enhances export opportunities, contributing to local and regional economic growth.

Keywords: Accessibility, special coffee, Nariño, GIS, transportation infrastructure, seaports.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	17
3.2. JUSTIFICACIÓN	21
4. MARCO CONTEXTUAL	24
4.1. MARCO CONCEPTUAL.....	24
4.1.1. Café especial:	24
4.1.2. Centros de producción:	24
4.1.3. Producción agrícola:	24
4.1.4. Infraestructura:	25
4.1.5. Puertos marítimos:	25
4.1.6. Transporte:.....	25
4.1.7. Información ráster:	25
4.1.8. Información vectorial:	26
4.1.9. Geocodificación:	26
4.1.10. Interpolación:	26
4.1.11. Uso del suelo:	26
4.1.12. Centro de almacenamiento:	27
4.1.13. Centro de distribución:	27
4.1.14. Sistema de Información Geográfica (SIG):	27
4.1.15. Nodo:	27
4.1.16. Redes viales:	28
4.1.17. Accesibilidad:	28
4.1.18. Índices de Accesibilidad:.....	28
4.1.19. Cartografía temática:.....	28
4.2. MARCO TEÓRICO	29

4.3.	MARCO REFERENCIAL	32
5.	METODOLOGÍA.....	38
5.1.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	41
5.2.	ZONIFICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	41
5.3.	EQUIPAMENTOS PORTUARIOS	42
5.4.	IDENTIFICACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL	42
5.5.	INDICES DE ACCESIBILIDAD	44
5.5.1.	Matriz Origen- Destino	45
5.5.2.	Factor de Ruta	46
5.5.3.	Tiempos Promedio de Viaje	48
5.5.4.	Indicador de Gravedad de Hansen	49
5.6.	ANÁLISIS DE ACCESIBILIDAD	50
5.6.1.	Interpolación de Distancia Inversa Ponderada.....	50
5.6.2.	Análisis estadístico.....	50
5.6.3.	Correlación de variables.	51
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
6.1.	IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	53
6.1.1.	Demografía de la zona de estudio:	55
6.1.2.	Valor agregado de la zona de estudio:.....	56
6.1.3.	Identificación de las zonas de producción:.....	57
6.2.	CARACTERIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL	59
6.3.	MATRIZ DE CONECTIVIDAD	61
6.4.	ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ACCESIBILIDAD.....	64
6.4.1.	Factor de Ruta.....	64
6.4.2.	Tiempos Promedio de Viaje.....	67
6.4.3.	Indicador de gravedad	69
6.5.	EVALUACIÓN DE NIVELES DE ACCESIBILIDAD	71
6.5.1.	Factor de Ruta.....	72
6.5.2.	Tiempos Promedio de Viaje.....	73
6.5.3.	Indicador de Hansen o Gravedad.....	76
6.5.4.	Correlación de variables.	78

6.5.5. Discusión de los resultados	81
7. CONCLUSIONES.....	84
8. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	93

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración No. 1 Comparación de infraestructura vial (Por tipo de importancia) para los departamentos productores de café. Fuente elaboración propia a partir de datos del INVIAS, 2020	18
Ilustración No. 2 Variación del PIB departamental para los departamentos productores de café entre los años 2015-2021.Fuente elaboración propia a partir de datos del DANE, 2022	18
Ilustración No. 3 Análisis de volúmenes para el año 2022 por tipo de puerto de embarque; fuente elaboración propia 2023 a partir de datos proporcionado por la FNC, 2023.....	20
Ilustración No. 4 Datos de rendimiento portuario en Colombia en toneladas (en porcentaje) movilizadas; fuente elaboración propia 2023 a partir de datos de la Superintendencia de Transporte, 2022.....	22
Ilustración No. 5 Relación entre los componentes de accesibilidad. (Geurs, Van Wee, 2004).	33
Ilustración No. 6 Diagrama metodológico para el desarrollo de la investigación, fuente elaboración propia, 2024.....	38
Ilustración No. 7 Ubicación del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2024.....	53
Ilustración No. 8 Municipios productores de café especial en el departamento de Nariño; Fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos provistos por Dr (C) Daniel Goyes, 2022 y FNC, 2022.	54
Ilustración No. 9 Zonificación del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2024.....	55
Ilustración No. 10 Cortes naturales para la variable Población en número de personas por municipio; elaboración propia a partir de datos del DANE, 2022.	56
Ilustración No. 11 Cortes naturales para la variable de Valor Agregado en Miles de millones de pesos -MMP-; fuente elaboración propia con datos del censo DANE-2018.....	57
Ilustración No. 12 Caracterización de las zonas de producción de café de Nariño por producción en Toneladas para el año 2022; fuente elaboración propia a partir de datos de Agronet, 2022.....	58

Ilustración No. 13 Red de infraestructura vial categorizada del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos de INVIAS, 2023.....	59
Ilustración No. 14 Red de infraestructura vial categorizada del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos de IGAC, 2016.....	60
Ilustración No. 15 Indicador de presencia y ausencia de infraestructura vial en el departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos de IGAC, 2023.....	61
Ilustración No. 16 Ubicación de los nodos de inicio y nodos finales (SPRs) clasificados por cantidad exportada en toneladas para el año 2023, unidos por los arcos de la infraestructura vial actual. fuente elaboración propia con datos del IGAC, 2023.....	62
Ilustración No. 17 Ubicación de las rutas estudiadas, vía Panamericana (escenario 1) y vía alterna (escenario 2) vía Pasto- Mocoa- Pitalito para la conexión con el interior del país; fuente elaboración propia a partir de datos del IGAC, 2023.	63
Ilustración No. 18 Factor de Ruta integral para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 1; fuente elaboración propia, 2024. ..	64
Ilustración No. 19 Factor de Ruta integral para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 2; fuente elaboración propia, 2024. ..	65
Ilustración No. 20 Tiempos promedios de viaje para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 1; elaboración propia, 2024.	67
Ilustración No. 21 Tiempos promedios de viaje para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 2; elaboración propia, 2024.	68
Ilustración No. 22 Indicador de Hansen para el escenario 1; fuente elaboración propia, 2024.....	69
Ilustración No. 23 Indicador de Hansen para el escenario 2; fuente elaboración propia, 2024.....	70
Ilustración No. 24 Box Map y Box plot de la variable Valor Agregado en Miles de millones de pesos (a y c) y Producción de café en toneladas (b y d) ambas variables para el año 2022; fuente elaboración propia a partir de datos del DANE, 2023 y Agronet, 2023.	71
Ilustración No. 25 Estadística de varianza para el indicador Factor de ruta para el escenario 1 (a y c) y el escenario 2 utilizando ruta alterna (b y d); fuente elaboración propia, 2024.....	72
Ilustración No. 26 Comparación entre Box Maps con la variable de producción de café en toneladas para el año 2022 (a) y el indicador de tiempo promedio de viaje medido en horas para el escenario 1 (b); fuente elaboración propia, 2024.	74
Ilustración No. 27 Mapas de Tiempos promedio de viaje del escenario 1 (a) y escenario 2 (b) anexando la estadística descriptiva para cada escenario respectivamente 1 (c) y 2 (d); fuente elaboración propia, 2024.	75
Ilustración No. 28 Estadística descriptiva para el indicador de Hansen, Box Maps y Box Plots escenario 1 (a y c) y escenario 2 (b y d) respectivamente; fuente elaboración propia, 2024	76

Ilustración No. 29 Diagrama de correlación de Pearson para las variables de producción de café, indicadores de accesibilidad, valor agregado, área y población para el escenario 1; fuente elaboración propia, 2024.	78
Ilustración No. 30 Diagrama de correlación de Pearson para las variables de la ilustración 29 aplicada a los resultados de la ruta alterna o escenario 2a; fuente elaboración propia, 2024	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción de variables de la ilustración 31. Fuente creación propia, 2024.	51
Tabla 2 Zonificación del departamento de Nariño; fuente propia, 2024.....	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo No. 1 Exportaciones por tipo de puerto de embarque para los años 2019 al 2023; fuente FNC, 2024.....	93
Anexo No. 2 Variable de atracción exportación en toneladas para los años 2020 al 2023; fuente FNC, 2024.....	94
Anexo No. 3 Coordenadas de nodos iniciales e intermedios, zonas de producción de café especial de Nariño, fuente FNC,2022.	95
Anexo No. 4 Coordenadas de nodos finales, SPR de Colombia exportadores de Cafe segun FNC.	95
Anexo No. 5 Matriz Origen Destino con tiempo en horas para los respectivos trayectos entre nodos considerando la ruta Panamericana o Escenario 1.	96
Anexo No. 6 Matriz Origen Destino con distancia euclidiana en kilómetros para los respectivos trayectos entre nodos considerando la ruta Panamericana o Escenario 1.....	97
Anexo No. 7 Matriz Origen Destino con distancia en kilómetros para los respectivos trayectos entre nodos considerando la ruta Panamericana o Escenario 1.	99
Anexo No. 8 Matriz Origen Destino de tiempos medidos en horas para la vía alterna o Escenario 2.	100
Anexo No. 9 Matriz Origen Destino de distancias euclidianas medidos en kilometros para la vía alterna o Escenario 2.	101
Anexo No. 10 Matriz Origen Destino de distancias medidos en kilometros para la vía alterna o Escenario 2.	103
Anexo No. 11 Compilación de resultados y variables a comparar para el escenario 1 usando la ruta vía Panamericana	106
Anexo No. 12 Compilación de resultados y variables a comparar para el escenario 2 usando vía alterna.	109

Anexo No. 13 Mapa en 3D del indicador Factor de Ruta para la ruta del escenario 1; fuente elaboración propia, 2024.....	110
Anexo No. 14 Mapa en 3D del indicador Factor de Ruta para la ruta del escenario 2; fuente elaboración propia, 2024.....	111
Anexo No. 15 Mapa en 3D del indicador Tiempos promedio de viajes medido en horas para la ruta del escenario 1; fuente elaboración propia, 2024	112
Anexo No. 16 Mapa en 3D del indicador Tiempos promedio de viajes medido en horas para la ruta del escenario 2; fuente elaboración propia, 2024	113
Anexo No. 17 Mapa en 3D del indicador de gravedad o Hansen para la ruta del escenario 1; fuente elaboración propia, 2024	114
Anexo No. 18 Mapa en 3D del indicador de gravedad o Hansen para la ruta del escenario 2; fuente elaboración propia, 2024	115

1. INTRODUCCIÓN

La accesibilidad es uno de los cuatro grupos que condicionan el emplazamiento de todo tipo de actividades socioeconómicas junto a la jerarquía social, economías de aglomeración y externalidades (Chías, Luis y Reséndiz, Héctor D, 2008), un medidor de la facilidad que tiene una entidad geográfica en diferentes escalas, urbana, metropolitana, interurbana o global que depende en diferentes componentes que confluyen entre sí, uso del suelo, transporte, temporal e individual a través de la infraestructura guiada del servicio de transporte que permite la unión de dos o más zonas para un intercambio socioeconómico (Izquierdo, Rafael, *et al.*, 1991).

El departamento de Nariño, Colombia, se caracteriza por su alta producción agrícola, pero se enfrenta a la limitación de contar con una infraestructura vial insuficiente. Esta situación contrasta a nivel nacional, donde se espera que la infraestructura vial esté mejor desarrollada y sea más adecuada para respaldar la producción agrícola. Ya que, dada la fertilidad de sus suelos y las diferentes condiciones con las que cuenta la región, altura, pisos térmicos, humedad, entre otros, es uno de los principales productores de papa, maíz amarillo y blanco, frijol, cacao (DANE, 2020); pero principalmente, se enfocó en el café de tipo arábica caturra (Yurani Gamboa *et al.*, 2014), una variedad altamente valorada tanto en el extranjero como en Colombia debido a su reconocimiento como un café "especial" por sus características distintivas de calidad y sabor. Sin embargo, el departamento no cuenta con un puerto condicionado para la exportación de productos agrícolas, ni con la infraestructura vial necesaria para garantizar un transporte eficiente y rentable hacia otros equipamientos portuarios.

Esta carencia de infraestructura adecuada dificulta el transporte de la producción de una forma viable para los cultivadores, lo que se traduce en un aumento de los costos y en una disminución de la competitividad del producto en comparación con otros departamentos (Cámara de Comercio de Pasto, 2023). Por otra parte, inciden diferentes tipos de variables que ayudan a la carencia en accesibilidad del departamento tales como: variables climáticas, topográficas, vulnerabilidad y seguridad, en los últimos años el número de deslizamientos aumentó dadas las condiciones climáticas que vive el departamento, así como, su topografía, dado que es un tipo de terreno montañoso, lo cual genera un alto riesgo para el correcto funcionamiento de las vías y la seguridad de los transeúntes.

Con base en lo expuesto, se desarrolló una metodología que permitió determinar los niveles de accesibilidad que tienen las zonas de producción de café especial del departamento de Nariño hacia las terminales portuarias de exportación de Café especial, mediante la caracterización de la red de infraestructura de transporte, el cálculo de indicadores utilizando herramientas tecnológicas para análisis espacial

como lo son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y finalmente un análisis exploratorio de datos espaciales, con el fin de incorporar las medidas de accesibilidad previamente documentadas en la literatura. Estas herramientas permitieron realizar un análisis más detallado y preciso de la distribución geográfica y las características de accesibilidad en el área de estudio.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los niveles de accesibilidad de zonas de producción café especial del departamento de Nariño a equipamientos portuarios.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar espacialmente la red de infraestructura de transporte, zonas de producción del café especial y equipamientos portuarios de exportación.

Estimar los niveles de accesibilidad en las zonas de producción de café especial del departamento de Nariño a equipamientos portuarios.

Evaluar las medidas de accesibilidad espacial de las zonas de producción de café especial del departamento de Nariño a equipamientos portuarios.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El departamento de Nariño, ubicado en la región Andina de Colombia, con una superficie de 1,181 km², presenta una carencia significativa en infraestructura vial comparado con otros departamentos productores de café, debido a diversos factores, como los topográficos, económicos y sociales, entre otros.

Nariño cuenta con una red vial de aproximadamente 7,628.80 kilómetros construidos (Subsecretaría de Tránsito y Transporte Departamental & Gobernación de Nariño, 2019). Al compararlo con departamentos vecinos, como el Valle del Cauca, se observa una disparidad notable. El Valle del Cauca tiene una superficie de 3,000 km², casi 2.5 veces mayor que la de Nariño, y además cuenta con un puerto marítimo en el océano Pacífico. En 2021, el Valle del Cauca registró 8,241.63 kilómetros de infraestructura vial (Gobernación del Valle del Cauca & Secretaría de Gobierno Departamental del Valle del Cauca, 2016), casi 1,000 kilómetros más que Nariño. Esta infraestructura adicional influye en su Producto Interno Bruto (PIB) departamental, con un impacto de 1.2 en los sectores de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, lo que es cuatro veces mayor que el del departamento de Nariño. La desigualdad en la infraestructura de transporte se refleja especialmente en la falta de vías primarias en Nariño.

Del total de 7,628.80 kilómetros de vías construidas en el departamento, solo el 10% está destinado a vías primarias, mientras que el 71% corresponde a vías terciarias. En contraste, el Valle del Cauca presenta una distribución más equitativa, con el 20% de sus 8,241.63 kilómetros de infraestructura vial designados a vías primarias y el 77% a vías secundarias. Solo el 2.5% se destina a vías terciarias (Ilustración 1). Esta disparidad en la distribución y calidad de las vías impacta negativamente la movilidad y conectividad de Nariño, limitando su desarrollo económico y afectando la competitividad frente a otros departamentos cafeteros. En este contexto, se plantea la necesidad de abordar de manera integral el déficit en la infraestructura vial de Nariño para impulsar su crecimiento económico y mejorar su posición en el sector cafetero a nivel nacional.

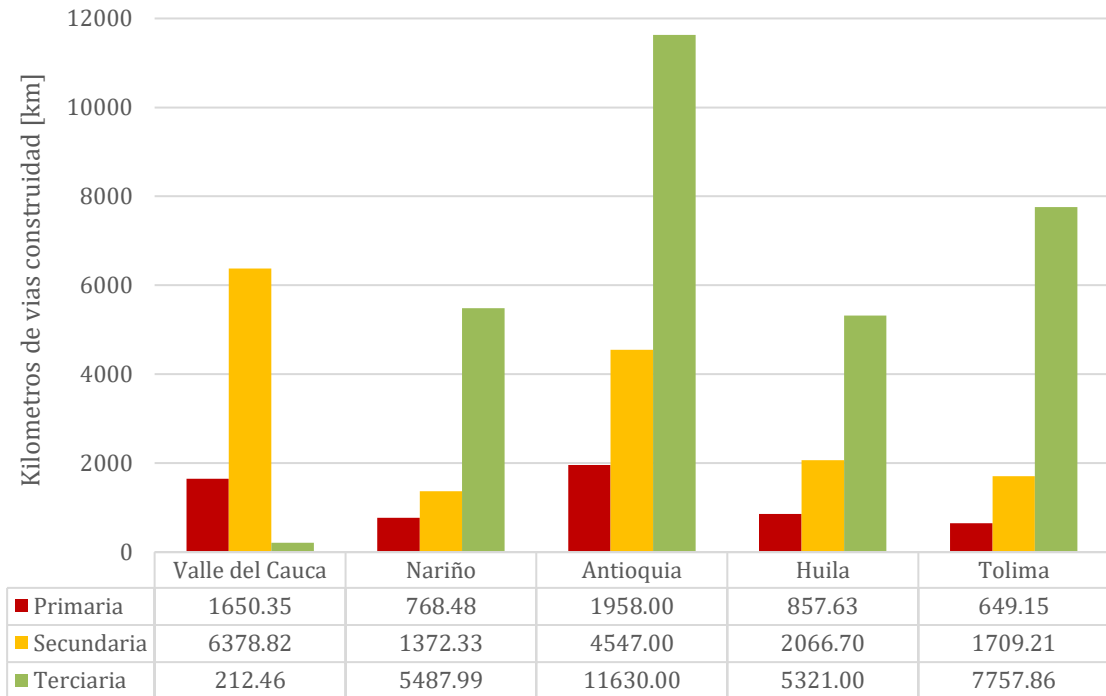


Ilustración No. 1 Comparación de infraestructura vial (Por tipo de importancia) para los departamentos productores de café. Fuente elaboración propia a partir de datos del INVIAS, 2020

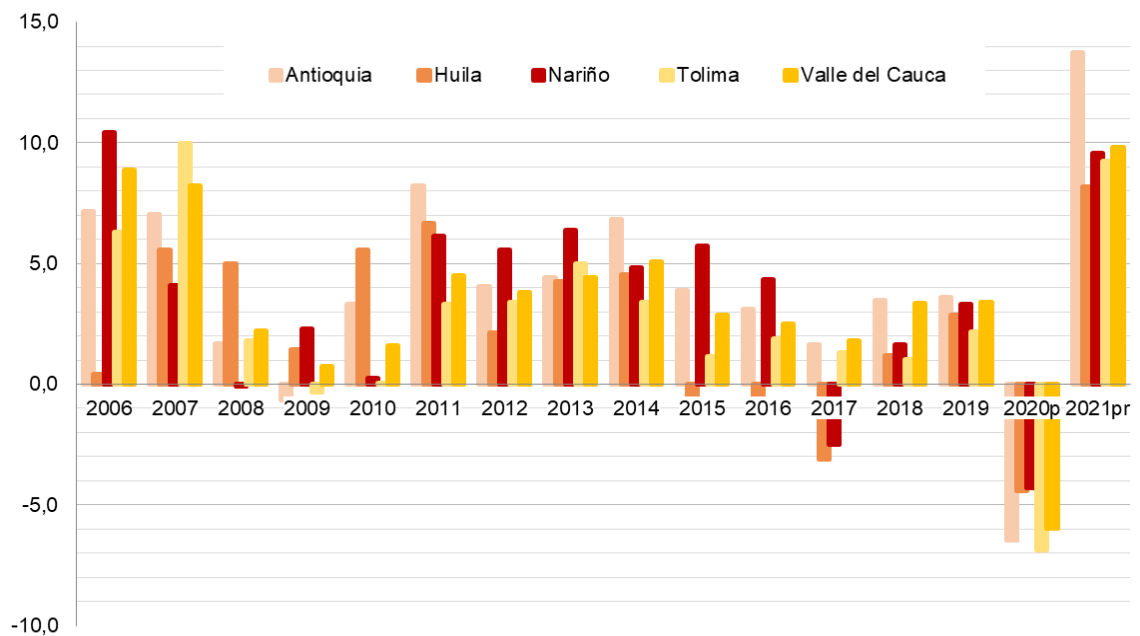


Ilustración No. 2 Variación del PIB departamental para los departamentos productores de café entre los años 2015-2021. Fuente elaboración propia a partir de datos del DANE, 2022

Al realizar la comparación con otros departamentos productores de café (ilustración 2), como lo son Antioquia, Huila y Tolima, con un alto porcentaje de producción, se evidencian una notable diferencia entre ellos, lo que su vez impacta en su PIB departamental como se muestra en el estudio de Galvis & Meisel (2010) donde se logra observar que en 27 años el departamento no ha sufrido cambios favorables siendo uno de los departamentos con menor participación generando un aumento del índice de pobreza. Así mismo, se logra observar que durante el año 2020 hay un significativo decrecimiento en los valores del PIB, como consecuencia directa de la pandemia global de COVID-19, esta situación sin precedentes puso de manifiesto la vulnerabilidad de los sistemas económicos y resaltó la importancia de adoptar medidas efectivas para mitigar los impactos de futuras crisis sanitarias en el crecimiento económico.

En cuanto a las terminales portuarias, Colombia cuenta con un total de 12 puertos marítimos de los cuales solo 2 de ellas están en el sur occidente colombiano, el puerto de Buenaventura - Valle del Cauca y el de Tumaco - Nariño, los cuales se ubican a nivel nacional en el puesto 5 con 14,785.40 toneladas y 11 con 309.80 toneladas respectivamente en escala de importancia según los datos presentados por la Superintendencia de Transporte en su informe de datos de rendimiento portuario en Colombia en la exportación de mercancía medida en toneladas para el semestre enero - septiembre 2022. Esto permite observar que el puerto de Buenaventura es el más concurrido para el transporte de productos, importe y exporte de los mismos mientras que, el puerto de Tumaco no presenta los mismos índices de intercambio económico, por diferentes motivos de carácter social, político, económico, técnico y tecnológicos (Viloria de la Hoz, 2000) lo cual a su vez, provoca que los productos fabricados en la región no puedan ser transportados por vía marítima, lo que hace que su intercambio comercial resulte demasiado costoso.

Esta investigación, concentró su atención en el producto cafetero autóctono de la región, los cafés especiales del departamento de Nariño que son reconocidos mundialmente por su excelente calidad, lo cual abre la oportunidad para aumentar la presencia y demanda en el mercado extranjero. Sin embargo, este producto requiere de un adecuado manejo, distribución y almacenamiento, pues al no hacerlo puede afectar directamente en su calidad y sabor, ya que es un producto que adapta los sabores y olores de su entorno; es importante destacar que los mayores tiempos de viaje tienen un impacto directo en la accesibilidad que tiene el café especial para ser distribuido y exportado, por ende, su exposición lo hace propenso a perder sus atributos diferenciales.

Además, el precario estado de las vías y los constantes inconvenientes, como las condiciones climáticas desfavorables y el tráfico causado por el mal estado de las carreteras, impactan significativamente en la distribución y conservación

del producto. Estos factores afectan el tiempo de viaje, ya que el deterioro de la capa de rodadura puede dañar los granos, y la exposición a gases o gasolina durante el transporte representa un riesgo adverso para el café especial. La prolongación de los tiempos de viaje en la cadena logística del café especial de Nariño puede resultar en una disminución de la calidad del producto, afectando su sabor, aroma y otras características distintivas. Por tanto, en esta investigación se busca evaluar y comprender el impacto de los tiempos de viaje prolongados y las condiciones de transporte en la accesibilidad, distribución y conservación del café especial. Estos aspectos serán considerados en el análisis de los niveles de accesibilidad de las zonas de producción de café especial en Nariño hacia los equipamientos portuarios, con el fin de identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y calidad para la exportación del producto.

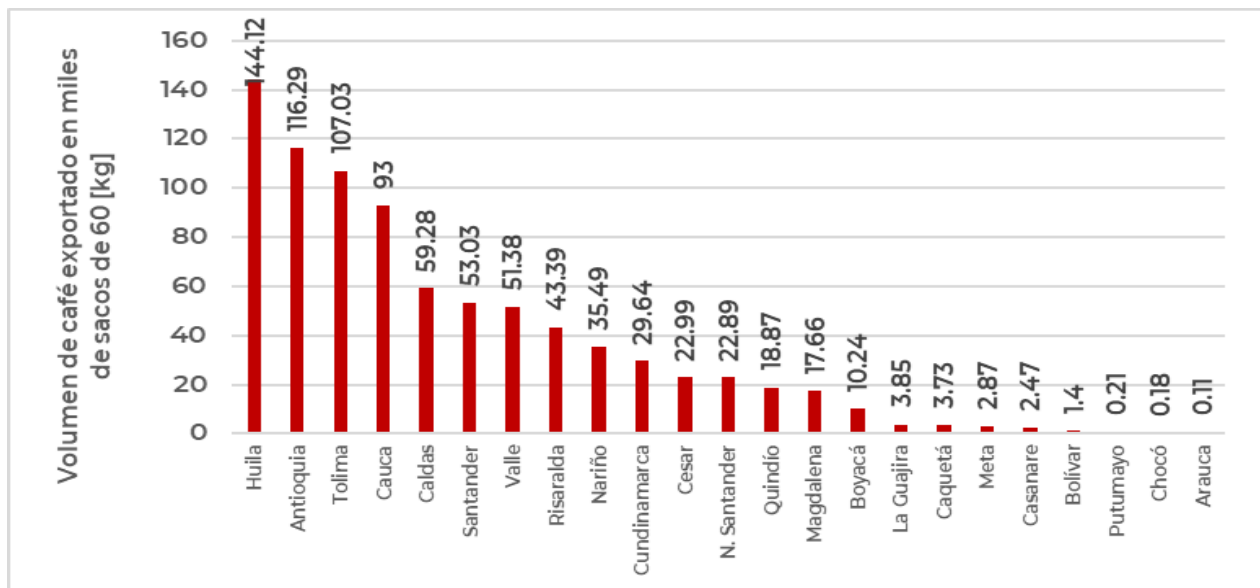


Ilustración No. 3 Análisis de volúmenes para el año 2022 por tipo de puerto de embarque; fuente elaboración propia 2023 a partir de datos proporcionado por la FNC, 2023.

Por otra parte, como se muestra en la ilustración 3, los volúmenes de exportación de café son mayores en los departamentos del Huila, Antioquia y Tolima, los cuales no tienen cerca ningún tipo de equipamiento marítimo dada su ubicación en el territorio colombiano. Mientras que, el Valle del Cauca con el puerto de Buenaventura, infraestructura vial y 5 aeropuertos se encuentra en el séptimo lugar con una exportación de 51.38 miles de sacos, en el caso del departamento de Nariño, a pesar de contar con condiciones similares, tiene una menor cantidad, de 35.49 miles de saco ocupando el puesto 9 permitiendo observar que existen otros factores, como la accesibilidad del campesino a los puntos de compra de las cooperativas del departamento y por ende al centro de

distribución de AlmaCafé que impiden una competitividad alta con respecto a los otros departamentos productores.

3.2. JUSTIFICACIÓN

La actual falta de infraestructura vial en el departamento de Nariño para la conexión interdepartamental, junto con la limitada operatividad de la Sociedad Portuaria Regional Tumaco Pacific Port S.A., que se enfoca principalmente en el transporte de productos como aceite de palma, cacao y banano (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2016), impide satisfacer las necesidades de los caficultores. Adaptar el puerto para las exportaciones de café podría abrir nuevas oportunidades económicas y promover el desarrollo regional en Nariño.

Estos problemas de infraestructura y logística generan una gran cantidad de costos directos e indirectos para la región. Los costos directos están asociados con las operaciones necesarias para el correcto funcionamiento de las vías durante eventos que impiden el tránsito, mientras que los costos indirectos, que afectan la productividad de la región, son los principales obstáculos para el desarrollo económico. Esto impacta negativamente a las diferentes cadenas productivas.

Por esta razón, este proyecto de investigación adquiere relevancia, ya que busca generar un análisis sobre el estado actual de la accesibilidad de las zonas de producción de café especial en Nariño hacia los equipamientos portuarios de Colombia. Esta herramienta de análisis podría abrir nuevas oportunidades para mejorar la planificación de las cadenas productivas, lo que incrementaría las condiciones económicas de la región, contribuiría a la reducción del índice de pobreza y elevaría el Producto Interno Bruto (PIB) departamental.

Además, el proyecto tiene como objetivo proporcionar herramientas para la cuantificación y planificación de rutas que benefician el transporte de productos hacia otras regiones, aprovechando los equipamientos marítimos en el puerto de Tumaco y otros puertos estratégicos. Aunque inicialmente estas herramientas están diseñadas específicamente para el producto cafetero, se espera que puedan aplicarse a otros bienes y servicios producidos en la región, contribuyendo así a fortalecer la capacidad competitiva del departamento sin depender de técnicas que podrían ser costosas. Ante este panorama, surge la iniciativa de estudiar la viabilidad de utilizar el puerto marítimo de Nariño como una solución innovadora para el transporte de café y otros productos. Aprovechando su ubicación estratégica cercana al océano, el puerto marítimo podría ofrecer una ruta de exportación más eficiente y rentable, permitiendo a

los productores de café de Nariño llegar a mercados nacionales e internacionales de manera más rápida y competitiva.

Asimismo, potenciar la economía local podría fomentar la creación de empleo y mejorar la calidad de vida de los habitantes de Nariño, al impulsar la industria agrícola y promover la inversión en infraestructura portuaria y logística. En última instancia, la exploración de esta alternativa de transporte podría resultar en un desarrollo integral de la región. De acuerdo con el boletín estadístico sobre tráfico portuario en Colombia del año 2022 (Ministerio de Transporte, 2023), se extraen datos reveladores acerca de la eficiencia en el transporte de carga por toneladas en diferentes puertos del país.

El puerto de Tumaco muestra una eficiencia del 1.5% en cuanto a la cantidad de carga movilizada, lo que indica que su actividad portuaria opera a niveles relativamente bajos. Esta cifra evidencia desafíos en términos de conectividad y factores económicos que afectan el flujo de carga a través de este puerto. En contraste, el puerto de Buenaventura presenta una realidad muy distinta, con una eficiencia del 25.3%. Esta cifra resalta la importancia y el dinamismo de Buenaventura como uno de los principales puertos de Colombia y de la región latinoamericana. Como se observa en la Ilustración 4, la capacidad de movilizar una parte considerable del tráfico portuario del país posiciona a Buenaventura como un nodo estratégico para el comercio y la logística, una capacidad que también podría ser aprovechada en el puerto de Tumaco (Superintendencia de Transporte, 2022).

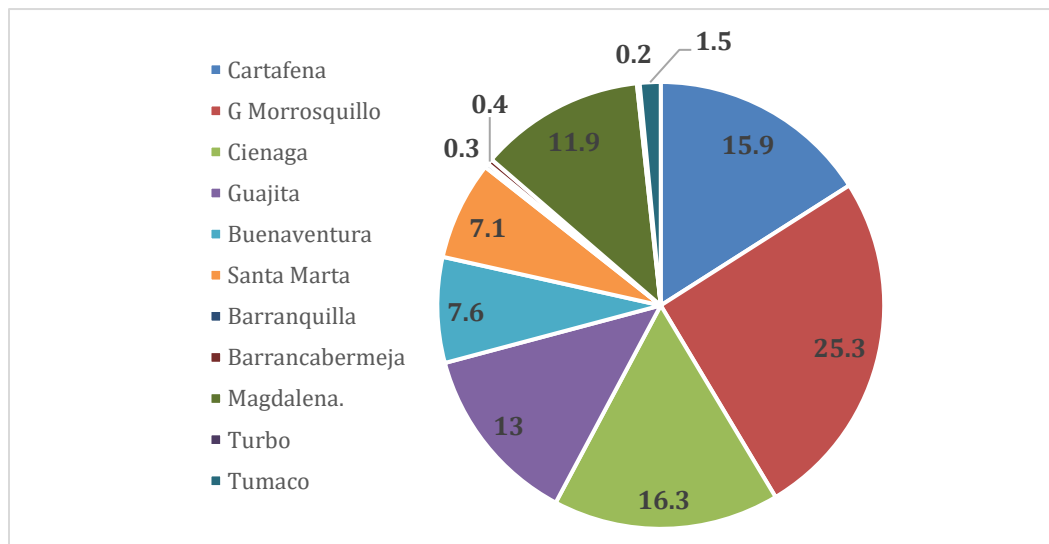


Ilustración No. 4 Datos de rendimiento portuario en Colombia en toneladas (en porcentaje) movilizadas; fuente elaboración propia 2023 a partir de datos de la Superintendencia de Transporte, 2022.

La disparidad en la eficiencia entre Tumaco y Buenaventura impulsa la reflexión sobre las posibles causas que generan esta diferencia marcada. Entre los factores identificados se pueden mencionar como inversiones en infraestructura, accesibilidad a vías de transporte terrestres, políticas de desarrollo económico, entre otros. Identificar y abordar las razones detrás de esta brecha podría desencadenar oportunidades para mejorar la competitividad de Tumaco y potenciar su rol en el comercio marítimo.

Según Barea (2002), los análisis de accesibilidad son la herramienta más efectiva para abordar los problemas asociados con la creación o evaluación de un proyecto vial y su valoración. Ya que, a pesar de no ser la herramienta más completa, es la que mejor analiza la efectividad del conjunto de la red y sus elementos. Según Loaiza, et al. (2016), los análisis de accesibilidad pueden generar un apoyo que muestra un panorama general de las condiciones que muestran las infraestructuras de una red vial o de distintos sistemas de transporte; además señala que dichas infraestructuras representan un elemento clave para desarrollar políticas de desarrollo territorial, en las cuáles se tienen en cuenta las inversiones que se pueden hacer para resolver problemas asociados a estas redes o sistemas.

Este proyecto espera proporcionar herramientas útiles a diversos sectores, que podrán utilizarlas como base para propuestas y toma de decisiones, con el fin de optimizar y dirigir inversiones. Estos sectores incluyen la industria, el comercio, la agricultura y asociaciones cafeteras como la Cooperativa de Occidente, la Cooperativa del Norte y la Federación Nacional de Cafeteros. Asimismo, el sector público, representado por la gobernación del departamento de Nariño, y las instituciones nacionales, como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), podrían utilizar este proyecto para mejorar la accesibilidad de la región y fomentar su desarrollo económico.

4. MARCO CONTEXTUAL

Se establece un marco contextual que consta de tres divisiones fundamentales: conceptual, teórica y referencial. Estas divisiones proporcionan un fundamento integral para comprender y analizar de manera profunda el presente proyecto de investigación. En el marco conceptual, se definen los conceptos que estructuran la investigación; posteriormente, el marco teórico, explora y examina las teorías y enfoques existentes que sustentan y enriquecen el análisis. Finalmente, en el marco referencial, se presentan los estudios previos, las investigaciones relacionadas y las fuentes relevantes que contribuyen a la construcción del conocimiento en este campo. Esta estructura contextual proporciona una base sólida y coherente para el desarrollo del presente proyecto.

4.1. MARCO CONCEPTUAL

4.1.1. Café especial:

Según la Federación Nacional de Cafeteros (2023) en Colombia, se define como aquellos cafés valorados por los consumidores por sus atributos consistentes, verificables y sostenibles. En consecuencia, los consumidores estarían dispuestos a un aumento en el valor económico traduciéndose en un mayor bienestar de los productores. Las características están dadas por el origen del café (categoría origen), por su producción en armonía con el medio ambiente (categorías sostenibles) y su compromiso con el desarrollo social de las comunidades (categoría social).

4.1.2. Centros de producción:

Según la United Nations Industrial Development Organization (2017) los centros de producción se refieren a instalaciones o lugares específicos donde se lleva a cabo la producción de bienes o servicios. Estos centros pueden ser fábricas, plantas industriales, granjas, minas u otras instalaciones dedicadas a la producción en diferentes sectores económicos

4.1.3. Producción agrícola:

Según la Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) la producción agrícola se refiere a la actividad de cultivar plantas y criar animales para obtener productos alimenticios, como cereales, frutas, verduras, carne, leche, huevos, entre otros. Incluye todas las etapas del

proceso, desde la preparación del suelo, siembra o cría de animales, hasta la cosecha o la recolección de los productos finales.

4.1.4. Infraestructura:

Según el World Bank Group (2017) la infraestructura se refiere al conjunto de elementos físicos y organizacionales necesarios para el funcionamiento y desarrollo de una comunidad, región o país. Incluye las estructuras y servicios básicos necesarios para el transporte, la comunicación, la energía, el suministro de agua, la gestión de residuos, entre otros aspectos clave de la sociedad.

4.1.5. Puertos marítimos:

Según la página The Logistics World (2023) los puertos son lugares en los que los barcos pueden cargar y descargar mercancías, así como realizar diversas operaciones relacionadas con el transporte marítimo. Igualmente son cruciales para el comercio internacional, ya que permiten que los productos lleguen a diferentes partes del mundo. Además, proporcionan servicios de almacenamiento y mantenimiento para los barcos que están en tránsito.

4.1.6. Transporte:

Según Rodríguez (2011) el término "transporte" se refiere a la acción o proceso de mover personas, bienes o información de un lugar a otro. Implica el desplazamiento físico de algo o alguien utilizando diferentes medios o modos de transporte, como vehículos terrestres, aéreos, marítimos o ferroviarios. El transporte es un componente fundamental de la sociedad moderna y desempeña un papel vital en la economía global, facilitando el comercio, la comunicación y la interacción entre las personas.

4.1.7. Información ráster:

Según la página de Esri Support (2022) un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

4.1.8. Información vectorial:

Según la página GEOGRA (2006) el modelo vectorial es una estructura de datos utilizada para almacenar datos geográficos. Los datos vectoriales constan de líneas o arcos, definidos por sus puntos de inicio y fin, y puntos donde se cruzan varios arcos, los nodos. La localización de los nodos y la estructura topológica se almacena de forma explícita.

4.1.9. Geocodificación:

Según ESRI (2016) es el proceso de transformar una descripción de una ubicación (por ejemplo, un par de coordenadas, una dirección o un nombre de un lugar) en una ubicación de la superficie de la Tierra. Se puede geocodificar introduciendo una descripción de una ubicación a la vez o proporcionando muchas de ellas al mismo tiempo en una tabla. Las ubicaciones que se obtienen se transforman en entidades geográficas con atributos, que se pueden utilizar para la representación cartográfica o el para análisis espacial.

4.1.10. Interpolación:

Tomando en consideración, la definición propuesta por la compañía ESRI (2016) es la estimación de los valores de superficie en puntos no muestreados basándose en los valores de superficie conocidos de los puntos circundantes. La interpolación puede utilizarse para calcular la elevación, las precipitaciones, la temperatura, la dispersión química y otros fenómenos basados en el espacio. Normalmente, la interpolación es una operación de ráster, pero también puede realizarse en un entorno vectorial utilizando un modelo de superficie TIN. Existen varias técnicas de interpolación conocidas, como Spline y Kriging.

4.1.11. Uso del suelo:

Según Geurs & Van Wee (2004) se define el uso de suelo por la distribución de actividades en una zona o unidad geográfica. Para estos autores este componente es la conformación entre demanda y oportunidad que da resultado a actividades económicas, sociales y culturales para las capacidades respectivas (escuelas, universidades, hospitales, empresas, oficinas, etc.) Por ejemplo, oferta laboral, vacantes en una universidad o escuela o camas de un centro médico.

4.1.12. Centro de almacenamiento:

Según Cruz & Diop (1990) consultores de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO un centro de almacenamiento es un espacio predispuesto bajo ciertas características de tecnificación y estados de limpieza, control, temperatura y humedad para la conservación y manipulación de productos agrícolas, en el caso del café se toma en cuenta sus respectivas características como tamaño del grano, origen, volumen, porosidad, entre otras.

4.1.13. Centro de distribución:

Según la Transportadora Comercial Colombia -TCC- (2023) es una instalación dedicada a la recepción y distribución de mercancía para abastecer a los almacenes de la empresa, plantas de producción o envío de productos a clientes finales. Estos reducen costos de almacenaje y mejoran los tiempos de entrega.

4.1.14. Sistema de Información Geográfica (SIG):

Según Sarria (2006) los sistemas de información geográfica son herramientas informáticas que se orientan a la gestión de datos espaciales. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos. Un ejemplo de la utilidad de este tipo de herramientas se presentó con la pandemia del SARS-CoV-2 como un método para la toma de decisiones y más importante, movilizaciones sociales y respuestas comunitarias tomando en cuenta la dinámica espacio temporal del COVID-19 para su mitigación (Franch-Pardo et al., 2020)

4.1.15. Nodo:

Según la página de Esri Support (2022) es el punto que representa el inicio o fin de un eje. Este está unido a todos los ejes que se juntan en este punto de forma topológica.

4.1.16. Redes viales:

Según Schliessler (2014) las redes viales son el conjunto de los puntos de conexión y la infraestructura de carreteras, la cual consta de 3 elementos: El terreno, el cual es el espacio por el que las vías se construyen, las obras básicas, las cuales son los movimientos de tierra, las obras de drenaje, entre otros, y las capas de rodadura.

4.1.17. Accesibilidad:

Aunque este concepto no tiene una sola definición hay varios autores que presentan sus respectivas propuestas entre ellos Geurs & Van Wee (2004) que definen la accesibilidad como un conjunto de variables (Tiempo, individuo, uso del suelo y transporte) y procesos (Disponibilidad de oportunidades, tiempo de viaje, costos, esfuerzo, restricciones de tiempo, necesidades y habilidades, entre otros) que convergen con el fin de generar actividades económicas, sociales y culturales mediante el desplazamiento de individuos o productos; así mismo, según Rodrigue et al., (2006) la accesibilidad es la medida para poder llegar a uno o a varios lugares, haciendo que los elementos y la capacidad de los elementos en las redes viales sean vitales. Igualmente, (Izquierdo de Bartolomé, 1994) definió este concepto como la medida de la facilidad de comunicación entre actividades o asentamientos humanos, utilizando un determinado sistema de transportes.

4.1.18. Índices de Accesibilidad:

Según Geurs & Van Wee (2004) los índices de accesibilidad son índices que señalan y relacionan los datos necesarios para evaluar en diferentes poblaciones su accesibilidad, estudiando variables como la infraestructura, ubicación u otras.

4.1.19. Cartografía temática:

Buzai y Baxendale (2015) definen que la representación de los rasgos del terreno proporciona información distinta a la que se percibe directamente en el área de estudio. Estos mapas son muy útiles para actividades de gestión y planificación territorial, y se diferencian de los mapas topográficos en que representan características territoriales específicas.

4.2. MARCO TEÓRICO

En la literatura se aprecia la accesibilidad relativa, que mide la calidad de conexión entre dos puntos situados en un mismo territorio. También se menciona, la accesibilidad integral como aquella que mide el grado de conexión entre los nodos con todos los demás de la zona, donde el valor de A_i es la accesibilidad integral y es proporcional a la suma de todas las accesibilidades relativas de los nodos a_{ij} , su formulación matemática se presenta en la ecuación 1 como:

$$A_i = \sum_j^n a_{ij} \quad (1)$$

La accesibilidad global la cual es la suma de las accesibilidades integrales de todos los nodos de la zona de estudio, en la ecuación 2 se observa su formulación:

$$A = \sum_i^n A_i \quad (2)$$

Por otra parte, existen autores que presentan diversos indicadores para la medición de la accesibilidad en términos variables medibles sobre la zona de estudio. Se pueden considerar los indicadores que se listan a continuación:

- Densidad vial por superficie: Según (Riaño, 2010) este es un indicador que relaciona la cantidad (longitud) de infraestructura existente con el área de cada unidad geográfica que se esté estudiando, se observa su formulación en la ecuación 3:

$$D_{vs} = \frac{L}{S} \quad (3)$$

Donde D_{vs} es el indicador de densidad vial, L es la longitud del elemento de la red de estudio, y S es el área de la zona de estudio. Este índice puede variar significativamente según los criterios utilizados para seleccionar la cantidad o longitud de vías de la zona de estudio incluidas en la ecuación, así como la forma en que se calcule su área de influencia.

- Presencia y ausencia: Según Izquierdo, (1994) uno de los indicadores topológicos más simples es este. Para analizarlo, se requiere dividir el área en unidades territoriales o cuadrículas. En su forma más básica, a cada cuadrícula o unidad territorial se le asigna un valor de 1 si hay una vía de comunicación y 0 si no la hay.

- Factor de ruta: Según Izquierdo, (1994) es un índice que relaciona la proximidad de un vínculo en una red con la línea recta. Hay dos factores, uno entre dos nodos i y j , y uno integral para el nodo. Su formulación matemática se presenta en la ecuación 4:

$$D_{vs} = \frac{d_{ij}}{d_{ij}^0} \quad (4)$$

Donde D_{vs} es el indicador de densidad vial, d_{ij} es la distancia en línea recta entre los nodos i y j , y d_{ij}^0 es la distancia por el corredor vial entre los nodos i y j en la ecuación 5 se observa su formulación:

$$R_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \frac{d_{ij}}{d_{ij}^0} \quad (5)$$

Donde R_{ij} es el factor integral de ruta para el nodo i y n es el número total de nodos.

- Índice de rodeo: Según Chías Luis & Reséndiz Héctor, (2008), propone como la relación entre la distancia real medida en km desde cada localidad considerada al resto de los nodos y la distancia en línea recta en km desde cada localidad considerada al resto de los nodos, su modelo matemático se presenta en la ecuación 6:

$$IR_j = \frac{\sum_{j=1}^n DR_j}{\sum_{j=1}^n DI_j} \quad (6)$$

Donde DI_j es la distancia ideal y DR_j es la distancia real.

- Tiempos medios: Según Chías Luis & Reséndiz Héctor (2008), se definen los tiempos de conducción como la relación existente entre los centroides de las localidades conectadas a la red de transporte, y las rutas óptimas que conforman los árboles de camino tomando en cuenta las matrices origen destino de las localidades. Su formulación se puede observar en la ecuación 7:

$$TM = \sum_{j=1}^n \frac{t_{ij}}{N} \quad (7)$$

Donde N son el número de nodos de la red de transporte y t_{ij} son las rutas óptimas para la unión de los nodos.

- Índice de trazado-velocidad: Según Izquierdo (1994) es una variación del factor de ruta, y se define con la ecuación 8 que se muestra a continuación:

$$Itv_{ij} = \frac{t_{ij}}{t_{ij}^0} \quad (8)$$

Donde Itv_{ij} es el indicador trazado velocidad entre los nodos i y j, t_{ij} es el tiempo mínimo de recorrido de i a j y t_o es el tiempo real de recorrido entre los nodos i y j.

- Indicador de potencial o gravedad: Permite calcular el “potencial de oportunidades para la interacción” o literalmente “una generalización de la relación población-sobre-distancia” (Hansen, 1959) donde su modelamiento matemático se presenta en la ecuación 9.

$$Gravity[i] = \sum_{j \in L}^N \left(\frac{W[j]}{f(C_{ij}, \beta)} \right) \quad (9)$$

Donde $W[j]$ representa la masa de oportunidades disponibles para los usuarios, sin tomar en cuenta si han sido elegidos o no, $f(C_{ij}, \beta)$ es una función de disuasión conformada por C_{ij} que es una variable de costo de viaje entre un nodo i y otro j, y β que es el coeficiente de costo de viaje generalmente estimado de un modelo de elección de destino.

Sin embargo, existen otras variaciones a la ecuación de Hansen como por ejemplo la que muestran los autores (Bhat et al., 2001) donde presenta una variación de la ecuación 9 tomando en cuenta la impedancia. La variación del indicador se observa en la ecuación 10:

$$A_i^{Activity} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{(Activity\ measure)^{\gamma Activity}}{(Impedance_{ij})^{\beta Activity}} \right) \quad (10)$$

Donde $A_i^{Activity}$ representa la accesibilidad a una actividad como trabajo, compras, estudio, entre otras. La variable i es el índice de zona y N es el número total de zona en el estudio. $Impedance_{ij}$ es la medida de impedancia de un viaje entre las zonas i y la zona de destino j. y $\beta Activity$; $\gamma Activity$

son parámetros estimados utilizando el modelo de elección de destino, como se presenta en la ecuación 11.:

$$V_{ij}^{Activity} = \gamma Activity_i * \ln (Activity\ measure)_j - \beta Activity_i * \ln (impedancia)_{ij} \quad (11)$$

Permitiendo observar que $V_{ij}^{Activity}$ es la utilizada por la zona j dada una actividad para un individuo en la zona i. Por otra parte, se tienen autores como como Sevtsuk, (2010) quien desarrolla otra forma de ver el indicador de gravedad propuesto por Hansen como la suma del número de destino accesibles j teniendo en cuenta el peso W (Ejemplo pueden ser conexiones de tránsito en las estaciones, el número de puestos de trabajo, ventas minoristas, etc.) desde los nodos de origen i separados por un radio r determinado por la ruta más corta $d_{[i,j]}$. En la ecuación 12 se encuentra la formulación del modelo.

$$Gravity[i]^r = \sum_{i \neq j \in d[i,j] \leq r_i}^N \left(\frac{W[j]}{e^{\beta d[i,j]}} \right) \quad (12)$$

4.3. MARCO REFERENCIAL

Al igual que los anteriores marcos ya definidos, es necesario tener presente las referencias relacionadas con la accesibilidad que presenta el departamento de Nariño para la conexión de zonas de producción, almacenamiento y zonas de equipamiento portuario. En principio, para el desarrollo teórico del presente proyecto, se reconoce que en la literatura se han identificado diversos autores que han trabajado los conceptos generales a desarrollar, en el caso de la accesibilidad y sus variables se identificaron diversos autores de los cuales caben resaltar las siguientes investigaciones que han marcado hitos para el desarrollo metodológico de la presente propuesta.

Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions (Geurs & Van Wee, 2004)

Se analizan diversas medidas de accesibilidad utilizadas en la evaluación de estrategias y desarrollos de uso del suelo y transporte. Se discute la necesidad de utilizar medidas que cumplan con criterios teóricos, sean

fáciles de interpretar y comunicar, y se puedan calcular con datos y modelos de uso del suelo y transporte de última generación.

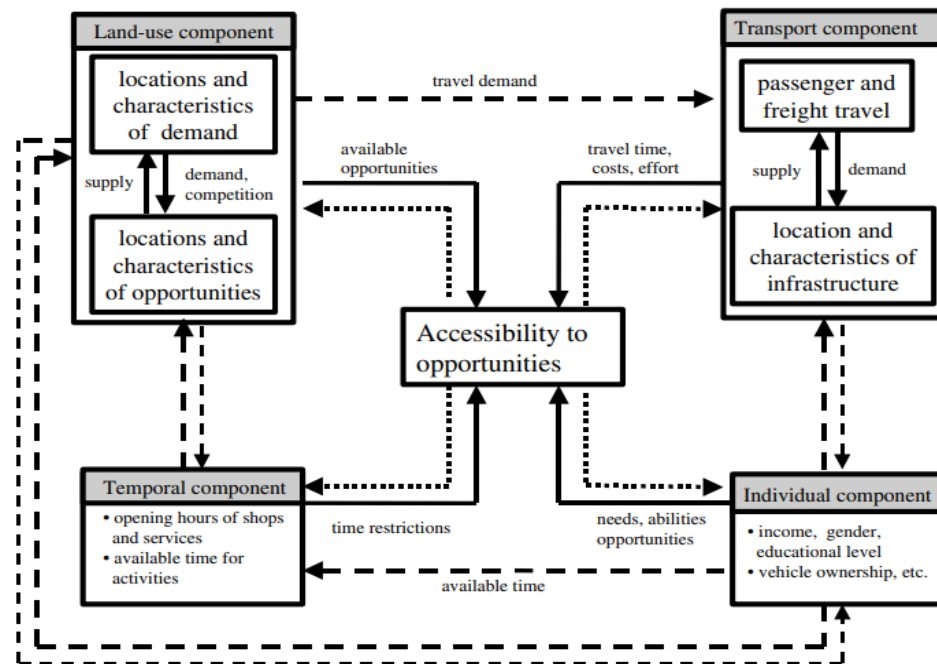


Ilustración No. 5 Relación entre los componentes de accesibilidad. (Geurs, Van Wee, 2004).

Las medidas de accesibilidad más simples, como la velocidad de viaje, son fáciles de operacionalizar e interpretar, pero no siempre cumplen con los criterios teóricos necesarios. Las medidas más complejas y desagregadas pueden aumentar la complejidad y el esfuerzo para los cálculos y la interpretación, pero pueden ser más precisas y útiles para la evaluación de políticas. Se discuten las direcciones de investigación hacia medidas de accesibilidad teóricamente más avanzadas, que incluyen la inclusión de limitaciones espacio temporales individuales y los mecanismos de retroalimentación entre la accesibilidad, el uso del suelo y el comportamiento de viaje. Además, se menciona la necesidad de investigar las relaciones entre la accesibilidad, los valores de opción y los beneficios para los no usuarios, y la medición de diferentes componentes de la accesibilidad. Se concluye que las medidas de accesibilidad basadas en la infraestructura no son suficientes ya que carecen del componente de uso del suelo y de los elementos temporales e individuales.

Se sugiere que las medidas de accesibilidad basadas en la ubicación y la utilidad son más efectivas y útiles para las evaluaciones sociales y económicas, pero aún tienen deficiencias teóricas relacionadas con las

limitaciones espaciotemporales de los individuos. Además, se identifica la necesidad de operacionalizar medidas de accesibilidad más avanzadas que sean fáciles de interpretar para investigadores y responsables políticos y que puedan ser calculadas con datos y modelos de última generación. Se concluye que las futuras investigaciones deberían centrarse en la mejora de las medidas de accesibilidad y en la exploración de nuevas direcciones de investigación.

En Colombia se pueden mencionar diversos autores que con sus investigaciones han generado aportes de gran importancia para el desarrollo metodológico y contextualización de este proyecto, entre los cuales cabe resaltar las siguientes:

La accesibilidad terrestre a los puertos marítimos de Colombia. Una aproximación desde la equidad territorial (Rodríguez Mariaca et al., 2018a)

El estudio se enfocó en analizar la accesibilidad terrestre a los puertos marítimos en Colombia, específicamente en las Sociedades Portuarias Regionales de Barranquilla, Buenaventura, Cartagena, Santa Marta y Tumaco. El objetivo del estudio es determinar los niveles de accesibilidad terrestre y la brecha en la provisión de infraestructura de transporte a nivel departamental, utilizando indicadores para evaluar la calidad de la infraestructura de transporte, como la red vial y férrea, y su conexión con los puertos y núcleos urbanos. También explora la relación entre el desarrollo económico y la inversión en infraestructura de transporte y cómo factores de entorno, contextuales y dinámicas históricas tienen gran relevancia en la magnitud de estos impactos. Se destaca la importancia de futuros desarrollos en infraestructura de transporte, como la entrada en operación de vías de tercera y cuarta generación, concesiones férreas y mejoramiento del sistema aeroportuario y de los puertos marítimos. Se utilizaron datos de varias fuentes para evaluar la accesibilidad terrestre a los puertos colombianos y la equidad en la provisión de infraestructura de transporte terrestre en diferentes departamentos.

Durante el estudio fueron utilizados tres indicadores de accesibilidad: el Indicador de Densidad, el Factor de Ruta y el Factor de Ruta Integral, para evaluar la infraestructura de transporte de Colombia. Los resultados del estudio mostraron que los departamentos con mayor infraestructura de transporte tienen la mayor participación del Producto Interno Bruto en el país. Además, la costa Caribe es la zona del país con los mejores resultados en el índice de Factor de Ruta Integral, mientras que los puertos de la costa Pacífica tienen niveles de accesibilidad muy bajos. Se concluye que la optimización de la infraestructura de transporte es esencial para mejorar la

eficiencia y reducir los costos en Colombia, garantizando la accesibilidad territorial de todos las unidades geográficas o departamentos.

La intermodalidad es una estrategia clave para lograr esto, considerando las ventajas y desventajas de los sistemas de transporte terrestre y eligiendo el modo de transporte apropiado para cada situación. Es necesario reactivar el ferrocarril y consolidar la red férrea para lograr una mayor cobertura del territorio y superar la condición de dominación geográfica entre departamentos líderes y rezagados en competitividad. Colombia presenta deficiencias en su provisión de infraestructura de transporte de superficie y grandes diferencias regionales que afectan el desarrollo de sus habitantes. En general, el estudio proporcionó información importante sobre la infraestructura de transporte y la accesibilidad en diferentes regiones de Colombia.

Evaluación espacial de zonas potenciales de centros de distribución de cafés especiales, caso del Departamento de Nariño – Colombia (Goyes Chaves et al., 2022a)

Este texto describe los métodos utilizados en un estudio de evaluación de las cadenas de suministro de los cafés especiales producidos en el departamento de Nariño, Colombia. Se seleccionaron criterios, incluyendo la producción municipal, la conectividad vial y las temperaturas medias, y se aplicaron diferentes métodos de análisis, como la medida del factor de ruta integral, la interpolación IDW y el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). También se utilizó el método de Combinación Lineal Ponderada (WLC) para combinar los criterios y priorizar las alternativas. El objetivo del estudio es mejorar la competitividad y la calidad del producto final mediante la identificación de estrategias para abordar los desafíos en la comercialización y generación de valor agregado. Los expertos seleccionados provienen de diversas áreas, incluyendo conectividad vial, cadenas de suministro y almacenamiento, del sector público y privado nacional e internacional.

El Departamento de Nariño se encuentra en el suroeste de Colombia y es conocido por producir cafés de alta calidad, con características únicas que los diferencian de los cafés convencionales y generan un interés considerable entre los consumidores dispuestos a pagar un precio superior. Sin embargo, el departamento enfrenta desafíos significativos en la comercialización y generación de valor agregado debido a problemas de infraestructura y transporte que impactan negativamente su cadena de suministro. Identificar y abordar estas deficiencias es crucial para

aprovechar plenamente el potencial de los cafés especiales de Nariño en el mercado nacional e internacional.

Spatial analysis of the impact of transport accessibility on regional performance: A study for Europe (Freiria et al., 2022)

El artículo aborda el impacto de la accesibilidad del transporte en el desarrollo regional y propone una metodología para evaluar esta relación. Se utiliza el Análisis de Envoltura de Datos (DEA) y el análisis de relaciones bivariados locales como técnicas para examinar dicha relación. La metodología consta de tres etapas. En la primera etapa, se emplea el DEA para evaluar el rendimiento regional, considerando medidas como el stock de capital y la tasa de población activa. En la segunda etapa, se analiza la relación entre la accesibilidad de diferentes modos de transporte y el rendimiento regional utilizando el análisis de relaciones bivariados locales. Por último, se identifican factores predictivos mediante la significancia de Moran. Los resultados indican que aproximadamente la mitad de las regiones analizadas presentan una relación significativa entre la accesibilidad del transporte y el rendimiento regional. Esto sugiere que las regiones con alto rendimiento, pero baja accesibilidad podría beneficiarse de inversiones en infraestructura de transporte. Se examinan los modos de transporte por carretera, ferrocarril y aire, y se identifican patrones de centralidad y periferia en la accesibilidad. Además, se exploran factores explicativos como el tipo de clúster de Moran, la centralidad geográfica y si una región es una capital nacional. Los resultados muestran que las regiones centrales y periféricas tienen una mayor probabilidad de tener una relación significativa entre la accesibilidad y el rendimiento regional en los modos de transporte por carretera y ferrocarril. Sin embargo, la centralidad geográfica no es un buen predictor para la accesibilidad aérea. Los resultados sugieren que la accesibilidad del transporte puede tener un impacto significativo en el rendimiento regional, y que las inversiones en infraestructura de transporte podrían fomentar un mayor desarrollo regional. También se destaca la importancia de considerar factores como la centralidad y el contexto regional al tomar decisiones de inversión pública. Su relevancia para este estudio se manifiesta en la utilización de patrones de uso y selección de rutas, así como en la relación con el modelado de los nodos, considerando nodos intermedios en función del tipo de transporte. Además, fue importante analizar la forma en que se presentan los resultados utilizando la herramienta Geoda para representar la distribución de la variable sobre el territorio

An exploratory study of spatial patterns of cycling in Tel Aviv using passively generated bike-sharing data (Levy et al., 2019)

En este estudio se analizan los patrones espaciales de uso de bicicletas compartidas en la ciudad de Tel Aviv y su relación con la infraestructura existente y el transporte público. Se utilizan modelos de transporte y análisis geoestadísticos para comprender mejor estos patrones. Los resultados muestran que los viajes en bicicleta no están equilibrados, con diferentes comportamientos asociados a la longitud de los viajes. En el caso específico de Tel Aviv, se observa un aumento significativo en el uso de bicicletas, especialmente para desplazamientos al trabajo. El sistema de bicicletas compartidas de la ciudad, Tel-O-Fun (TOF), desempeña un papel importante en la movilidad urbana. El análisis se basa en datos recopilados durante seis meses en 2015 y se centra en la distribución espacial de las distancias de los viajes en bicicleta, los patrones de uso y elección de rutas, y la relación con el transporte público. Utilizando el software GeoDa se realizó una regresión lineal (OLS) entre los z-scores de las bicicletas (dependiente) y los autobuses (independiente). Los resultados mostraron el mismo valor de Global Moran I y la prueba del multiplicador de Lagrange obtuvo los valores del multiplicador de Lagrange y de error dado que tanto el índice de Moran Global como la prueba del multiplicador de Lagrange son significativos, existe dependencia espacial y una simple regresión lineal (OLS) arroja estimaciones sesgadas debido a que los errores no se distribuyen con normalidad, igualmente, el análisis de los índices de tráfico. Para compensar este hecho, se aplicó una regresión ajustada espacialmente (SAR), que sugiere la necesidad de realizar más investigaciones que incluyan el seguimiento y la encuesta de diferentes grupos de ciclistas para obtener una comprensión más completa de los patrones de movilidad y las elecciones de rutas.

Performance of Accessibility Measures in Europe (Baradaran & Ramjerdi, 2001)

Este artículo presenta una recopilación de las diferentes propuestas tanto empíricas como teóricas de los métodos para medir la accesibilidad, dado que no existe una definición universalmente reconocida de este concepto; sin embargo, sí existen diferentes tipos de indicadores y modelos cuyo objetivo es presentar un mecanismo que se clasifica según su teoría subyacente permitiendo libertades de interpretación según sea la necesidad del modelador o de la base de datos. Entre estos indicadores se encuentran los enfocados en costos de viaje, de gravedad u oportunidades, basados en restricciones, en excedentes de utilidad y compuestos con sus respectivos modelos matemáticos. Así mismo, presenta un caso de estudio el cual toma

el continente europeo como zona de estudio y utilizan las funciones lineal, exponencial y transformada Box Cox del tiempo de viaje para generar cartografía de iso-accesibilidad y verificar los efectos de las formas funcionales de la variable disuasión y el efecto conglomeración.

5. METODOLOGÍA

Esta investigación tuvo por objetivo la determinación de la accesibilidad de las zonas de producción de café especial en el departamento de Nariño hacia los equipamientos portuarios para la exportación del café con el fin ser una herramienta de planificación y análisis espacial; para ello, se utilizaron modelos de accesibilidad para evaluar la conectividad entre los puntos de producción y los puertos marítimos. Además, se caracterizó la red de infraestructura de transporte y se estimó la accesibilidad espacial hacia los equipamientos portuarios, contribuyendo así a mejorar la planificación y desarrollo de la cadena logística del café en la región.

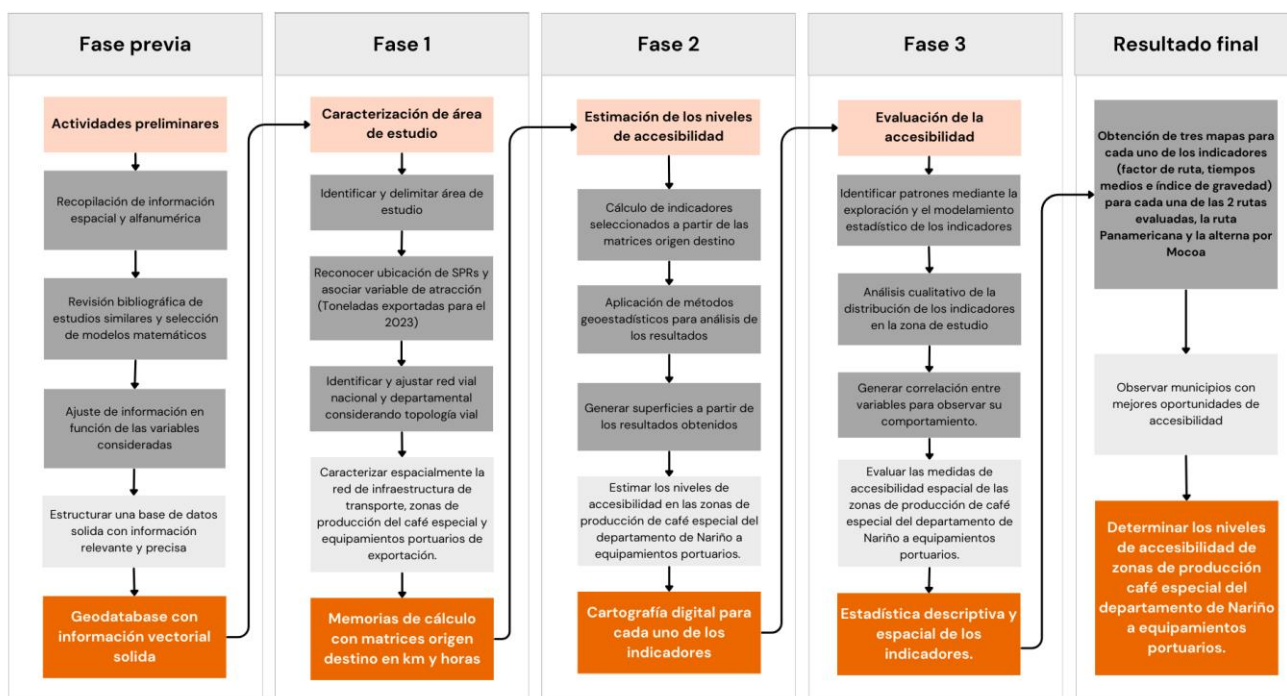


Ilustración No. 6 Diagrama metodológico para el desarrollo de la investigación, fuente elaboración propia, 2024

Como se muestra en la ilustración 6, se logró el cumplimiento de los objetivos planteados para la investigación, proponiendo una metodología de 3 fases y una

fase previa que consideró dos escenarios con base en la información disponible. El primer escenario contempla una ruta base que conecta a San Juan de Pasto con el interior del país mediante la vía Panamericana, y el segundo escenario considera una ruta alternativa Pasto - San Francisco - Mocoa hacia el interior del país, debido a los diferentes acontecimientos de origen geo climático y sociopolítico.

Una fase previa permitió realizar un primer acercamiento con la caracterización espacial de la zona de estudio. Para ello, se desarrollaron las siguientes 3 actividades:

1. Recopilar y analizar información espacial de tipo vectorial y alfanumérica obtenida a partir de fuentes oficiales y entes del estado, como el Ministerio de Transporte, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Departamento de Planeación Nacional (DNP), el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
2. Realizar una revisión bibliográfica de estudios similares en el área de la accesibilidad que permitan seleccionar modelos matemáticos pertinentes que aborden el alcance del objetivo principal.
3. Ajustar la información en función de las variables consideradas, con el objetivo de garantizar la relevancia y precisión de los datos recopilados generando una Geodatabase con información tipo vectorial sólida.

Para alcanzar el primer objetivo específico: Caracterizar espacialmente la red de infraestructura de transporte, zonas de producción del café especial y equipamientos portuarios de exportación, se realizaron las siguientes 3 actividades:

1. Identificar y delimitar las zonas de producción de café especial del departamento de Nariño.
2. Localiza los puertos marítimos de Colombia e identificar la variable de atracción, exportaciones anuales de café.
3. Identificar y ajustar la red vial nacional y municipal considerando tanto la tipología como la topología vial, incluyendo el análisis de redes para evaluar la conectividad y eficiencia del sistema de transporte.

Para el segundo objetivo específico: estimar los niveles de accesibilidad en las zonas de producción de café especial del departamento de Nariño a equipamientos portuarios, se desarrollaron las siguientes 3 actividades:

1. Generar la matriz Origen-Destino en tiempo y distancia para los nodos o centroides definidos y a partir de la información recopilada en los ítems anteriores calcular los indicadores seleccionados (Presencia y ausencia, Factor de ruta, Tiempos medios y de Gravedad o Hansen) para cada unidad geográfica o municipio productor de café.
2. Analizar las medidas y niveles de accesibilidad del área de estudio utilizando métodos Geoestadísticos, específicamente para el objetivo de esta investigación la interpolación Ponderación de Distancia Inversa (IDW) con el fin de representar gráficamente la distribución de cada uno de los indicadores en superficies continuas y permitiendo a su vez, generar curvas de iso-accesibilidad e isócronas.
3. Generar cartografía digital para cada una de las variables e indicadores analizados.

Para el ultimo objetivo específico: Evaluar las medidas de accesibilidad espacial de las zonas de producción de café especial del departamento de Nariño a equipamientos portuarios, se realizaron las siguientes actividades:

1. A partir de los modelos de superficies continuas de accesibilidad y la superposición con la división política de Nariño, se logró dictaminar los municipios con mayores y menores desventajas para el transporte del producto cafetero a las terminaciones portuarias en términos de tiempo, eficiencia de las rutas y el potencial de participación de cada municipio productor en la exportación de los puertos.
2. Con la cartografía y resultados generados, se realizaron análisis para la detección de patrones espaciales mediante la exploración y el modelamiento estadístico de los indicadores. Esto permitió identificar áreas con condiciones favorables y desfavorables para el transporte del café.
3. Con base en la información proporcionada y generada como área cosechada, producción en toneladas, rendimiento y las variables obtenidas como lo son los resultados de los indicadores para cada municipio, se generaron correlaciones con la utilización del método de Pearson, con el fin de inferir relaciones estadísticas entre estas.

4. El resultado final es la obtención de tres mapas para cada uno de los indicadores (factor de ruta, tiempos medios e índice de gravedad) para cada uno de los escenarios, los cuales permiten determinar los niveles de accesibilidad en el departamento de Nariño.

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el departamento de Nariño, caracterizado por su topografía que le permite disfrutar temperaturas cálidas, templadas, frías, de páramo y del casquete glacial dadas las alturas que varían entre los 0 y los 4,764 msnm. Así mismo, Nariño posee una tectónica compleja que se manifiesta en su relieve topográfico y su actual actividad sísmica y volcánica, por otra parte, los fenómenos climáticos y la ocupación del territorio, hacen que el departamento se encuentre expuesto a diferentes amenazas sísmicas, volcánicas, remoción en masa, inundaciones, incendios forestales y tsunamis (Plan Departamental de Seguridad Vial de Nariño, 2019).

Un caso que refleja lo anteriormente expuesto fue en enero del 2023, un derrumbe ocurrido en el municipio de Rosas, Cauca, afectó severamente la vía Panamericana que conecta Nariño con el resto del país, esta vía es parte de la conocida Ruta Panamericana que es la unión de un sistema de carreteras que vincula a casi todos los países del continente americano. Este evento provocó pérdidas millonarias y obligó a utilizar una ruta alternativa a través del conocido "Trampolín de la Muerte" que sirvió como vía temporal; mientras que, la vía Panamericana permaneció cerrada.

El trampolín de la muerte es un tramo de carretera, catalogado como una de las vías más peligrosas del mundo, representa un desafío constante en sus 80 km de extensión. Con 18 curvas por kilómetro y un solo carril de 3 metros de ancho, sin pavimentar, transitar por esta ruta es una experiencia angustiante. Las condiciones empeoran con el polvo que se convierte en lodo, especialmente en un terreno inestable afectado por las lluvias constantes. Este recorrido atraviesa una topografía agreste, desde los 600 hasta los 2,800 msnm. La densa niebla y los deslizamientos frecuentes aumentan aún más el peligro, dejando presente en la mente el temor a los profundos precipicios que han cobrado numerosas vidas (Serrano, 2022).

5.2. ZONIFICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

Con el objetivo de facilitar el análisis, se decidió sintetizar la zona de estudio utilizando la producción de café como variable principal. Este enfoque permitió reducir el número de departamentos considerados, pasando de 64

a 44. Posteriormente, estos 44 municipios fueron clasificados según su ubicación geográfica en cinco regiones: sur, norte, oeste, este y centro. Durante el proceso de agrupación, se tomó en cuenta no solo la producción de café, sino también la cantidad de infraestructura vial disponible en cada unidad geográfica. Esto permitió una comprensión más detallada de la distribución de infraestructura vial, destacando que las zonas sur y centro presentan la mayor concentración de infraestructura vial, lo que podría influir en la accesibilidad y conectividad de estas áreas.

5.3. EQUIPAMENTOS PORTUARIOS

Los puertos marítimos son fundamentales para los intercambios internacionales en las economías modernas (Seguí & Martínez, 2004) y Colombia cuenta con zonas costeras ubicadas sobre el océano pacífico y el océano atlántico permitiéndole la ventaja de poseer varios puertos marítimos conocidos como Sociedades Portuarias Regionales (SPR's), los cuales se definen como Puertos Especializados y Privados. Las SPR son resultados de políticas gubernamentales para mejorar eficiencia del transporte marítimo (Viloria De la Hoz, 2000). Los principales SPR's de Colombia son 5, en el departamento de Bolívar, el SPR de Cartagena, en el Valle del Cauca está el SPR de Buenaventura, en el Magdalena está el SPR de Santa Marta, en el Atlántico el SPR de Barranquilla y en Nariño el SPR de Tumaco en orden respectivamente según sus exportaciones en toneladas para el 2022. (Superintendencia de Transporte, 2022)

Sin embargo, de las 10 zonas portuarias (ANALDEX, 2024) solo 4 son exportadores del producto cafetero tomando en consideración los análisis presentados por la FNC (Federación Nacional de Cafeteros, 2023) siendo el puerto de Buenaventura el que mayor exportación genera con 6,858.8 miles de toneladas, siguiéndole el puerto de Cartagena con 3,625.9 miles de toneladas, posteriormente Santa Marta con 899.3 miles de toneladas y por último, el puerto de Barranquilla con 3.7 miles de toneladas para el cierre del año 2022.

5.4. IDENTIFICACION DE INFRAESTRUCTURA VIAL

El departamento de Nariño cuenta con una infraestructura vial de 6,500 kilómetros aproximadamente, de los cuales 768.68 kilómetros son de la Red Troncal y Transversal, la cual atraviesa el departamento de sur a norte y de oriente a occidente cumpliendo con la función de interconectar el país con el

sur del continente. Por otra parte, 1,369.6 kilómetros corresponden a la red secundaria y 1,554 kilómetros a la red terciaria. (Subsecretaría de Tránsito y Transporte Departamental & Gobernación de Nariño, 2004b).

Este tipo de clasificación de las carreteras en tres grupos se basa en la Resolución número 0744 del 4 de marzo de 2009 y cataloga las vías como:

- Vías Primarias (Grupo 1): Estas son las carreteras principales que conectan las principales zonas de producción y consumo del país, así como con otros países. Incluyen troncales, transversales y accesos a capitales de departamento, y deben estar pavimentadas.
- Vías Secundarias (Grupo 2): Estas carreteras unen las cabeceras municipales entre sí o las conectan con una carretera primaria. Pueden estar pavimentadas o tener una superficie afirmada.
- Vías Terciarias (Grupo 3): Estas son las vías de acceso que conectan las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Deben tener una superficie afirmada y, si se pavimentan, deben cumplir con las condiciones geométricas de las vías secundarias.

Por otra parte, el IGAC propone una clasificación de las vías con base en el material, características geométricas y otras variables que permiten tener una visión más detallada de la infraestructura vial con la que cuenta el departamento, su distribución e incluso desafíos en el tránsito que puede generar su estado. Esta clasificación se presenta en el Catálogo de Objetos Geográficos Cartografía Básica (IGAC, 2016) como:

- Vía tipo 1: Vía pavimentada, más de dos carriles para el tráfico vehicular, animal o personas, cuyo ancho excede de 5m.
- Vía tipo 2: Vía Sin Pavimentar, más de dos carriles, para el tráfico vehicular, animal o personas, cuyo ancho excede de 5m.
- Vía tipo 3: Vía Pavimentada y angosta, Transitable todo el año, cuyo ancho es inferior o igual a 5m.
- Vía tipo 4: Vía Sin Pavimentar y angosta, para el tráfico vehicular, animal o personas, cuyo ancho es inferior o igual a 5m.
- Vía tipo 5: Carreteable transitable en tiempo seco, para el tráfico vehicular, animal o personas.

- Vía tipo 6: Carreteable sin afirmado, para el tráfico vehicular, animal o personas.

5.5. INDICES DE ACCESIBILIDAD

Para poder llevar a cabo las actividades propuestas en este estudio, se procedió a identificar modelos matemáticos mayormente usados en estudios de accesibilidad, mediante la consulta en bases de datos especializadas como lo fueron SCOPUS, Web of Science (Wos), entre otras. Una vez se tuvo la base de datos expuesta en el marco teórico y para lograr el alcance propuesto en este documento, se realizó una selección de 4 indicadores fundamentales para la evaluación y determinación de la accesibilidad en las zonas de producción de café especial del departamento de Nariño hacia las terminales de exportación por su simplicidad en su representación, calidad de los resultados respecto a la variable analizada y viabilidad en la información para su cálculo.

Posteriormente, para la implementación de los indicadores seleccionados se realizó el cálculo de matrices origen-destino que contienen información sobre las distancias entre los nodos utilizando la red de transporte actual y los tiempos que conlleva su recorrido. Estos datos fueron calculados a partir de información vectorial obtenida de la herramienta de acceso libre “My Maps” de Google, la cual brinda el trazado de la ruta mínima para los nodos de inicio y fin proporcionados. Se definieron los centroides geométricos de las 44 zonas de producción como nodos de inicio. El centro de distribución de AlmaCafé en Pasto se utilizó como un nodo intermedio estratégico, y los nodos de fin fueron los puertos de Buenaventura, Barranquilla, Santa Marta y Cartagena.

Subsecuentemente, con el software ArcGIS se realizó el cálculo de la distancia euclidiana para cada ruta con la calculadora de campos. Subsiguiente, con la superposición de capas vectoriales, se pudo caracterizar el tipo de vía y asignarse una velocidad de operación, la cual gracias a la resolución 20233040025995 de 2023, se estipuló como límite de velocidad en carreteras nacionales y departamentales como noventa (90) kilómetros por hora y para vías urbana y carreteras municipales será cincuenta (50) kilómetros por hora (Ministerio de Transporte, 2022). Con base en las distancias y la velocidad de operación fueron calculados los tiempos de recorrido en horas, lo cual permitió una evaluación más completa de la red de transporte en términos de distancia y eficiencia temporal.

Es importante resaltar, para cada uno de los indicadores de accesibilidad propuestos, así como su respectivo análisis, fue realizado para dos rutas propuestas, de acuerdo con la información disponible como se ha venido mencionando. Para ello se propuso un primer escenario, un escenario base con la ruta que une las zonas de producción con el centro de distribución y las terminaciones portuarias utilizando la vía Panamericana. Y una segunda ruta, asumiendo un escenario 2 donde existe un bloqueo o afectación de la vía Panamericana y conlleve a utilizar la alternativa Pasto- San Francisco – Mocoa, para lograr llevar los productos a las terminaciones portuarias con el fin de contrastar y destacar la relevancia del estudio actual sobre la accesibilidad y la planificación de rutas, subrayando la importancia de prepararse para contingencias similares en el futuro.

5.5.1. Matriz Origen- Destino

La matriz origen-destino es una forma matricial de representar la relación que presentan los nodos de inicio con los finales y asignar características como lo define (Izquierdo de Bartolomé, (1994) la matriz origen destino o también conocida como de conectividad, permite identificar la conexión directa entre cada par de nodos, para este caso se realizó la suma de distancia y tiempos que existen, considerandos la trazabilidad de la cadena de suministro que consiste en llevar el producto desde las zonas de producción hasta el centro de distribución y desde el centro de distribución hacia las terminas portuarias; así mismo, se tuvo en consideración la ruta alterna que pasa por Mocoa.

Para su construcción se consideraron los elementos que participan en la matriz, los nodos de inicio que para este caso fueron las 44 zonas de producción de café especial del departamento de Nariño y como nodos de fin, las Sociedades Portuarias, que exportan café, las cuales fueron 4. Todos estos fueron analizados a un mismo punto, el centro de distribución AlmaCafé; una vez se obtuvieron los vectores, dos de 44x1 para la distancia y tiempo desde los centroides de las zonas de producción hacia el centroide del centro de distribución y otros 2 de 1x4 para la distancia y tiempo desde el centroide del centro de distribución hacia los centroides de los equipamientos portuarios para cada escenario, se procedió a generar la matriz de conectividad entre los nodos inicio y fin, sumando las distancias y los tiempos que se obtuvieron en los vectores anteriores, al ser valores escalares se sumaron de forma directa obteniendo el valor final en distancia y tiempo para cada uno de los arcos que unen dichos nodos. Esta información se puede observar en los anexos 5 al 7.

Mientras que, el escenario 2 fue realizado de igual forma al escenario 1 tomando en cuenta los tiempos y distancias que se tomaron desde el centroide de AlmaCafé al centroide de los municipios de Mocoa y Pitalito para posteriormente, desde Pitalito ser transportado hacia los equipamientos portuarios como se puede apreciar en los anexos 8 al 10.

5.5.2. Factor de Ruta

El factor de ruta es un indicador que evalúa la eficiencia del trazado de una ruta en la red de transporte al comparar la distancia real recorrida con la distancia teórica más corta entre dos puntos, conocida como distancia euclidiana. Este indicador es esencial para identificar cómo factores como la topografía, la infraestructura vial y los posibles obstáculos que afectan la linealidad y eficiencia de una ruta. Su principal objetivo es medir la calidad del trazado de las rutas, evaluando qué tan cerca está la ruta real de una línea recta entre dos nodos en la red de transporte. En otras palabras, cuanto más se asemeje la ruta entre dos puntos a una línea recta es más eficiente su trazado y su valor ser más cercano a 1.

Por otro lado, valores superiores a 1.5 indican una red vial de calidad regular, donde pueden surgir obstáculos o dificultades para el desplazamiento. En situaciones en las que el índice supera 2, es probable que nos encontremos en áreas geográficas montañosas con desafíos significativos en cuanto a la infraestructura de transporte, o bien, en vías que no resultan idóneas para el tránsito eficiente.

Para el cálculo de este indicador se tuvo en cuenta la ecuación (13) y para ello, se comenzó por generar la matriz origen-destino; esta fue elaborada teniendo en cuenta 44 zonas de producción en el departamento de Nariño. Este proceso, empleó la herramienta de Google My Maps para obtener las rutas óptimas con base en la infraestructura vial existente y con el software ArcGIS, calcular las distancias que conlleva la ruta.

$$R_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{d_{ij}}{d_{ij}^0} \quad (13)$$

Como se puede observar en la ecuación 13 el valor de “n” hace referencia a la cantidad de nodos finales, los cuales fueron los 4 puertos que presentan exportación de café. Esto permite explorar las potenciales ventajas que podría ofrecer la mejora y acondicionamiento de este puerto en el contexto de la exportación de café. Además, dada la importancia del sector agrícola

en el departamento, según los informes del DANE, este análisis podría extenderse a otros productos agrícolas, potenciando así la diversificación y optimización de las actividades de exportación.

Por otra parte, el numerador corresponde a las distancias reales o totales (d_{ij}) calculadas utilizando la herramienta Network Analyst de ArcGIS y el denominador a las distancias euclidianas (d_{ij}^0), las cuales para su cálculo se utilizó la ecuación (14), una formulación matemática propuesta por Vincenty para el cálculo de distancias entre dos puntos de la superficie de un elipsoide, este modelo fue fundamental para el indicador, ya que las distancias euclidianas representan la distancia más corta entre dos puntos, considerando la geometría del espacio.

$$d_E = \left[\left(\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_2 - \lambda_1) \right) \right] * 6371 \quad (14)$$

Donde:

d_E : Distancia euclidiana

φ_1, φ_2 : Latitud geodesica

λ_1, λ_2 : Longitud

La constante representa al radio de la Tierra, 6371 km.

El cálculo de distancias euclidianas es esencial para evaluar la calidad de las rutas y determinar las posibles mejoras necesarias en la infraestructura de transporte, especialmente en regiones montañosas o de difícil acceso, como las analizadas en este estudio. Este tipo de medición proporciona un punto de referencia con el cual se puede comparar la distancia real de una ruta. La comparación entre la distancia real y la distancia euclidiana permite identificar rutas que podrían beneficiarse de un mejor trazado para optimizar el transporte de productos agrícolas, como el café, desde las zonas de producción hasta los terminales de exportación. Si la distancia real se aleja considerablemente de la euclidiana, esto indica que la ruta en cuestión está lejos de ser óptima en términos de distancia y, por ende, de tiempo y costos de transporte. La ecuación de Vincenty, utilizada para calcular esta distancia, toma en cuenta la forma elipsoidal de la Tierra, lo que permite obtener una medida más precisa entre dos puntos geográficos. De esta manera, las distancias euclidianas son esenciales no solo para el cálculo del factor de ruta, sino también para cualquier análisis que busque mejorar la eficiencia en la red de transporte, optimizando las rutas para reducir tanto la distancia recorrida como los recursos necesarios para el transporte.

5.5.3. Tiempos Promedio de Viaje

De acuerdo con la definición propuesta por Chías Luis & Reséndiz Héctor en el 2008, el indicador de tiempos medios se fundamenta en la relación entre los centroides de las localidades conectadas a la red de transporte y las rutas óptimas que conforman los árboles de camino, considerando, además, las matrices origen-destino de dichas localidades.

La medición del indicador tiempos medios o promedio de viaje se lleva a cabo para evaluar la accesibilidad de las zonas de producción de café especial en el departamento de Nariño hacia los equipamientos portuarios. Proporciona una visión clara y cuantificable de la eficiencia en el transporte, permitiendo identificar áreas donde los tiempos de viaje son óptimos y aquellas donde pueden mejorarse.

Para ello, se tuvo en consideración la ecuación (15), la cual presenta un cociente entre los tiempos de viaje calculados desde los centroides de las zonas de producción hacia las terminaciones portuarias, los 4 puertos marítimos de estudio: Cartagena, Santa Marta, Buenaventura y Barranquilla (t_{ij}). Y se relacionan con el número total de zonas de interés que corresponden a los puertos marítimos (N). En esencia, este indicador proporciona una comprensión más profunda de los tiempos de conducción, permitiendo analizar de manera precisa las relaciones espaciales entre los centroides de producción y los puntos estratégicos en la red de transporte para la distribución del producto hacia los terminales portuarios, su formulación se puede observar a continuación:

$$TM = \sum_{j=1}^n \frac{t_{ij}}{N} \quad (15)$$

El indicador de tiempos medios se utiliza como una herramienta integral para evaluar la eficiencia y operatividad de la red de transporte en un contexto logístico. También conocido como indicador de oportunidades acumuladas, este parámetro permite identificar y agrupar los puntos que presentan tiempos promedio de viaje similares. Analizando los clústeres generados, se pueden visualizar áreas con condiciones homogéneas en cuanto a tiempos de desplazamiento, facilitando el acceso y la conectividad con puntos estratégicos, como los equipamientos portuarios. Esto es esencial para

optimizar las rutas y mejorar la eficiencia en la distribución del café hacia los puertos de exportación.

5.5.4. Indicador de Gravedad de Hansen

La determinación del indicador de gravedad de Hansen se lleva a cabo con el objetivo de analizar de manera cuantitativa la influencia de la exportación de café en relación con los tiempos de viaje y la proximidad a las vías primarias, ofreciendo la oportunidad de identificar áreas de mejora en aquellas zonas que presentan una menor atracción o desempeño en el contexto de la exportación de café.

Al aplicar este indicador, es posible identificar que municipios ejercen una mayor influencia en el flujo de exportación de café, teniendo en cuenta factores como la accesibilidad a las principales vías de transporte y los tiempos de desplazamiento asociados. Para ello se utilizó la ecuación (16) donde se observa una variación con denominador exponencial del indicador.

$$Gravity[i]^r = \sum_{i \neq j \in d[i,j] \leq r_i}^N \left(\frac{E[j]}{e^{\beta d[i,j]}} \right) \quad (16)$$

Donde E [j] representa la matriz de oportunidades disponibles en este caso se tomaron los datos de exportación como variable de atracción, $e^{\beta d[i,j]}$ es una función exponencial que se ve afectada por los valores de la matriz $d[i,j]$ que se modelan como los tiempos de viaje entre los municipios i y j multiplicada por el coeficiente β que es el coeficiente de costo de viaje generalmente estimado a partir de un modelo de elección de destino, para esta investigación consideró un valor de 1, dada su imprecisión si el valor se asume mayor (Héctor & Carlos, 2017).

Tras la aplicación del modelo, los resultados obtenidos ofrecen una visión de la distribución espacial de la influencia exportadora entre los distintos municipios. Las zonas con un alto valor de gravedad son aquellas que, gracias a su accesibilidad y proximidad a las principales vías de transporte, ejercen una mayor atracción en el flujo de exportaciones. Por el contrario, las zonas con valores más bajos indican una menor conectividad y potencial de exportación, señalando áreas que podrían beneficiarse de mejoras en la infraestructura de transporte. Este enfoque analítico permite a las autoridades y los responsables de la planificación logística pueden identificar áreas críticas donde se requiere una intervención para mejorar la conectividad y la eficiencia del transporte. Este análisis no solo permite optimizar las rutas

existentes, sino también diseñar nuevas estrategias de desarrollo que potencien la competitividad del café de Nariño en los mercados internacionales. La implementación de estas estrategias puede incluir la mejora de la infraestructura vial, el desarrollo de nuevas rutas de transporte, o la implementación de políticas que faciliten el acceso de las zonas más aisladas a los principales corredores de exportación.

5.6. ANÁLISIS DE ACCESIBILIDAD

5.6.1. Interpolación de Distancia Inversa Ponderada

Una vez los indicadores fueron calculados para cada uno de los municipios, se empleó el método de interpolación (Inverse Distance Weighting) IDW, este procedimiento se realizó con el fin de representar la influencia de los indicadores dependientes de los nodos estudiados.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (17)$$

Donde Z_p es un valor estimado a partir de la interpolación del punto n ; Z_i es un valor de ejemplo el cual es conocido; D_i se obtiene como la distancia entre la localización i y la j . Para finalizar P es un parámetro de potencia. El modelo matemático del método presentado en la ecuación (17) presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra (ArcGIS Pro 3.3, 2021) y sus resultados se presentan en superficies continuas o datos Ráster (Watson, 1985).

5.6.2. Análisis estadístico.

Para el proceso de análisis estadístico posterior, se empleó el software Geoda para visualizar y comprender mejor la distribución y variabilidad de estos indicadores, se seleccionaron diversas distribuciones estadísticas y herramientas de representación gráfica. Entre ellas se incluyen los mapas de desviación estándar, los mapas de cortes de naturales y box maps. Esta metodología permite identificar áreas de oportunidad, puntos críticos y posibles áreas de mejora en la red de transporte y logística, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas y a la optimización de las estrategias de planificación y gestión en el departamento de Nariño.

5.6.3. Correlación de variables.

El análisis de correlación de variables permite explorar las relaciones y dependencias entre diversas variables, como las económicas y demográficas que se vinculan con los indicadores de accesibilidad. Para este estudio, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para investigar la relación entre múltiples variables clave: producción en toneladas y rentabilidad por hectárea/tonelada en 2022, factor de ruta calculado, tiempo promedio de viaje en horas, indicadores de Hansen, valor agregado municipal en 2023, área por municipio en km^2 y población por municipio. Este proceso revela patrones que ayudan a comprender cómo cambios en una variable pueden influir en otra, así como su comportamiento conjunto en diferentes escenarios. La cuantificación de la fuerza y dirección de estas relaciones proporciona información crucial para la toma de decisiones informadas y el diseño de estrategias efectivas. A continuación, se especifican las variables que fueron consideradas para el análisis.

Tabla 1 Descripción de variables de la ilustración 31. Fuente creación propia, 2024.

Variable	Descripción	Fuente
ProTon22	Producción en Toneladas para el año 2022	Agronet
RenHaTon22	Rentabilidad por Hectárea/Tonelada para el 2022	Agronet
Factor_Rut	Factor de ruta calculado	Cálculo propio
TM_Viaje_h	Tiempo Medio de Viaje en horas	Cálculo propio
Ind_Hans	Indicador de Hansen con modelo de la ecuación 9	Cálculo propio
Ind_Hans_1	Indicador de Hansen con modelo de la ecuación 13	Cálculo propio
Val_Agre_2	Valor agregado municipal 2023	DANE
Área	Área de cada municipio	DANE
Población	Población en número de personas de cada municipio	DANE

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Una vez completado el proceso metodológico, se presenta los productos relacionados, enfocando especialmente en la evaluación de la accesibilidad desde los puntos de producción hacia los equipamientos portuarios. Los resultados de accesibilidad obtenidos, para los indicadores analizados, se expresaron en cinco categorías:

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta

Estas categorías permiten evaluar la calidad de las rutas de transporte del producto cafetero; permitiendo a su vez, identificar los municipios con condiciones tanto favorables como desfavorables en términos de tiempo, calidad de la ruta y potencial de oportunidades de interacción.

Es fundamental destacar que la evaluación del primer escenario se concentra exclusivamente en la red vial principal desde Nariño-Cauca utilizando la vía Panamericana. Por otro lado, el escenario 2 constituye un estudio adicional que subraya la importancia de contar con planes de contingencia frente a eventos de gran escala, como el ocurrido el 9 de enero de 2023 en la zona rural de Rosas, Cauca, que resultó en el cierre total de la vía Panamericana durante varios meses. Este incidente ha intensificado el uso de esta ruta, la necesidad de evaluar y comprender las implicaciones logísticas y de seguridad asociadas con diversas opciones de ruta

6.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El departamento de Nariño está situado en el suroccidente colombiano cuenta con 64 municipios y 230 corregimientos, su extensión o superficie es de 33,268 km² (Gobernación del Nariño, 2015) equivalente al 2.9% del territorio nacional y limita al norte con el departamento del Cauca, al este con el departamento de Putumayo, por el sur con el Ecuador y el oeste con el Océano Pacífico, como se muestra en la ilustración 7 a continuación.

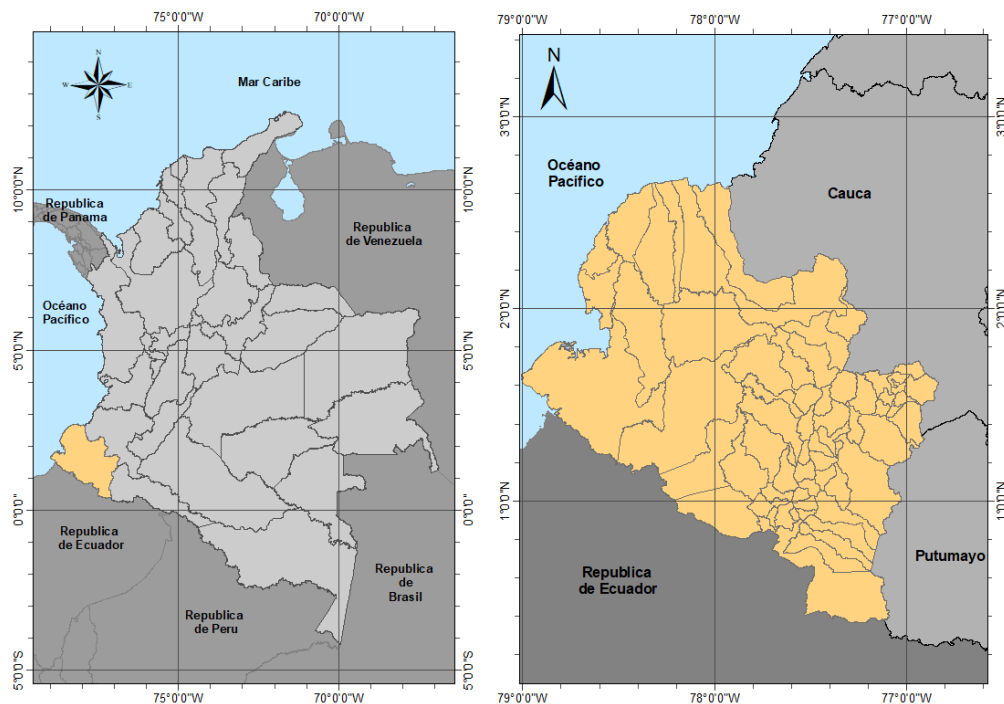


Ilustración No. 7 Ubicación del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2024.

En términos de caficultura, el 12% de las familias de Nariño se dedican a la producción de café, (38,848 familias), las cuales cultivan 37,761 hectáreas, con un promedio de 0.97 hectáreas por familia. Esta actividad genera alrededor de 116,544 empleos directos, y cerca de 300,000 empleos indirectos (CONPES 3811, 2014); sin embargo, de los 64 municipios que conforman el departamento, las zonas de producción de café especial en el Departamento de Nariño se encuentran en solo 44 municipios, los cuales se encuentran distribuidos por todo el departamento principalmente en el centro del departamento como se presenta en la ilustración 8.

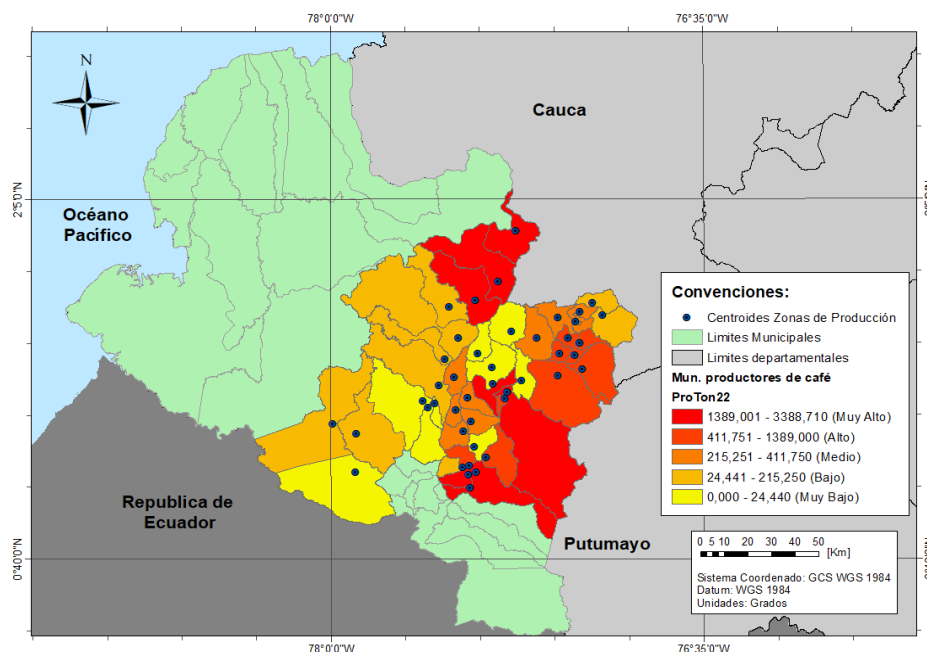


Ilustración No. 8 Municipios productores de café especial en el departamento de Nariño; Fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos provistos por Dr (C) Daniel Goyes, 2022 y FNC, 2022.

Por otra parte, como parte del proceso metodológico, se realizó la zonificación de la zona de estudio con el objetivo de enfocar las áreas más relevantes en cuanto a la presencia de fincas productoras de café especial. Como se mencionó anteriormente, esto permitió reducir el número de municipios considerados de 64 a 44. Los resultados de este proceso se presentan en la Tabla 1, donde se enumeran los nombres de los municipios que conforman cada zona identificada. Además, en la Ilustración 9 se visualizan las cinco zonas delimitadas, diferenciadas por colores para facilitar su identificación y comprensión. Esta zonificación no solo permite una mejor organización del área de estudio, sino que también destaca las regiones clave para la producción de café especial, proporcionando una base sólida para análisis futuros.

Tabla 2 Zonificación del departamento de Nariño; fuente propia, 2024

Zona sur		Zona norte		Zona centro	Zona este	Zona oeste
Contadero	Tangua	Belén	San Lorenzo	Ancuya	Alban	La Llanada
Cumbal	Tuquerres	Colón	San Pablo	Consacá	Arboleda	Los Andes
Funes	Yacuanquer	Cumbitara	Taminango	El Penol	Buesaco	Ricaurte

Guaitarilla		El Rosario		El Tambo	Chachagüí	Samaniego
Iles		La Cruz		La Florida	El Tablón	Santa Cruz
Imués		La Unión		Linares	San Bernardo	
Mallama		Leiva		Nariño	San Pedro de Cartago	
Ospina		Policarpa		Providencia		
Pasto				Sandona		

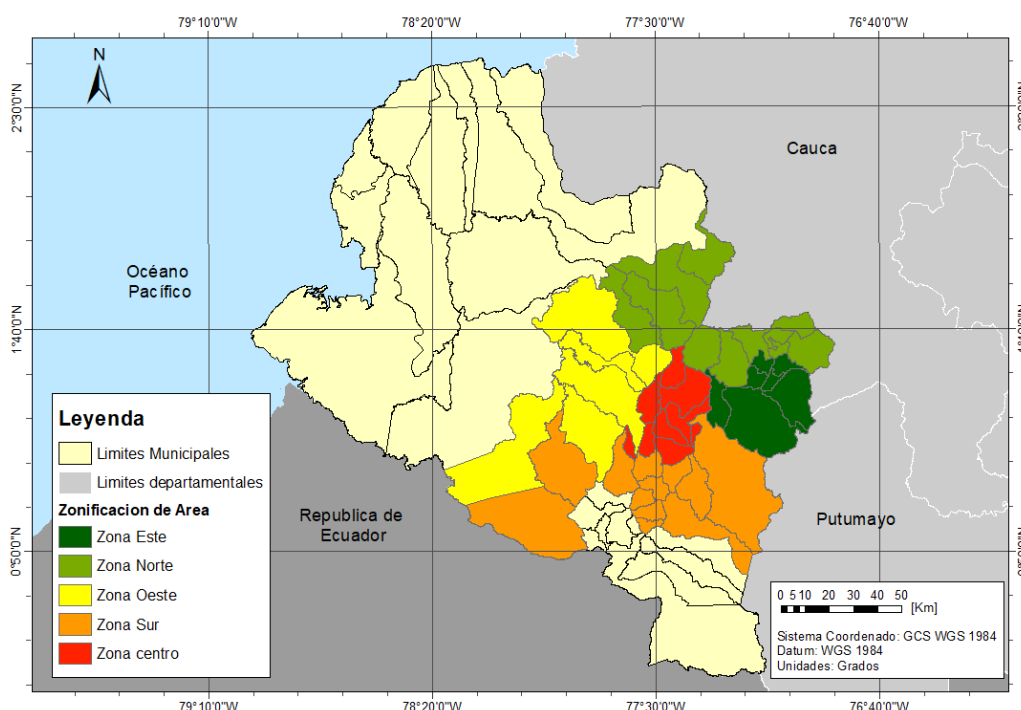


Ilustración No. 9 Zonificación del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2024.

6.1.1. Demografía de la zona de estudio:

En términos de población, el departamento de Nariño cuenta con el 3.7% de la población nacional equivalente con 1,335,521 habitantes (DANE, 2018). Los municipios que presentan una mayor concentración de la población son los municipios de San Andrés De Tumaco, Barbacoas, Olaya Herrera, El Charco, Samaniego, Tuquerres, Guachucal, Cumbal, Ipiales, Buesaco, Sandona, La Unión y la capital Pasto (ilustración 10) , municipio que cuenta con una participación del 26.9% con un total de 352,326 personas y 109,715 viviendas.

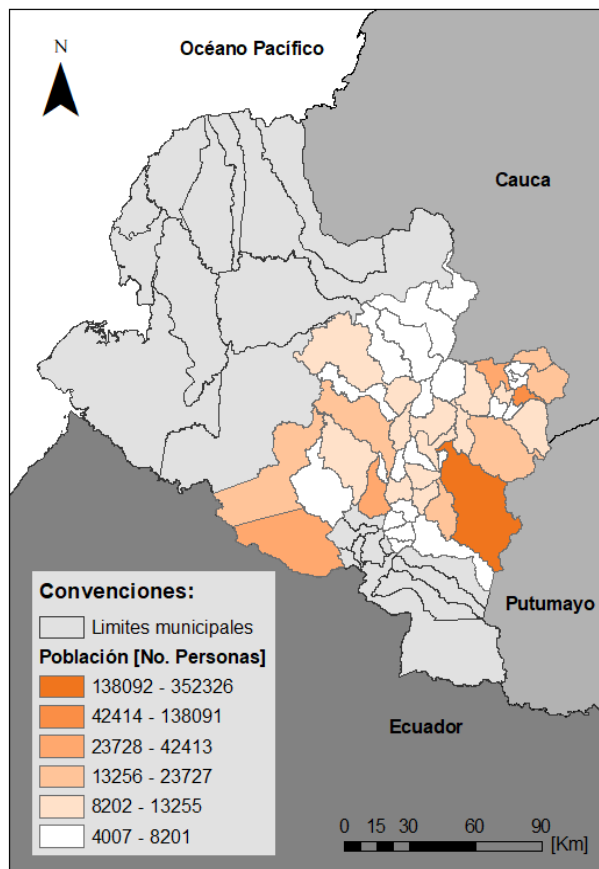


Ilustración No. 10 Cortes naturales para la variable Población en número de personas por municipio; elaboración propia a partir de datos del DANE, 2022.

6.1.2. Valor agregado de la zona de estudio:

Por otra parte, el uso del suelo en el departamento de Nariño se le asocian principalmente 3 tipos de actividad económica, la agrícola, ganadera y forestal. En relación con el desarrollo de la actividad agrícola, cuenta con cultivos permanentes de caña, plátano, banano, palma de aceite, café entre otros y los cultivos transitorios principales como papa, tomate, lechuga, cebolla de rama, entre otros. La región nariñense tiene un fuerte apoyo del sector agrícola, tal que representa el 3.4% del PIB sectorial (DANE, 2023). El departamento de Nariño es conocido por su vocación agropecuaria, contribuyendo en un 16% al valor agregado del departamento (ilustración 11).

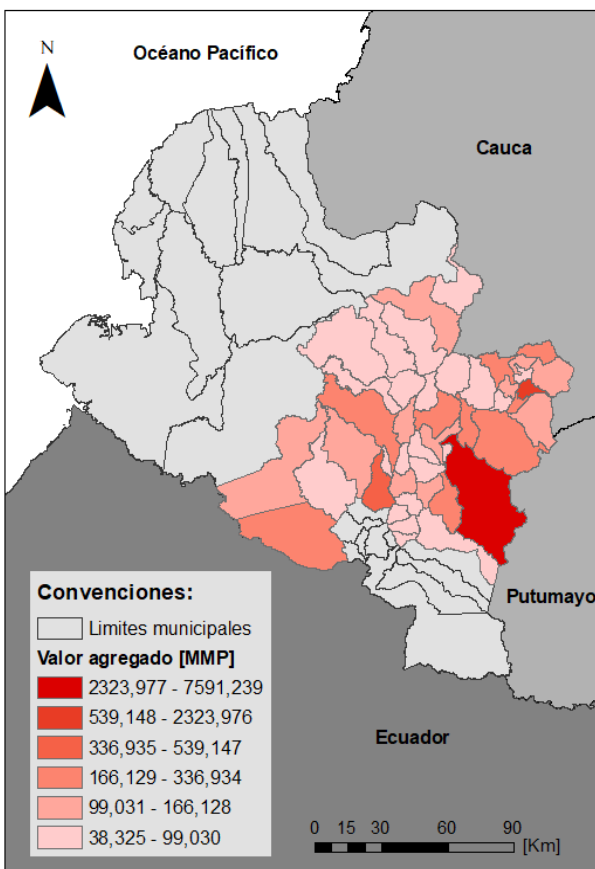


Ilustración No. 11 Cortes naturales para la variable de Valor Agregado en Miles de millones de pesos -MMP-; fuente elaboración propia con datos del censo DANE-2018.

6.1.3. Identificación de las zonas de producción:

El café es uno de los productos más emblemáticos de Colombia a nivel mundial. Gracias al clima y a los suelos de algunas zonas del país, el café colombiano puede variar notablemente en sabor, aroma y finura. Varios departamentos se destacan por la calidad de su café, como Risaralda, Quindío, Putumayo, Valle del Cauca, Huila y Nariño. Este último es especialmente conocido por su café especial, un tipo de café no convencional valorado por los consumidores por sus atributos consistentes, verificables y sostenibles, lo que les hace estar dispuestos a pagar precios superiores. Esto, a su vez, se traduce en un mayor bienestar para los productores. Las características que hacen especial al café de Nariño incluyen su origen (categoría origen), su producción en armonía con el medio ambiente (categoría sostenible) y su compromiso con el

desarrollo social de las comunidades (categoría social), según la Federación Nacional de Cafeteros (2023c).

Como parte de la determinación de los niveles de accesibilidad propuestos en el objetivo general de este trabajo, fue necesaria la caracterización espacial de las zonas de producción de café especial, como se observa en la ilustración 12, se distribuyen las fincas cafeteras en diferentes pisos térmicos según la topografía local. Presentando un aumento en la producción en municipios considerados, como fue el caso de la zona sur, con los municipios de Iles, Contadero, Funes, y Pasto, para la zona norte los municipios de Leiva, El Rosario y Policarpa y, por último, la zona centro con La Florida que para finales del 2022 se registró una producción superior a las 1,389 toneladas de café. Mientras que, otros municipios presentaron una producción menor a las 188.5 toneladas para el 2022, comportamiento que presento por lo menos un municipio de las 5 zonas, para caso del sur, fue Tuquerres y Guaitarilla, para la norte, Taminango, para el centro, Ancuya, El Tambo y El Peñol y para finalizar, la zona oeste con Santa cruz.

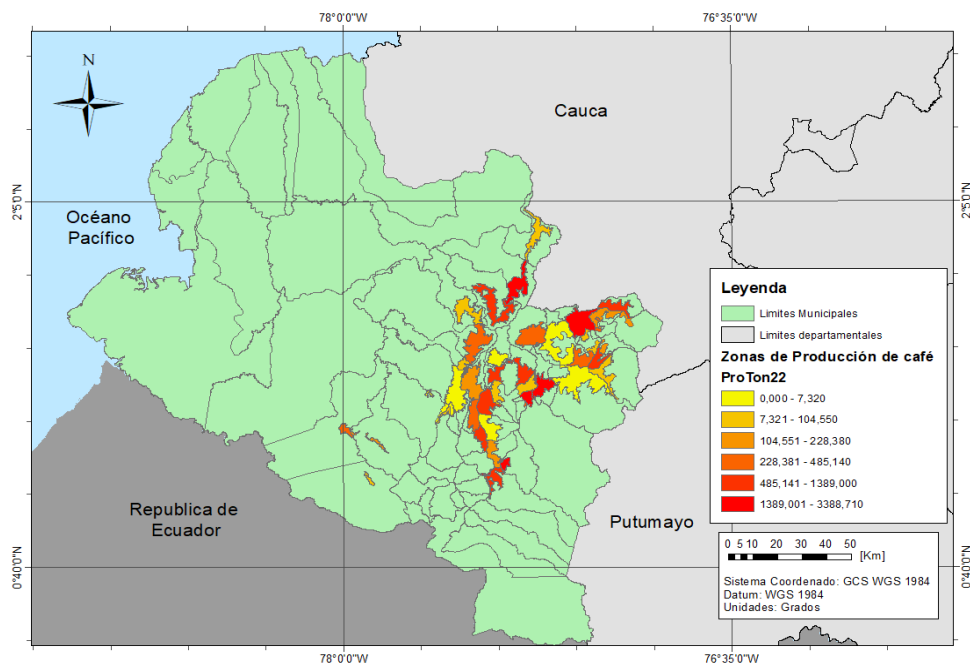


Ilustración No. 12 Caracterización de las zonas de producción de café de Nariño por producción en Toneladas para el año 2022; fuente elaboración propia a partir de datos de Agronet, 2022.

Este análisis permitió observar diferentes clústeres para la producción de café, donde la zona este, norte y sur destacaron con producciones mayores

a las 385.8 toneladas para el 2022. En contraste, varios municipios de la zona oeste y centro como se mencionaron anteriormente produjeron cantidades proporcionales a tan solo el 1.44% de la producción total del departamento.

6.2. CARACTERIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

El departamento de Nariño cuenta con 768,68 kilómetros de la Red Troncal y Transversal, la cual atraviesa el departamento de sur a norte y de oriente a occidente. Por otra parte, 1,369.6 kilómetros corresponden a la red secundaria y 1,554 kilómetros a la red terciaria. (Subsecretaría de Tránsito y Transporte Departamental & Gobernación de Nariño, 2004b) como se puede observar en la ilustración 13.

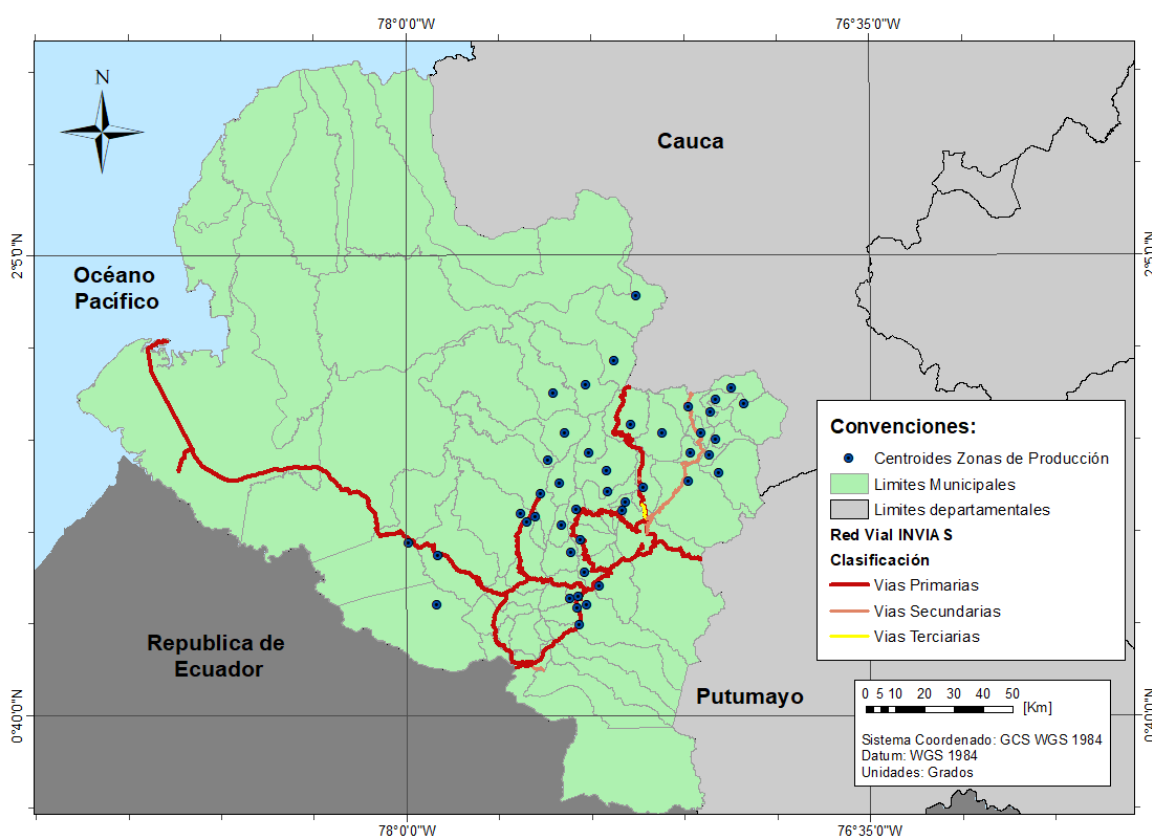


Ilustración No. 13 Red de infraestructura vial categorizada del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos de INVIA S, 2023.

La base de datos del INVIA S ofrece menos información, ya que excluye rutas que no cumplen con las especificaciones propuestas. Sin embargo, el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) cuenta con una base de datos con mayor riqueza en el detallado de la red como se observa en la ilustración 14.

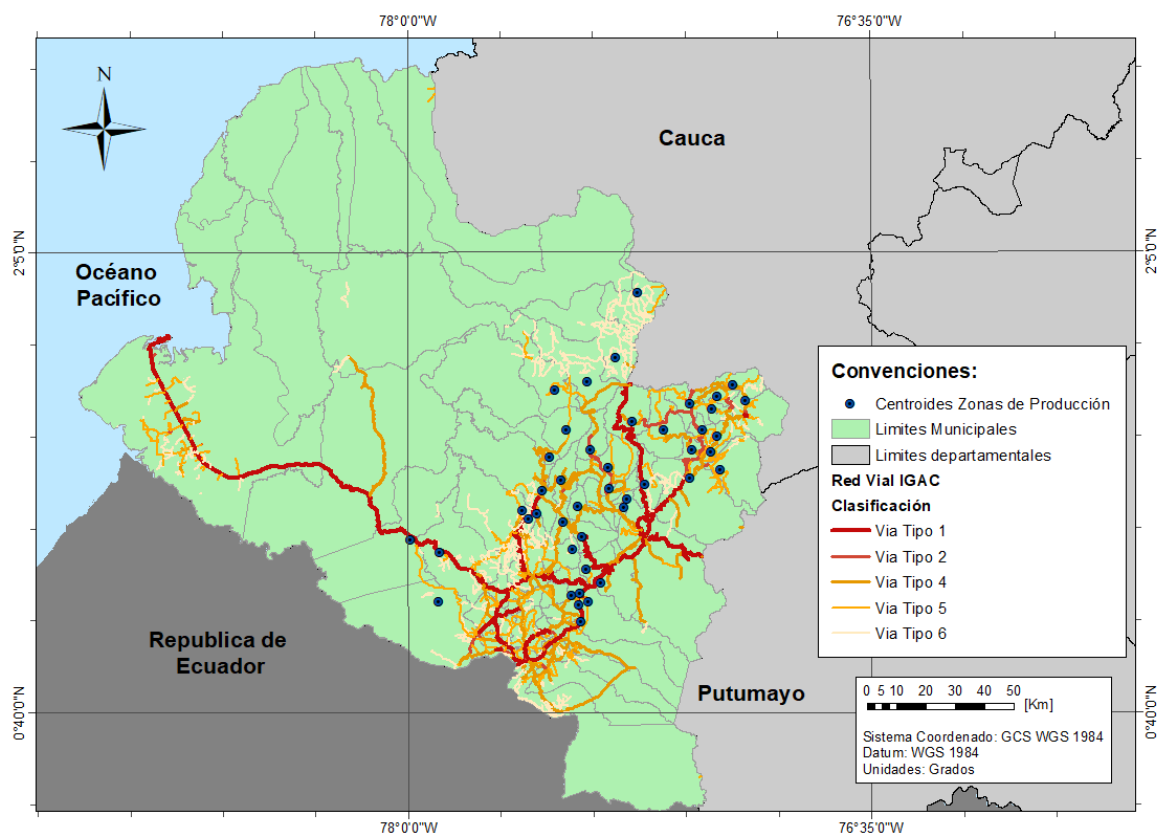


Ilustración No. 14 Red de infraestructura vial categorizada del departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos de IGAC, 2016.

La infraestructura vial en el departamento de Nariño muestra una notable disparidad en su distribución, afectando directamente la accesibilidad y eficiencia en la comercialización del café especial como se muestra en la ilustración 15. La mayor parte equivalente al 38.9% de la infraestructura vial se concentra en el sur y sureste del departamento, favoreciendo el transporte del café de las zonas de producción hacia los puntos de distribución y exportación presentes en esta área.

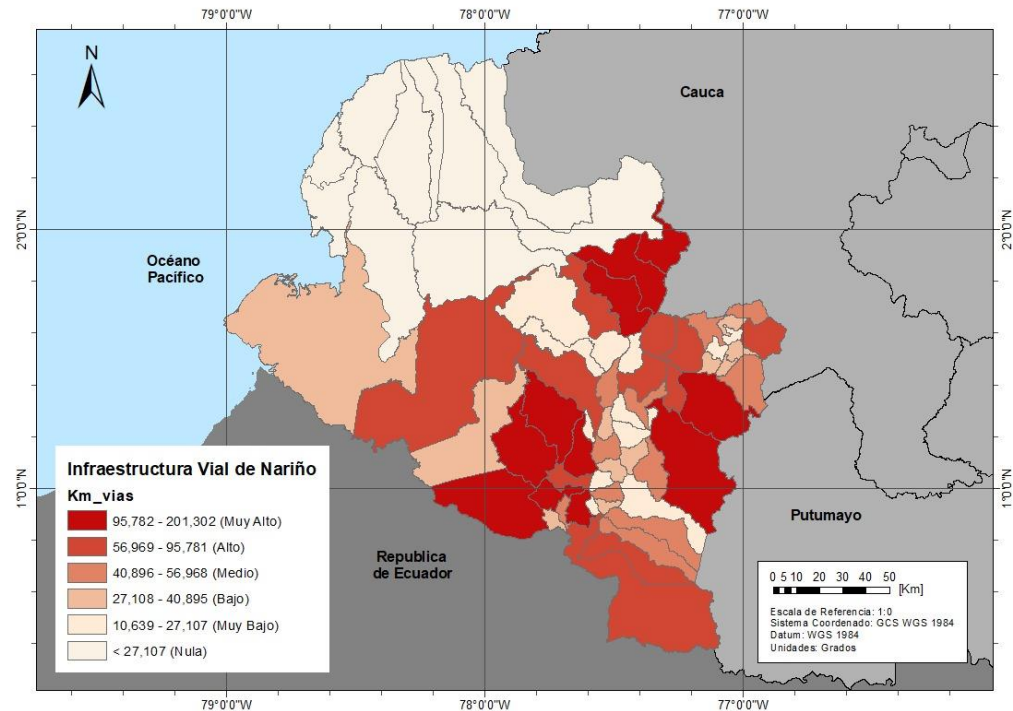


Ilustración No. 15 Indicador de presencia y ausencia de infraestructura vial en el departamento de Nariño; fuente elaboración propia, 2023 a partir de datos de IGAC, 2023.

Como se presentó en el inciso anterior y como se puede apreciar en la ilustración 15, la infraestructura del transporte favorece más a unos municipios que a otros, destacando disparidades entre regiones del departamento, donde de 64 municipios que tiene el departamento de Nariño solo 56 se encuentra provisto de infraestructura vial permitiendo generar un clúster en el sur y sureste del departamento con un aproximado de 1,370 km construidos en esta área, hacia el norte los municipios de Policarpa, Leiva y El Rosario generando otro clúster con un equivalente al 12.2% de la infraestructura vial del departamento.

6.3. MATRIZ DE CONECTIVIDAD

Como se muestra en la ilustración 16, los grafos representan la red de transporte conectando los nodos de inicio, que son las zonas de producción de café especial en Nariño, con el nodo intermedio, que es el Centro de Distribución AlmaCafé, y los nodos finales, que son las terminales portuarias exportadoras de café en Colombia. Estas conexiones se establecen a través de las principales rutas de transporte, las cuales son importantes para garantizar la movilidad eficiente de los productos agrícolas desde las zonas de producción hasta los puntos de exportación.

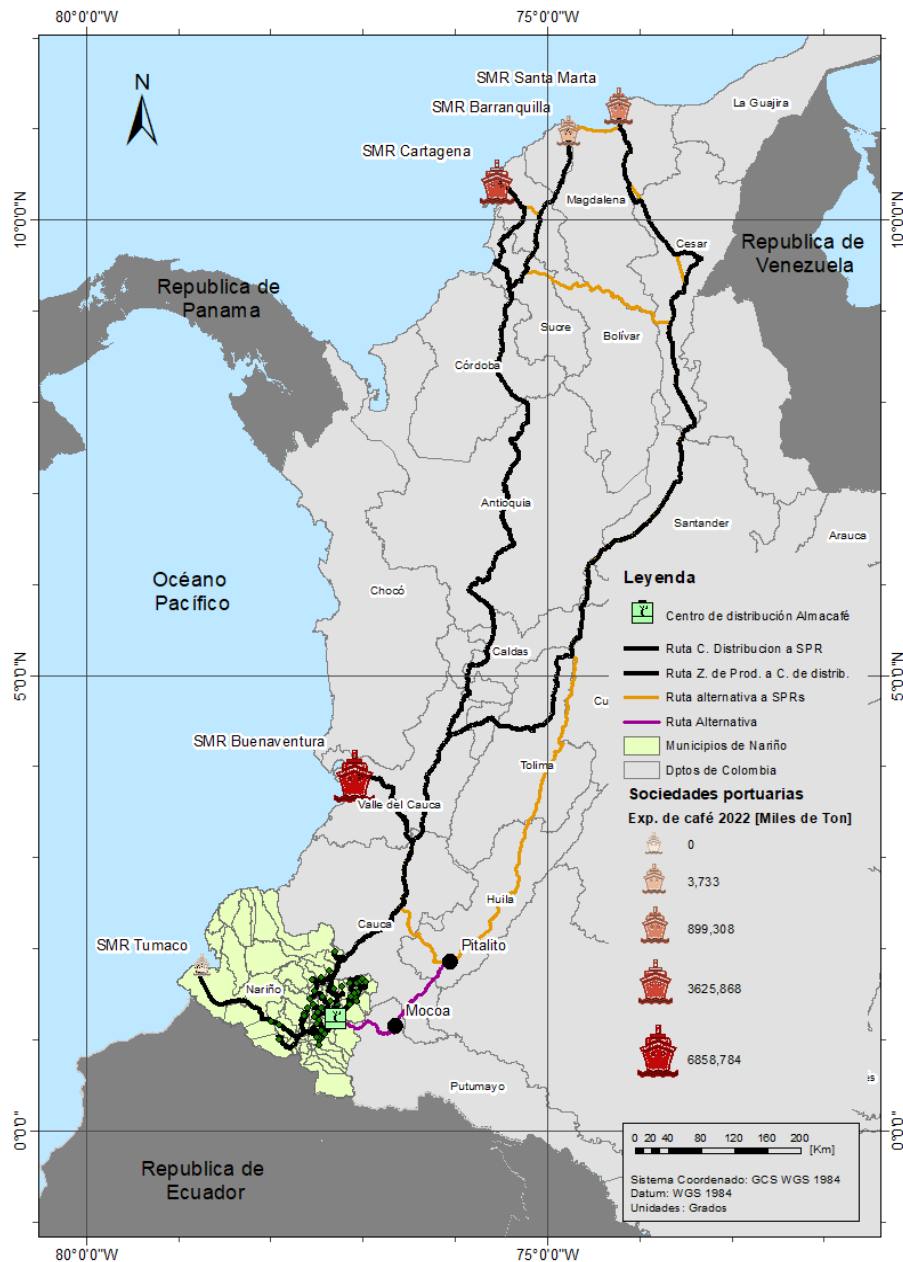


Ilustración No. 16 Ubicación de los nodos de inicio y nodos finales (SPRs) clasificados por cantidad exportada en toneladas para el año 2023, unidos por los arcos de la infraestructura vial actual. fuente elaboración propia con datos del IGAC, 2023.

Así mismo, la ilustración 16 demarca en negro las carreteras troncales que facilitan el transporte terrestre de mercancías hacia las terminales portuarias: Buenaventura, Tumaco, y los puertos del Caribe (Santa Marta, Barranquilla, Cartagena) usando la

vía Panamericana. Por otra parte, se muestra la información con respecto los volúmenes de exportación de café en el año 2022 para cada terminal portuaria. Esta información fue necesaria para entender la capacidad y la importancia de cada puerto en la cadena de suministro del producto.

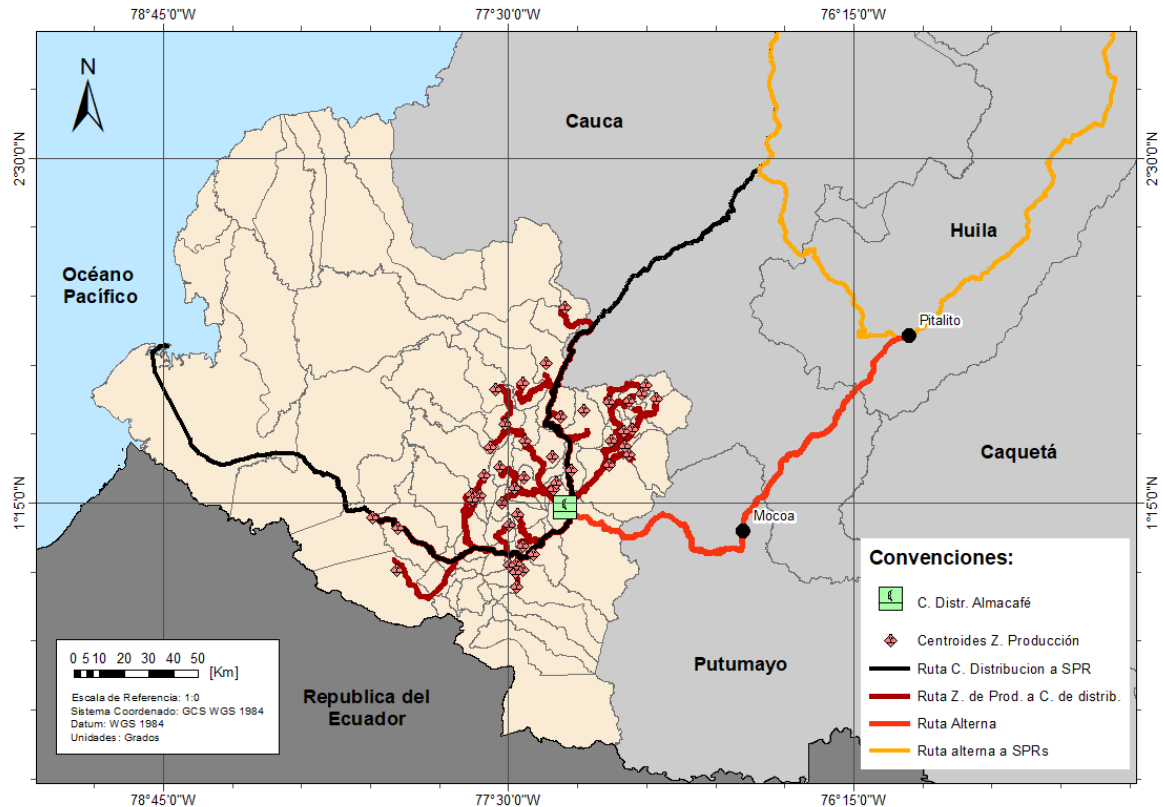


Ilustración No. 17 Ubicación de las rutas estudiadas, vía Panamericana (escenario 1) y vía alterna (escenario 2) vía Pasto- Mocoa- Pitalito para la conexión con el interior del país; fuente elaboración propia a partir de datos del IGAC, 2023.

Con respecto a la ilustración 17, esta muestra un mapa detallado de las rutas de distribución del café en la región sur de Colombia, incluyendo una vía alterna resaltada en color rojo que atraviesa el "Trampolín de la Muerte". Es esencial invertir en la mejora y expansión de la infraestructura vial, especialmente en las áreas menos desarrolladas del norte y noroeste de Nariño, para mejorar la conectividad y reducir los costos y tiempos de transporte.

6.4. ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ACCESIBILIDAD

6.4.1. Factor de Ruta

Con base en la definición propuesta en el marco teórico y la clasificación establecida por Bosque (1992), donde un índice cercano a 1 indica una calidad superior en el trazado de la ruta ya que se asemeja a una línea recta, se observa que las rutas seleccionadas para el transporte del producto cafetero generan valores superiores a 1.5. Esto sugiere que la red o ruta es irregular o discontinua, aunque no llega a ser considerada tortuosa. Las rutas se clasifican como tortuosas cuando los valores del indicador superan 2.0, lo que conlleva mayores complicaciones para el tránsito de esta.

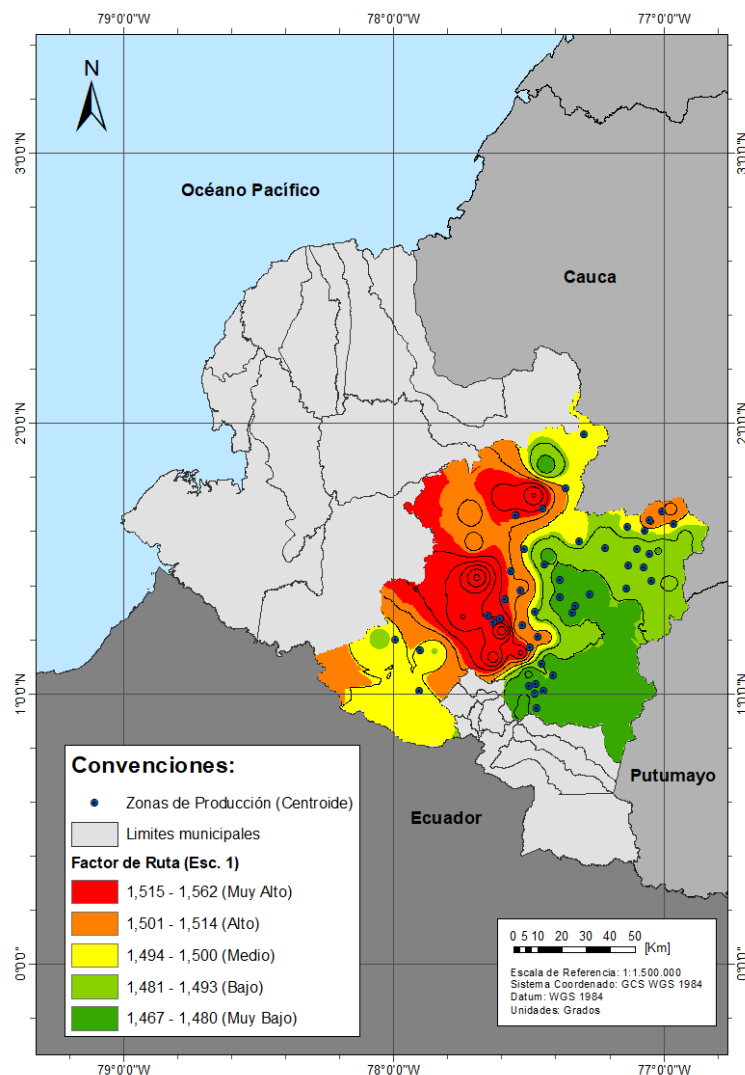


Ilustración No. 18 Factor de Ruta integral para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 1; fuente elaboración propia, 2024.

La ilustración 18 muestra que las rutas utilizadas para el envío de productos a los equipamientos portuarios tienen valores entre 1.467 y 1.500 para las zonas sur, este y centro, lo que indica un comportamiento regular de la red vial. Sin embargo, las zonas norte y oeste cuentan con una red vial irregular, donde el indicador oscila entre 1.500 y 1.562. Los municipios del noroeste del departamento exhiben un valor superior a 1.501 en este indicador, destacándose Samaniego y Providencia, cuyos resultados muestran una red vial con mayor irregularidad con valores superiores a 1.515. De los 44 municipios, 21 tienen rutas relativamente más eficientes con valores inferiores a 1.490, siendo redes regulares. Esta situación sugiere que las áreas periféricas enfrentan desafíos adicionales en términos de conectividad y eficiencia logística, lo que afecta el desarrollo y la optimización de las operaciones de transporte y distribución en la región

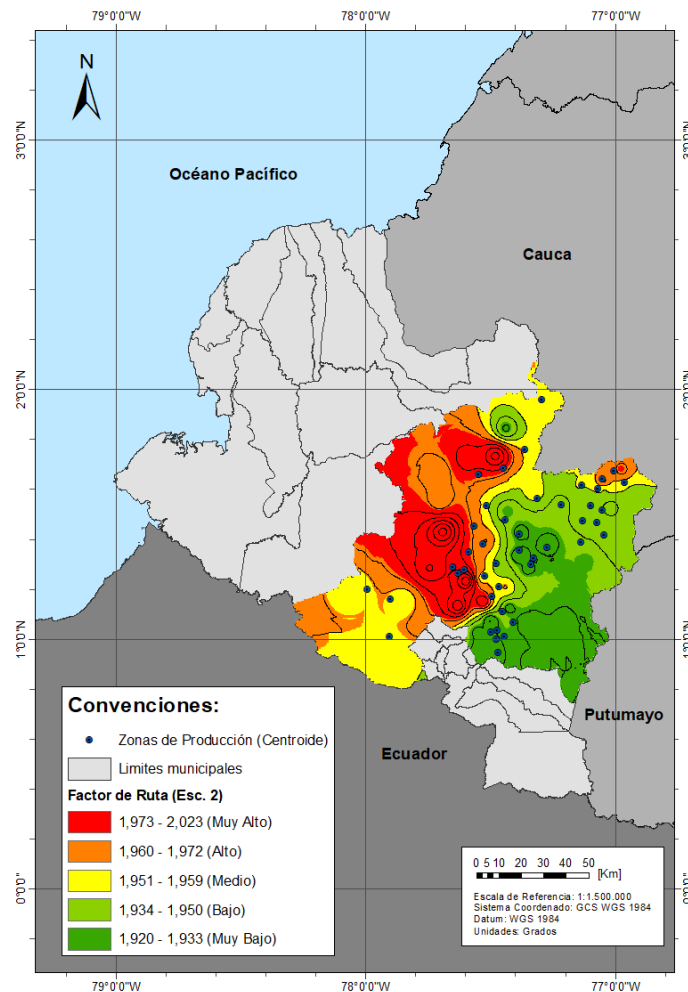


Ilustración No. 19 Factor de Ruta integral para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 2: fuente elaboración propia. 2024.

En la ilustración 19, correspondiente al segundo escenario considerado, se muestra la ruta alternativa que pasa por el municipio de Mocoa, derivada de la evaluación de la ruta Panamericana. Los valores del Factor de ruta para esta alternativa revelan una variación promedio de 0.46, lo que pone en desventaja a municipios como Policarpa, Providencia, Samaniego, Santa Cruz y Tuquerres, situados en la zona norte y oeste del departamento. Esta variación indica un deterioro en la conectividad vial de estos municipios y también afecta a los del este del departamento, que experimentan un aumento en las desventajas de su conexión vial.

En términos generales, al analizar el factor de ruta y comparar las distancias reales con las distancias euclidianas, se pueden identificar desviaciones significativas de la trayectoria idealmente recta. Esta comparación facilita la detección de tramos problemáticos que podrían beneficiarse de mejoras en la infraestructura. Entre las posibles soluciones se incluyen la construcción de nuevas carreteras, el ensanchamiento de rutas existentes y la implementación de estructuras para superar obstáculos geográficos, como viaductos o túneles.

6.4.2. Tiempos Promedio de Viaje

Con base en los tiempos de trazabilidad del producto, que incluyen el transporte desde las zonas de producción hasta el centro de distribución AlmaCafé y, posteriormente, a los terminales portuarios, se puede observar en la Ilustración 20 que los municipios al sur y al noroeste del departamento presentan tiempos de viaje altos, entre 26 y 29 horas. En contraste, la zona sur y sureste muestra un mejor rendimiento, lo cual se atribuye a la mayor concentración de infraestructura vial en estas áreas.

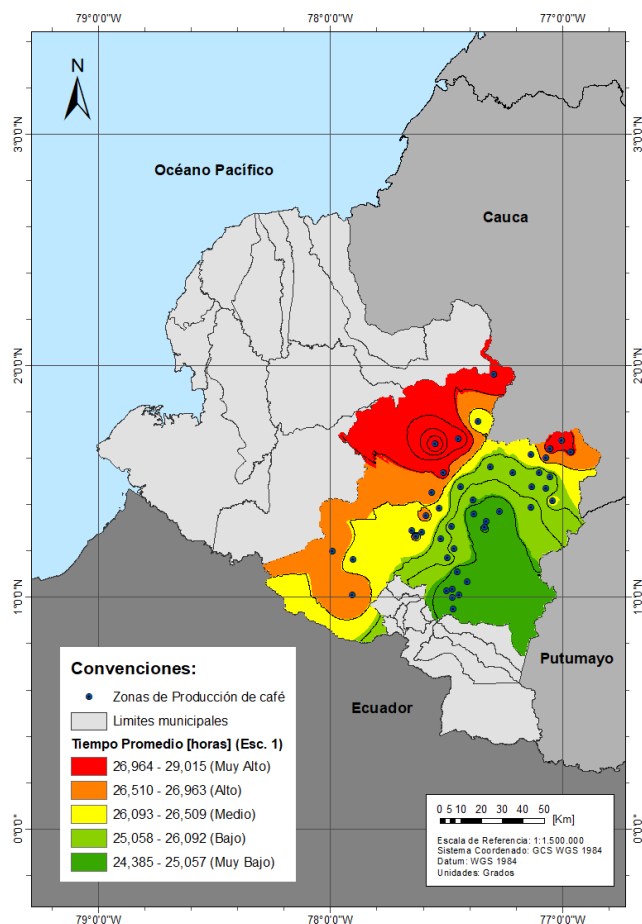


Ilustración No. 20 Tiempos promedios de viaje para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 1; elaboración propia, 2024.

Sin embargo, es posible observar que los municipios de Cumbal y Mallama en la zona sur y Santa Cruz con Ricaurte en la zona oeste se encuentran alejados de la capital de Pasto, donde se concentra la mayoría de la infraestructura vial hacia el interior del país pero los cuales cuentan con mayor cercanía a la vía que une el municipio de Tumaco con la vía Panamericana presentan mejores tiempos de viaje que oscilan entre 26 y

27 horas; mientras que, los municipios más cercanos al departamento del Cauca pero que se encuentran más alejados de esta vía presentan tiempos mucho más elevados que oscilan entre 27 y 29 horas de viaje.

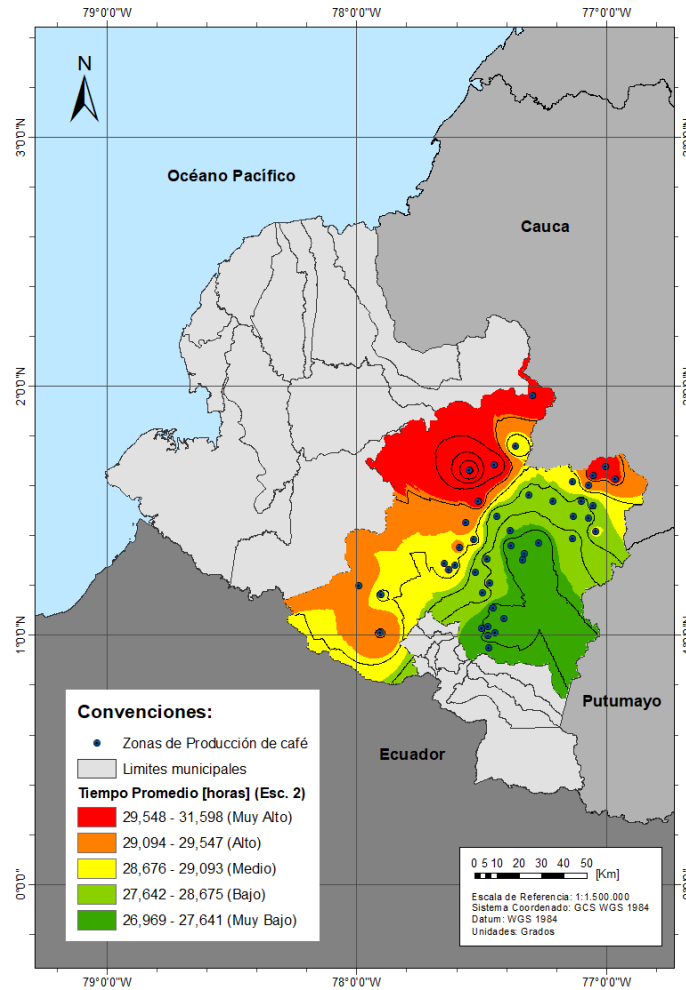


Ilustración No. 21 Tiempos promedio de viaje para la zona de estudio hacia los equipamientos portuarios para el escenario 2; elaboración propia, 2024.

De igual forma, en la Ilustración 21 se observa que todos los municipios presentan tiempos de viaje hacia los equipamientos que oscilan entre 26 y 32 horas. El 50% de los municipios con los menores tiempos de viaje se encuentran en la zona sur y sureste, donde los tiempos son más reducidos, variando entre 26.969 y 28.675 horas, precisamente en las áreas con mayor concentración de vías. No obstante, al considerar esta alternativa de ruta, surgen importantes desafíos en términos económicos y de seguridad. Los conductores se enfrentan a la necesidad de transitar por una carretera peligrosa, caracterizada por un único carril con un ancho de

apenas 3.0 metros. Además, esta vía se encuentra ubicada en zonas montañosas a una altitud superior a los 2,800 m.s.n.m, lo que añade complejidad y riesgo a los desplazamientos.

6.4.3. Indicador de gravedad

En los resultados obtenidos del indicador de Hansen se puede evidenciar en la ilustración 22 que los municipios con una mejor posibilidad de acceso a la exportación de los productos son los municipios ubicados al sureste de la zona de estudio, los municipios como Chachagüí, Nariño, Pasto, Imués, La Florida, Tangua y Yacuanquer con valores de este indicador superiores a 12.484.

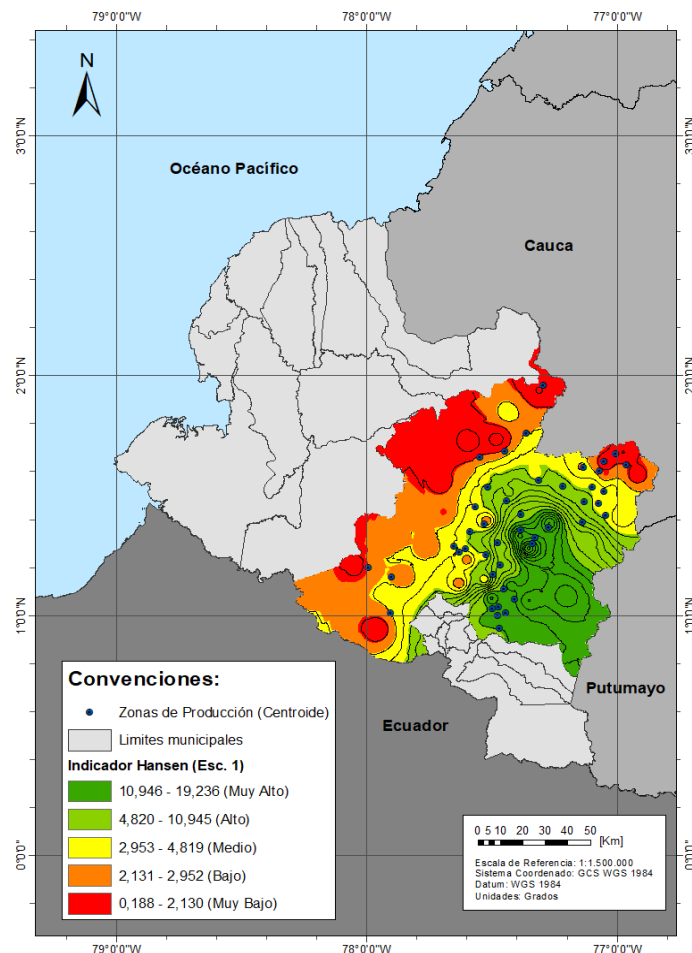


Ilustración No. 22 Indicador de Hansen para el escenario 1; fuente elaboración propia, 2024.

Y al igual que lo observado con el indicador de tiempos promedio de viaje, la región que exhibe una menor influencia o desempeño en el contexto de la exportación son los municipios ubicados hacia el oeste y noroeste del departamento, principalmente atribuible a las limitaciones de su infraestructura vial para la comunicación entre sus zonas de producción hacia el centro de distribución y la carencia en las oportunidades y servicios del Puerto de Tumaco para la exportación del producto por el océano pacífico.

Respecto al indicador de Hansen, para el escenario 1 se tiene una distribución más centralizada, los datos obtenidos sugieren una variabilidad moderada en los niveles de accesibilidad en la región. En contraste, en el escenario 2, los datos están mayormente ubicados en tres rangos distintos, con una mayor influencia en el rango más alto, lo que indica una mayor variabilidad en los niveles de accesibilidad en este escenario (ilustración 23).

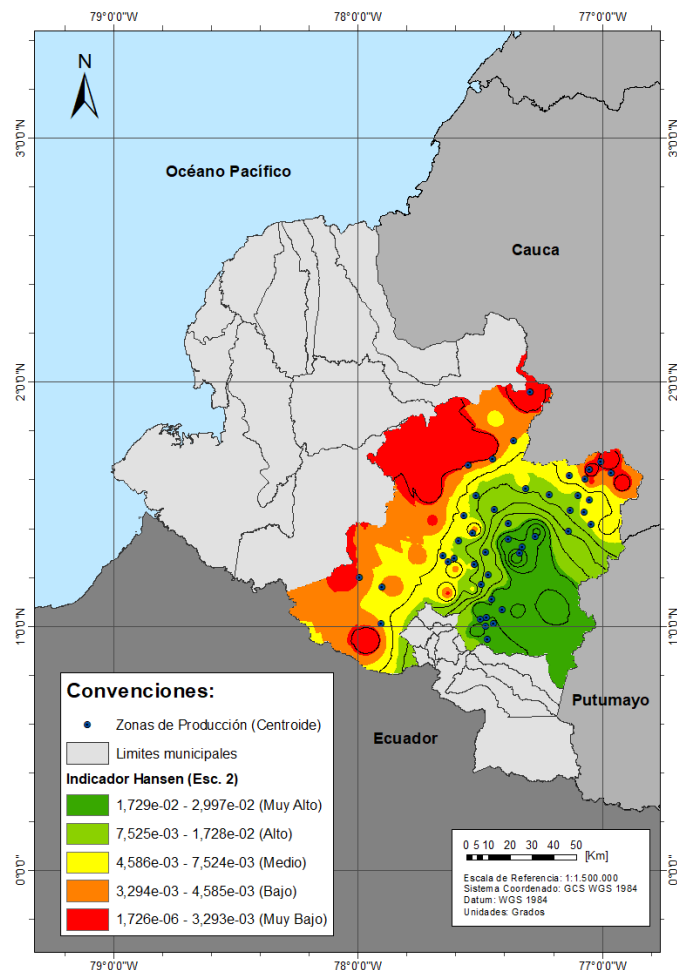


Ilustración No. 23 Indicador de Hansen para el escenario 2; fuente elaboración propia, 2024.

6.5. EVALUACIÓN DE NIVELES DE ACCESIBILIDAD

Para la evaluación de los niveles de accesibilidad, se realizó un análisis estadístico y espacial. La variable de productividad, medida en términos de valor agregado y toneladas de café para el año 2022, revela patrones en la infraestructura vial del departamento de Nariño. Como se muestra en la ilustración 24, los municipios con mayor producción de café, especialmente en el sur y sureste del departamento, presentan una infraestructura vial más desarrollada. Estas áreas cuentan con carreteras pavimentadas y de mayor ancho, diseñadas para facilitar el acceso de camiones grandes de transporte, lo cual es importante para la eficiencia en la distribución y comercialización del café. En contraste, los municipios situados en el norte y noroeste del departamento enfrentan desafíos significativos debido a la falta de infraestructura vial adecuada. Las vías en estas regiones son considerablemente más estrechas, a menudo sin pavimentar, y tienen anchos inferiores a 5 metros. Esta deficiencia en la infraestructura complica el acceso para vehículos de transporte de gran tamaño, lo que afecta negativamente la eficiencia logística y limita la capacidad de estos municipios para integrarse efectivamente en la red de distribución. El análisis pone en evidencia disparidades significativas en la infraestructura vial dentro del departamento de Nariño. Esta desigualdad en la calidad de la infraestructura vial no solo limita el desarrollo económico y logístico de las regiones menos favorecidas, sino que también subraya la necesidad urgente de inversiones y mejoras en la infraestructura para promover un desarrollo económico más equilibrado y sostenible en todo el departamento.

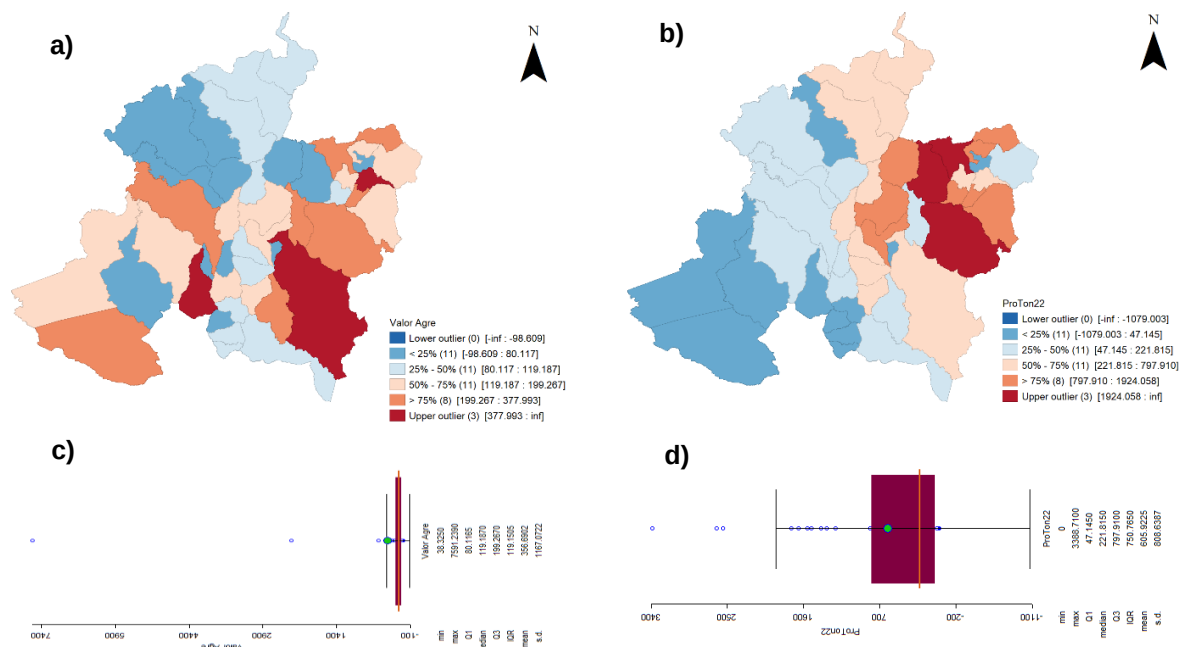


Ilustración No. 24 Box Map y Box plot de la variable Valor Agregado en Miles de millones de pesos (a y c) y Producción de café en toneladas (b y d) ambas variables para el año 2022; fuente elaboración propia a partir de datos del DANE, 2023 y Agronet, 2023.

6.5.1. Factor de Ruta

Como se muestran los mapas presentados en la ilustración 25 a continuación, los municipios de Providencia, Samaniego y Tuquerres son los que presentan mayores deficiencias en términos de calidad de conexión con los equipamientos portuarios.

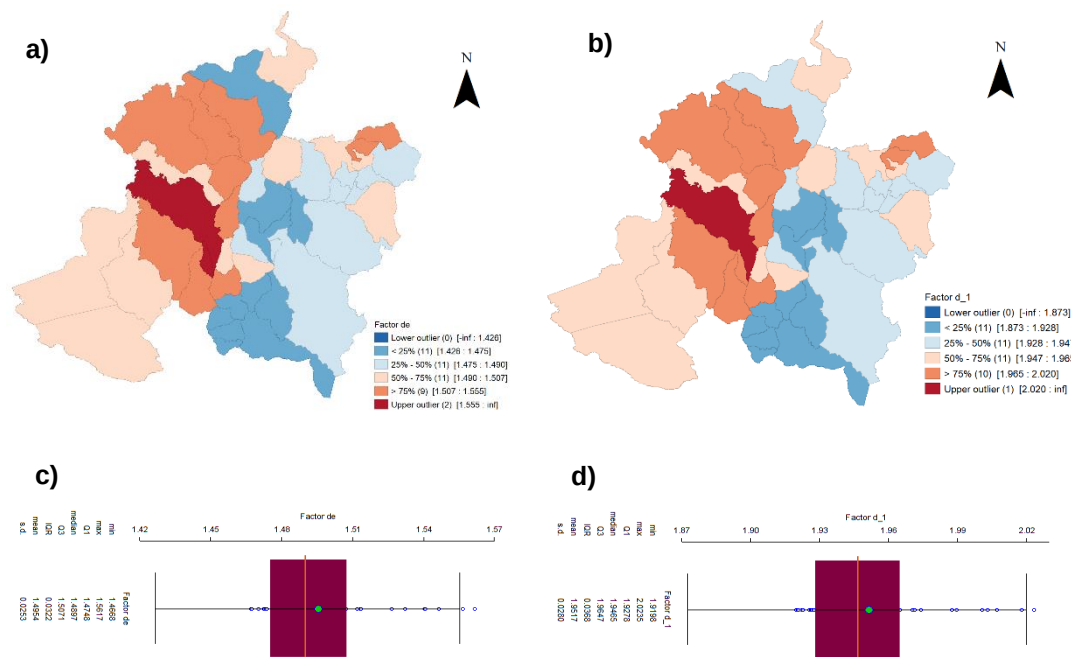


Ilustración No. 25 Estadística de varianza para el indicador Factor de ruta para el escenario 1 (a y c) y el escenario 2 utilizando ruta alterna (b y d); fuente elaboración propia, 2024

Se puede observar que los municipios de Pasto en la zona sur, Belén en la zona norte y Ancuya en la zona centro, para la vía alterna, comienzan a tener inconvenientes de eficiencia dadas las rutas que se deben tomar para la movilización hacia las terminales portuarias, debido a la ubicación de los municipios de Mocoa y Pitalito junto a los arcos que conforman su unión. En el mapa, los colores más oscuros indican mayores desviaciones en las rutas, señalando áreas donde las rutas son menos directas y eficientes; estos resultados destacan la necesidad de mejorar la infraestructura vial en Nariño.

De manera general, se identificaron problemas recurrentes en varios municipios al utilizar tanto la ruta Panamericana como la ruta alternativa a través de Mocoa. Los municipios situados al sur y sureste presentaron una red vial irregular en el primer escenario y, en el segundo escenario, tramos más tortuosos, con valores de Factor de Ruta que oscilaron entre 1.959 y

2.001. Por otro lado, Ancuya, en la zona centro, y Buesaco, en la zona este, mostraron variaciones significativas con valores de Factor de Ruta superiores a 2.000 en el segundo escenario. En contraste, los municipios de Samaniego, Providencia y Túquerres, ubicados en las zonas sur, centro y oeste, respectivamente, presentaron valores superiores a 1.580 en el primer escenario. Estos municipios con alta variabilidad en el Factor de Ruta son cruciales para comprender las fluctuaciones en la eficiencia del trazado de rutas y deberían ser el foco de futuros análisis y mejoras en la planificación y gestión logística.

6.5.2. Tiempos Promedio de Viaje.

El análisis del escenario base con la ruta por la vía Panamericana muestra que nueve municipios del noreste del departamento están afectados, Cumbitara, Los Andes, La Llanada, Leiva y Policarpa, con producciones entre 1.22 y 686.18 toneladas, lo que representa menos del 2.6% del total del departamento y tiempos de viaje superiores a 27 horas. Asimismo, en la zona sur, el municipio de Cumbal y, en el noreste, La Cruz y San Pablo tienen una producción menor a 75,820 toneladas (0.28% del total) y hasta 2,549.90 toneladas (9.6% del total), con tiempos de viaje que oscilan entre 27 y 29 horas.

Esta situación se debe a varios factores, como la topografía del terreno, la calidad de las vías de acceso y la distancia a los principales centros de transporte. Sin embargo, se observa un mejor comportamiento en los tiempos de viaje en ciertas zonas cercanas a la vía que recorre el departamento de este a oeste y de sur a norte, conectándolo con el interior del país. Los municipios en estas áreas, como Yacuanquer y Imués en la zona sur, muestran tiempos de viaje más cortos, lo que indica una mejor accesibilidad para el transporte de productos. Por ejemplo, Yacuanquer, con una producción de 3,388.710 toneladas en 2022, tiene un tiempo promedio de viaje hacia las terminales portuarias de entre 24 y 25.6 horas. De manera similar, Imués, con una producción de entre 2,550 y 3,388.70 toneladas, también disfruta de tiempos de viaje favorables de hasta menos de 24.9 horas, lo que reduce las pérdidas para los caficultores al facilitar la movilización y exportación de sus productos.

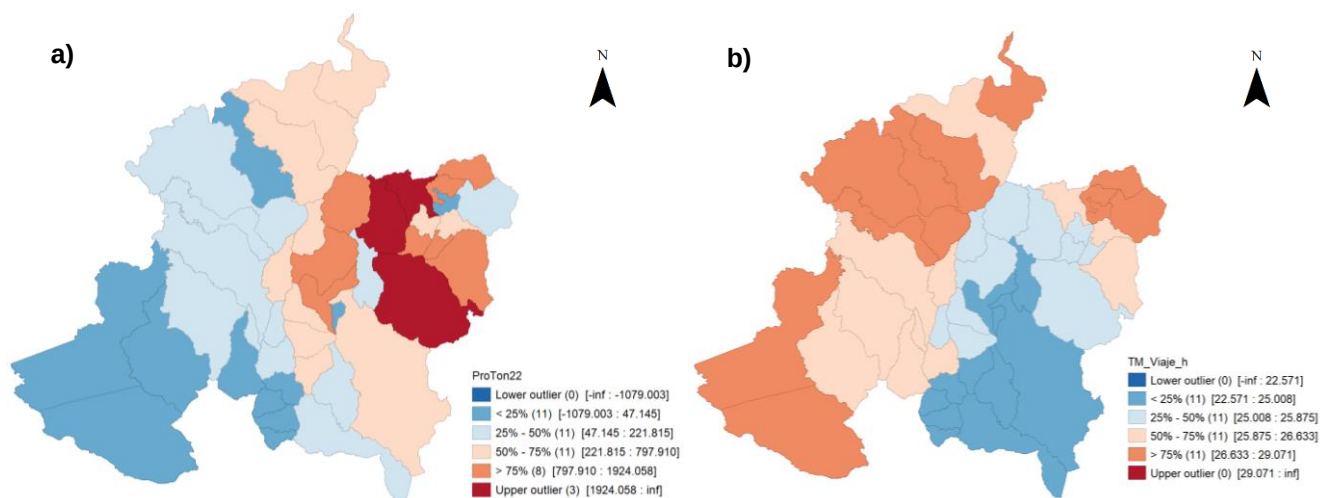


Ilustración No. 26 Comparación entre Box Maps con la variable de producción de café en toneladas para el año 2022 (a) y el indicador de tiempo promedio de viaje medido en horas para el escenario 1 (b); fuente elaboración propia, 2024.

No obstante, los municipios de La Unión y San Lorenzo pertenecientes a la zona norte y Buesaco de la zona este que cuentan con una alta producción, sus tiempos de viaje son de entre 25 y 27 horas (ilustración 26) dado su cercanía a la vía Panamericana y la infraestructura vial con la que cuenta. Es importante resaltar el clúster que se presenta en la zona sur del área de estudio con tiempos de viaje entre 22.6 y 25 horas; de igual forma, las zonas este, centro y norte presentaron tiempos similares generando un clúster de tiempo promedio entre 25 y 25,9 horas. Esta información permite establecer estrategias de mejora en la infraestructura vial y en la gestión del transporte de la región, tomando en consideración un diseño geométrico óptimo, adecuado al terreno y que permita optimizar el tiempo de viaje, con el objetivo de reducir las disparidades y promover un acceso equitativo a los servicios y recursos de transporte de carga para todos los municipios productores.

Otro punto es, la mayoría de los valores se agrupan en un intervalo estrecho, el cual oscila mayormente entre 22.571 y 26.633 horas respecto a la media de tiempo en horas más del 60% de los municipios presentan este comportamiento.

La variación en los tiempos de viaje se debe a la desigualdad en la distribución de la infraestructura vial, lo cual impacta directamente la rentabilidad de los cultivos. En los municipios con tiempos de viaje más prolongados, como los del noroeste, la producción se encuentra entre 0.6 y 1.1 toneladas por hectárea, formando un clúster distintivo de tiempos elevados. En contraste, la rentabilidad en los municipios del sur del

departamento, como Colón y San Pablo, es superior a 1.27 toneladas por hectárea. Esto sugiere que existen otros factores que facilitan la comercialización del producto, como el turismo en estos municipios o la proximidad al departamento del Cauca.

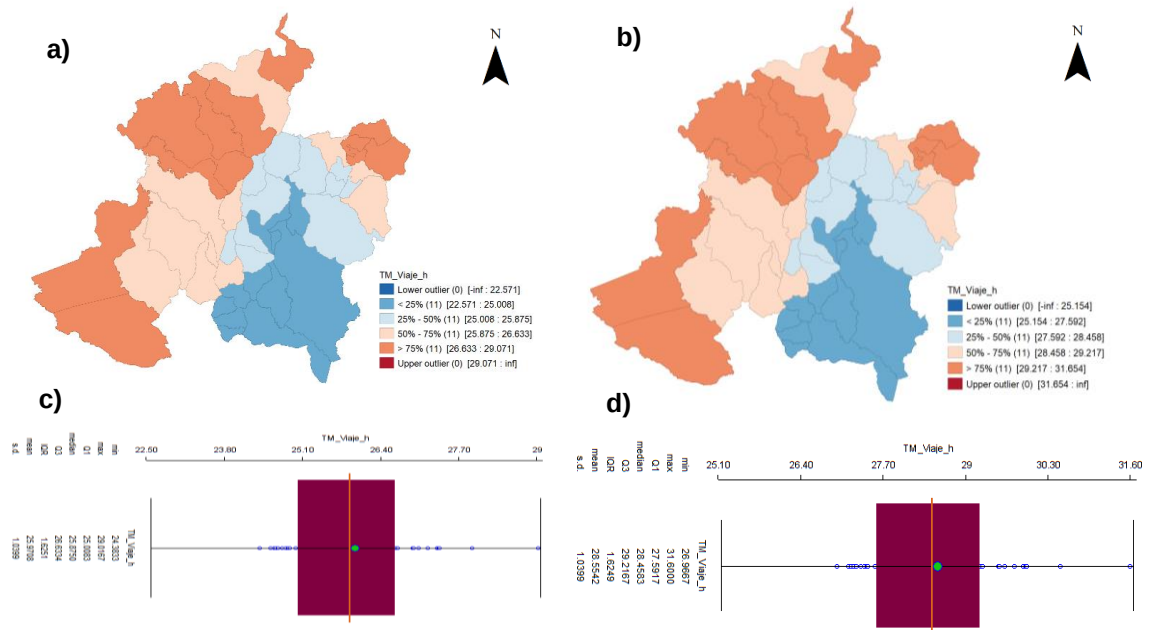


Ilustración No. 27 Mapas de Tiempos promedio de viaje del escenario 1 (a) y escenario 2 (b) anexando la estadística descriptiva para cada escenario respectivamente 1 (c) y 2 (d); fuente elaboración propia, 2024.

Por otra parte, en el escenario 2 (Vía alterna por Mocoa) muestra en la ilustración 27 reveló puntos atípicos en los municipios de Buesaco (zona este), Ancuya (zona centro) y Colon (zona norte). Con el uso de Box Plots se destacó que, los municipios ubicados en la región sureste de Nariño muestran un mejor índice en cuanto a los tiempos promedios de viaje. Este resultado sugiere que estos municipios tienen una mayor proximidad y acceso a la infraestructura vial principal, lo que se traduce en tiempos de viaje más cortos en comparación con aquellos ubicados en otras regiones del departamento.

La importancia de este hallazgo radica en la necesidad de comprender las disparidades en la accesibilidad entre diferentes áreas geográficas dentro de Nariño, lo que puede influir en el desarrollo socioeconómico y en la calidad de vida de los residentes. Además, resalta la importancia de considerar la ubicación geográfica y la infraestructura vial existente al planificar mejoras en el sistema de transporte y en la conectividad regional. Este análisis

proporciona información valiosa para la toma de decisiones en la gestión del transporte y el desarrollo regional, con el objetivo de promover una distribución más equitativa de los recursos y servicios en todo el departamento de Nariño.

6.5.3. Indicador de Hansen o Gravedad.

Como se puede apreciar en el mapa clasificado por el Box Map en la ilustración 28, la continuación de un clúster al sureste de la región es evidente, un detalle que comparten todos los indicadores, aunque los municipios de Pasto, Funes, Yacuanquer, Imués, Tangua, e Iles pertenecientes a la zona sur, Chachagüí a la zona este, Nariño en la zona centro, no generen una gran productividad a comparación de municipios como El Tambo y Sandoná pertenecientes a la zona centro, El Tablón en la zona este, San Pablo y Colón en la zona norte, cuenta con una productividad que oscila entre los 0.60 y los 1.27 Tonelada por Hectárea dejando el norte y noroccidente como uno de los más carentes de competitividad dados los niveles de accesibilidad pero algunos de ellos siendo igual de productivos, como lo son La Llanada, Samaniego y Ricaurte en la zona oeste y El Rosario

En la zona norte, lo que se puede ver como un municipio que produce una cantidad de café, es capaz de obtener una rentabilidad, sin embargo, no puede movilizarlo de forma óptima o exportarlo por vía marítima como pueden hacerlo otros municipios, a su vez incrementan los costos de transporte al carecer de infraestructura vial, deben buscar otros medios como lo son vehículos de tracción animal y las pérdidas del producto al no poder distribuirse a tiempo.

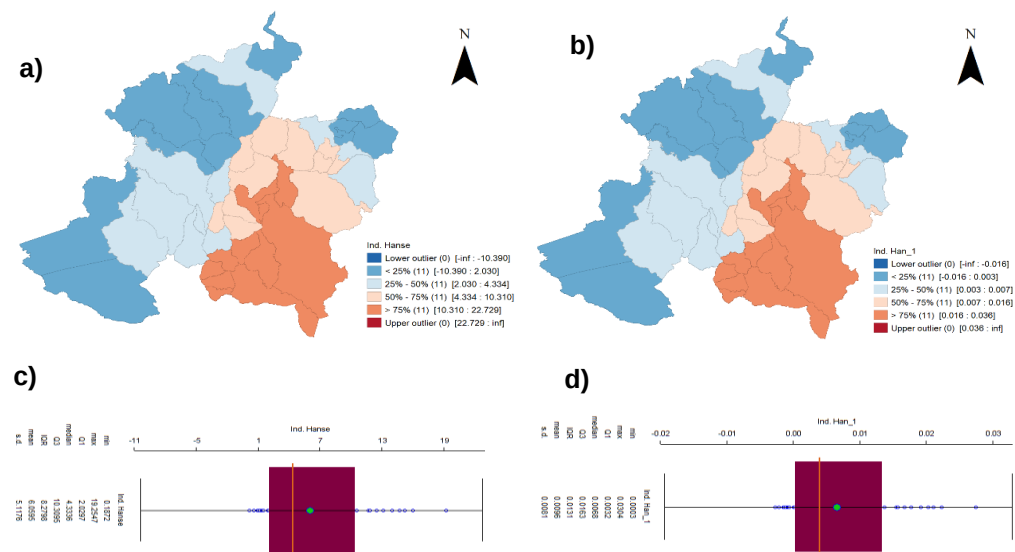


Ilustración No. 28 Estadística descriptiva para el indicador de Hansen, Box Maps y Box Plots escenario 1 (a y c) y escenario 2 (b y d) respectivamente; fuente elaboración propia, 2024

Sin embargo, municipios como Samaniego y Santa Cruz en la zona oeste y Providencia en la zona centro, Tuquerres en la zona sur, enfrenta deficiencias en la eficiencia y calidad de la ruta debido a su irregularidad. Por otro lado, diferentes municipios pertenecientes a la zona norte, como lo son Cumbitara y Leiva, junto con San Pablo y Colon, presentan desventajas significativas en términos de tiempo, con viajes que oscilan entre 27 y 29 horas hacia las terminales portuarias. Así mismo Policarpa en la zona norte, situada a 159.10 km de San Juan de Pasto, enfrenta ambas desventajas, lo que implica pérdidas tanto en la calidad como en la cantidad del producto, además de costos adicionales para los productores y distribuidores que influyen directamente en su precio.

El indicador de Hansen en el escenario 2 muestra variaciones significativas en su magnitud para cada unidad geográfica, permitiendo observar que los clústeres de exportación se mantienen, aunque con una disminución en el valor del indicador en órdenes de entre 10^{-2} y 10^{-4} . Esto sugiere que el uso de una ruta alterna, que implica tiempos de viaje más largos y una mayor exposición a diversas amenazas, reduce significativamente el potencial de exportación a través de los puertos, llegando a ser casi nulo en algunos casos.

Según las ilustraciones 28b y 28d, el rango del indicador varía entre 0.0003 y 0.0304, lo que indica que la carente viabilidad y potencial del indicador se tiene que el escenario 1 muestra mejores resultados entre las distintas unidades geográficas. La oportunidad de exportación para los productores que utilizan la ruta alterna presenta mayores desafíos, afectando principalmente a los municipios hacia el Pacífico, así como a los ubicados en las zonas norte, oeste, y parte del este y sur del área de estudio. Específicamente, solo 11 municipios superan el tercer cuartil, con valores entre 0.007 y 0.016, lo que destaca su mejor conectividad y mayor potencial de exportación, concentrándose en el centro-sur del área de estudio. Además, otros 11 municipios superan el cuarto cuartil, con valores entre 0.016 y 0.036, lo que indica que estas regiones tienen la mayor oportunidad de exportación, probablemente debido a una mejor infraestructura vial o a su proximidad a los centros de distribución. Esta distribución divide la zona de estudio en dos grupos: un 50% de los municipios con una oportunidad relativamente buena para exportar, y el otro 50% con problemas de conectividad hacia los centros de distribución.

La disminución de los valores del indicador Hansen en el escenario 2 sugiere que el uso de la ruta alterna impacta negativamente el potencial de exportación, probablemente debido al aumento en los tiempos de viaje y la exposición a amenazas como inseguridad o deterioro vial, lo cual disminuye

la competitividad y la eficiencia en la exportación de productos agrícolas. Sin embargo, los clústeres de alto potencial de exportación persisten en ciertas áreas, principalmente en las zonas centrales y parte del sur. Este hallazgo sugiere que, incluso con una ruta alterna menos favorable, ciertas regiones mantienen una ventaja competitiva, posiblemente debido a una mejor infraestructura vial o a su proximidad relativa a los puertos. Esta situación subraya la urgencia de mejorar las condiciones de la zona portuaria de Tumaco para la exportación de productos agrícolas, lo que no solo mejoraría los tiempos de viaje, sino también la rentabilidad para toda la cadena productiva.

6.5.4. Correlación de variables.

Una vez se realizó la discretización de la información por cada unidad geográfica, cada municipio se le asociaron los valores de los respectivos indicadores para los dos escenarios (Anexo 11) y como parte del análisis estadístico propuesto, para este fin se seleccionó el método de correlación de Pearson dada la facilidad de representación para la medición de la relacion estadísticas entre las variables económicas y demográficas con los indicadores de accesibilidad. A continuación, se muestra, la relacion entre las variables presentadas en la tabla 2 para el escenario 1 y 2.

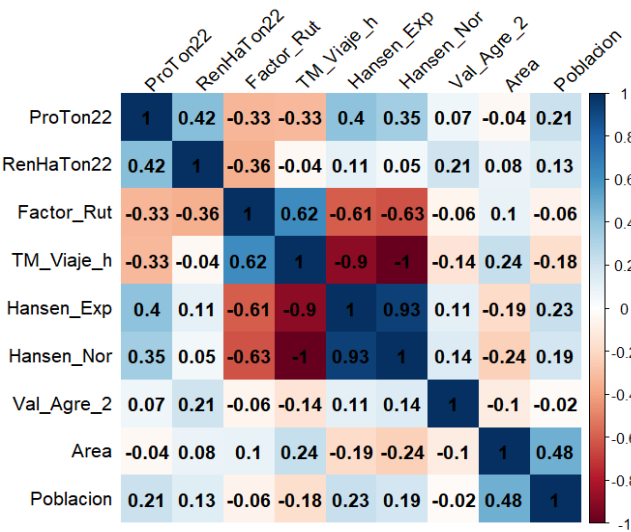


Ilustración No. 29 Diagrama de correlación de Pearson para las variables de producción de café, indicadores de accesibilidad, valor agregado, área y población para el escenario 1; fuente elaboración propia, 2024.

A partir de la ilustración 29, para el escenario 1 que se centra en el uso de la Vía Panamericana para conectar el centro de distribución y terminales portuarias; es posible observar las siguientes correlaciones:

1. La producción de café en toneladas tiende a presentar una mayor rentabilidad; sin embargo, no muestra una tendencia fuerte debido a diversos factores socioeconómicos, incluyendo la falta de infraestructura vial adecuada, que impide un correcto aprovechamiento de la producción. Esto se relaciona con el indicador de factor de ruta y tiempo de viaje, donde se observa que la producción de café tiene una relación negativa con estas dos variables. La ineficiencia en el trazado de las vías y los diferentes tramos aumentan los tiempos de viaje, lo que a su vez disminuye tanto la producción como la rentabilidad.
2. No obstante, la variable de producción muestra una mayor dependencia al considerar el indicador de Hansen. Esto sugiere que las zonas de producción con un tiempo de viaje entre 22.6 y 25 horas ubicadas en la zona sur y este, poseen mayores posibilidades de exportación utilizando los 4 puertos estudiados sin ser los mayores productores. Este hallazgo señala la existencia de estrategias óptimas para el transporte y la comercialización del café utilizando la concentración de infraestructura vial, incluyendo la posibilidad de exportación terrestre hacia el país vecino de Ecuador.
3. La variable de área muestra una correlación de 0.24 con respecto a los tiempos de viaje, lo cual es notable dado que el área de estudio, conformada por 44 municipios, carece de la infraestructura necesaria para lograr tiempos de viaje óptimos en ciertas zonas como lo son la norte y la oeste. En términos de infraestructura, las vías que conforman el clúster son mayoritariamente de tipo 3, 4 y 5
4. Los índices que presentaron una mayor correlación fueron el coeficiente de Hansen y los tiempos de viaje, con un valor negativo de 0.9. Esto implica que las rutas que generan mayores tiempos de viaje están asociadas con una menor exportación, mientras que las zonas con menores tiempos de viaje hacia los equipamientos portuarios muestran una mayor exportación.
5. En el análisis de autocorrelación espacial utilizando el índice de Moran para el factor de ruta, se obtuvo una pendiente de -0.025, lo que indica una ligera tendencia negativa en la dispersión de los datos. Esto sugiere que los valores del factor de ruta tienden a estar ligeramente agrupados en el espacio, aunque la agrupación no es significativa. La concentración de puntos en una región central, con la mayoría acumulándose en el rango de valores entre -2 y 2, sugiere una dispersión espacial relativamente uniforme de los valores del factor de

ruta en la región analizada, con poca variación significativa entre los municipios.

6.

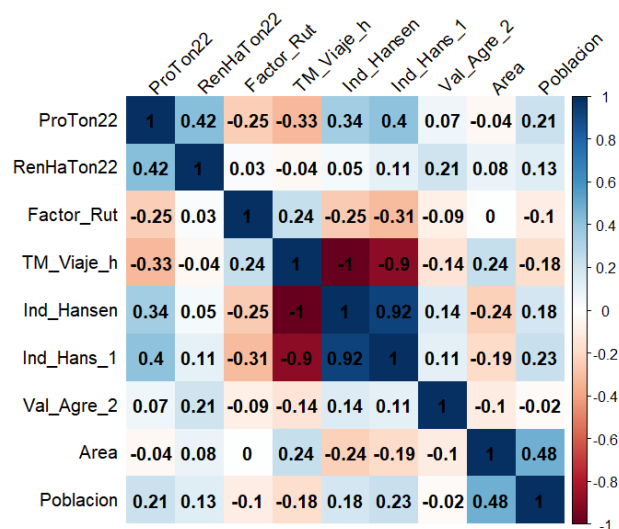


Ilustración No. 30 Diagrama de correlación de Pearson para las variables de la ilustración 29 aplicada a los resultados de la ruta alterna o escenario 2a; fuente elaboración propia, 2024

A partir de la ilustración 30, donde se utiliza la ruta alterna conocida como el Trampolín de la Muerte que conecta los municipios de Tumaco, Pasto, San Francisco con Mocoa, la cual para propósitos del estudio se conoce como escenario 2; es posible observar las siguientes correlaciones:

1. En el escenario que considera la ruta alterna a través del Trampolín de la Muerte, se observa una relación negativa de 0.25 entre el factor de ruta y la producción de café en toneladas. Aunque los datos indican un resultado ligeramente mejor en comparación con la ilustración 29, la calidad de la carretera, la seguridad y el tiempo real, es decir, la duración efectiva del viaje considerando las condiciones reales de la vía, no hacen de esta la mejor opción. Esta ruta presenta numerosos desafíos logísticos, incluyendo esperas prolongadas y condiciones de tráfico difíciles debido a su estrechez y falta de pavimentación, lo cual también aumenta los costos de viaje, es extremadamente peligrosa, con 80 km de recorrido, 18 curvas por kilómetro y un solo carril de 3 metros de ancho sin pavimentar (Uribe Martínez & Serrano Gil, 2020). Los riesgos involucrados son significativos, incluyendo el peligro de accidentes y demoras. Estas condiciones adversas afectan la eficiencia del transporte y la seguridad de quienes transitan por esta vía.

2. Similar a la ilustración 29, la ruta alterna muestra una correlación débil de los tiempos de viaje de 0.24 con el factor de ruta y una negativa de 0.33 en relación con la producción en toneladas para el 2022. Las vías que conforman el clúster en la región de estudio son mayoritariamente de tipo 3, 4 y 5, lo que contribuye a la ineficiencia en el transporte y a tiempos de viaje prolongados e indica que las mejoras en la infraestructura vial son cruciales para reducir los tiempos de transporte y aumentar la productividad.

6.5.5. Discusión de los resultados

La infraestructura de transporte desempeña un papel determinante en la dinámica económica y social de un departamento, influyendo directamente en su desarrollo. En el caso de Nariño, la concentración de la infraestructura vial ha generado un desequilibrio en el desarrollo económico de los municipios. Estudios previos, como el de Goyes Chaves et al. (2022b), han mostrado resultados similares, donde el noroeste y el centro del departamento presentan serios problemas en la calidad del trazado de las rutas, con un factor de ruta superior a 2.21. Según Bosque (1992), este valor indica una red tortuosa. En contraste, en el presente estudio, los valores más altos del factor de ruta fueron de 2.02, lo cual se atribuye a la diferencia de escalas en las redes evaluadas. Mientras que Goyes Chaves et al. (2022b) se enfocan en la red departamental y en las cabeceras municipales, ambos estudios coinciden en la importancia de mejorar la infraestructura de transporte, especialmente en las zonas norte y oriente de Nariño.

El trabajo de Goyes proporcionó una visión más completa y matizada de los desafíos y oportunidades en la infraestructura vial de Nariño. Al abordar tanto las coincidencias como las discrepancias, se puede ofrecer una discusión enriquecedora que contribuya significativamente al conocimiento sobre la accesibilidad y logística en regiones montañosas productoras de café.

Comparado con el estudio de Rodríguez Mariaca et al. (2018b), que abarca todo el país y evalúa la accesibilidad terrestre a los puertos marítimos y las principales ciudades colombianas, este estudio se enfoca específicamente en las rutas de transporte del café en las zonas de producción de café especial. Mientras que Rodríguez Mariaca analiza la accesibilidad general a los puertos marítimos y concluye que la mayoría de las rutas se clasifican como de red regular, este estudio se concentra en la accesibilidad de los municipios cafeteros hacia los puertos marítimos, sin hacer una comparación directa con otras regiones del país.

Ambos estudios emplean el indicador de presencia/ausencia para evaluar la provisión de infraestructura de transporte y detectar áreas con deficiencias significativas en conectividad. Mientras que (Rodríguez Mariaca et al., 2018b) proporciona una perspectiva nacional comparando la accesibilidad en diferentes departamentos a diferencia de este estudio se centra en la conectividad vial de las zonas de producción. Estas diferencias en alcance y enfoque complementan la comprensión de los desafíos de infraestructura en Colombia, subrayando la necesidad de un análisis detallado y específico de cada región para mejorar la planificación y el desarrollo de la infraestructura de transporte.

Al igual que los tiempos promedio de viaje, las oportunidades de exportación se encuentran concentradas en el sureste del departamento y no presentó variaciones independientemente de la ruta, solo aumentaron los tiempos de viaje, pero los municipios con tiempos de viaje menores a las 24 horas y los superiores a las 29 quedaron iguales con un incremento de tan solo 4 horas en los viajes respectivamente.

Así mismo, en el estudio de Mariaca et al. (2018), se observa que los departamentos con una topografía accidentada, como las zonas de alta montaña, tienen los niveles más bajos de accesibilidad. Esto concuerda con los resultados de este estudio, donde las zonas productoras ubicadas a mayor altitud también muestran bajos niveles de accesibilidad. Aunque ambos estudios utilizan metodologías similares para evaluar la infraestructura de transporte y su impacto en la accesibilidad, difieren en su enfoque geográfico y en los aspectos específicos que consideran. Mariaca et al. analizan a nivel nacional y destacan la importancia de la jerarquía poblacional y la conexión multimodal (vial y férrea) para mejorar la accesibilidad a los puertos marítimos. En cambio, este estudio se enfoca en los municipios productores de café en Nariño, ofreciendo una visión detallada de sus desafíos de infraestructura.

Las diferencias en enfoque y detalles entre los estudios ayudan a entender mejor los problemas de infraestructura en Colombia. Mientras que Mariaca et al (2018) destacan la importancia de mejorar las conexiones multimodales y considerar la jerarquía poblacional para aumentar la accesibilidad a nivel nacional, el estudio en Nariño enfatiza la necesidad de considerar la topografía y la distribución de la producción agrícola para mejorar la accesibilidad y competitividad regional. Estos hallazgos muestran la importancia de realizar análisis específicos para cada región, lo que puede mejorar la planificación y desarrollo de la infraestructura de transporte en Colombia. Combinando los enfoques de ambos estudios, se puede obtener una visión más completa de los desafíos y oportunidades en infraestructura,

permitiendo diseñar estrategias más efectivas adaptadas a las necesidades de cada región.

Para los dos escenarios se apreció que los tiempos de viaje y la oportunidad de exportación utilizando los puertos seleccionados depende de la cantidad de infraestructura vial participante, como se pudo observar para ambos indicadores en ambos escenarios el sureste y el sur del departamento cuenta con un clúster de municipios con una mayor ventaja para la exportación del producto cafetero, así como menores tiempos de viaje independientemente de la ruta que se tome. Por otra parte, se logró apreciar la existencia de un clúster con altas desventajas cuyos tiempos de viaje fue mayor a las 29 horas y sus oportunidades de participación en la exportación eran menores, aunque contaban con una producción y rentabilidad alta ubicado al noroeste de la zona de estudio conformado por 4 municipios, sin embargo, el total de municipios que presentan tiempos de viaje superiores a las 26 horas fueron un total de 18 equivalente al 41% de los municipios productores.

Se evaluó la ruta alterna utilizada durante el cierre de la vía Panamericana tras el derrumbe en Rosas, Cauca. Esta ruta, plantea serios desafíos en términos de seguridad y eficiencia logística debido a su trazado complicado y condiciones adversas, características que le han valido el nombre de "Trampolín de la Muerte".

Se observó que los índices con mayor correlación fueron el coeficiente de Hansen y los tiempos de viaje, ambos con valores negativos de -0.9. Aunque los municipios están más cercanos a la vía principal al tomar la ruta alterna, el elevado riesgo asociado con el Trampolín de la Muerte, caracterizado por profundos precipicios, hace que esta opción sea menos viable. La alta peligrosidad de esta ruta subraya la necesidad urgente de alternativas más seguras y eficientes. A pesar de que se autorizó la construcción de la Variante San Francisco-Mocoa a principios de la década de 2000, la obra se encontraba suspendida desde diciembre de 2016 debido al agotamiento de recursos económicos. Esto evidencia la necesidad de realizar inversiones sostenibles y una planificación a largo plazo para mejorar la infraestructura vial en la región (Uribe Martínez & Serrano Gil, 2020).

A pesar de estas dificultades, la ruta alterna podría ofrecer beneficios potenciales para ciertos municipios cercanos, proporcionando una alternativa vital cuando la ruta principal no está operativa. Esta situación subraya la importancia de considerar diversas opciones de conectividad para un desarrollo regional equilibrado y efectivo en toda la región. Es necesario invertir en mejorar y mantener estas rutas alternas para asegurar que, en

situaciones de emergencia, exista una infraestructura adecuada que pueda soportar el tráfico adicional y minimizar el impacto en la economía local.

7. CONCLUSIONES

- La caracterización de la red de infraestructura vial del departamento de Nariño permitió observar la desigualdad de infraestructura existente hacia el oeste del departamento, dejando únicamente una vía que comunica del municipio de Tumaco con el interior del país como vía principal para los municipios circundantes, y sin infraestructura vial a los municipios ubicados hacia la costa pacífica al noroeste del departamento, esto implica una fuerte desigualdad de oportunidades generando mayor accesibilidad únicamente al sur y al sureste del departamento dejando estos municipios sin posibilidad de crecimiento económico.
- Las vías del departamento presentan una alta vulnerabilidad en su estabilidad, dado que la mayoría se encuentra caracterizada como tipo 3, 4, 5 según el manual del IGAC. Aunque cumplen su función, no están adecuadamente estructuradas, careciendo de dimensiones y materiales correctos para asegurar su estabilidad. A pesar de esto, la concentración de infraestructura vial, incluso con vías de baja calidad, contribuye significativamente al aumento de la accesibilidad en la zona como lo son las vías de tipo 4 y 5.
- Los indicadores de accesibilidad especialmente el de Hansen y el factor de ruta integral, muestran una alta correlación debido a factores como el trazado de las vías y la adaptación a la topografía natural, que puede requerir costosas obras de ingeniería. Además, el tamaño de los vehículos utilizados para el transporte agrícola y de otros productos genera dificultades, resultando en una menor cantidad de productos que llegan a las áreas de comercialización y exportación en comparación con la cantidad de producto que sale de la zona de producción.
- En la región se han identificado 10 zonas donde la producción de café supera las 1,217 toneladas para el año 2024. Entre estas zonas, 4 se encuentran hacia el sureste, 3 hacia el norte y 1 hacia el noroeste del área de estudio, destacándose el municipio de Chachagüí con una producción que supera las 1,270 toneladas. Sin embargo, a pesar de estas cifras, los caficultores de Chachagüí experimentan una rentabilidad menor a 1.1 toneladas por hectárea. Estos datos subrayan que, aunque la producción de café es considerable en estas áreas, la rentabilidad por hectárea en Chachagüí está por debajo de 1.1 toneladas, señalando posibles desafíos

relacionados con la gestión agrícola, los costos de producción o la eficiencia que podrían estar afectando a los agricultores en esta región.

- La información suministrada por la plataforma de acceso libre Agronet del Ministerio de Agricultura abarca hasta el 2022, lo que limita el análisis al no permitir observar la evolución reciente de la producción y rentabilidad. En contraste, la información de la Sociedad Cafetera de Colombia incluye datos actuales de exportaciones, aunque carece de detalles sobre la cantidad de producto por origen, una variable que puede ayudar para evaluar oportunidades de exportación de manera más precisa. La información generada por Agronet no es lo suficiente actual para poder observar una evolución o tener conocimiento si ha habido fluctuaciones en los últimos 2 años.
- Respecto a los equipamientos portuarios, el puerto de Buenaventura, siendo el más cercano a Nariño y el de mayor volumen de exportación en toneladas utilizando los SPR, enfrenta problemas similares a los del puerto de Tumaco, que actualmente solo maneja aceites y petróleo debido a su única vía de acceso. Para mejorar la exportación agrícola desde el noroeste del departamento, es necesario desarrollar el puerto de Tumaco y mejorar la infraestructura vial que lo conecte con el interior del país. Esta mejora reduciría los tiempos de viaje entre los municipios, disminuyendo los gastos intrínsecos al transporte del producto e incluso, ayudaría a evitar la pérdida de calidad en el producto cafetero.
- La evaluación del factor de ruta reveló que las rutas utilizadas para el transporte del café en Nariño presentan una alta irregularidad, con valores superiores a 1.5, lo que indica que estas rutas no son eficientes. Los municipios del noroeste, como Samaniego, Providencia y Túquerres, mostraron los mayores desafíos con valores superiores a 1.63, subrayando la necesidad de mejorar la infraestructura vial en estas áreas para optimizar la conectividad y la eficiencia logística. La implementación de rutas más directas y eficientes podría reducir los costos de transporte y mejorar la competitividad de los productores locales en el mercado global.
- La vía Panamericana ha sufrido numerosos deslizamientos en el departamento del Cauca, aumentando los riesgos y retrasos en el transporte, lo que se traduce en aranceles más altos y pérdidas económicas. Es importante evaluar alternativas de exportación, como el uso del puerto de Tumaco, el aeropuerto de Pasto, y la exportación hacia Ecuador, sobre todo mejorar la infraestructura vial alternativa, como la ruta

conocida como el Trampolín de la Muerte, para el transporte dentro del país.

- El análisis de accesibilidad mediante la implementación de indicadores es una herramienta eficaz poder determinar áreas de oportunidad para el mejoramiento de la comunicación para la prestación de servicios y el intercambio económico. Actualmente existen indicadores con modelamientos más detallados que permiten tener una mejor aproximación a la realidad, sin embargo, los métodos generales utilizados en este trabajo, junto con herramientas de análisis geográfico y datos de calidad, han producido resultados muy cercanos a la realidad. Estos análisis son importantes para el desarrollo económico e infraestructural de cualquier región. Es importante seleccionar indicadores adecuados al contexto para obtener valores de accesibilidad precisos para zonas pobladas, de producción y otras áreas dependientes de la infraestructura vial.
- Con base en el indicador de tiempo promedio de viaje es importante resaltar la importancia de considerar las características del diseño de vial presentado por la información de acceso libre de INVIAS, el IGAC y el motor de búsqueda OSM para la asignación de velocidades. Se pudo tener un acercamiento a la velocidad asignándole las velocidades máximas permitidas que proporcionó el ministerio de transporte para las vías nacionales, además de poder tener información de acceso libre como Google Maps, que proporcionaron información promedio sobre las velocidades reales de los vehículos en estas rutas.
- Respecto al objetivo principal, determinar la accesibilidad de las zonas de producción de café especial en el departamento de Nariño, proporcionando información que permite la toma de decisiones económicas. Esto permite identificar los municipios con mayores limitaciones y desarrollar planes de contingencia para el transporte en caso de cierres o desastres naturales, asegurando el uso de rutas seguras y eficientes.

8. RECOMENDACIONES

- El presente estudio aspira a ser un recurso valioso para la planificación territorial llevada a cabo por las entidades gubernamentales. Su objetivo no solo es apoyar la toma de decisiones en aspectos socioeconómicos abordados en este documento, sino, más importante aún, contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la infraestructura vial de las zonas de producción de café. Entidades como la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y el Ministerio de Transporte deben enfocar sus estudios en análisis más profundo que permita determinar el estado actual de la infraestructura vial y como esto afecta al potencial de uso del suelo, a la gestión de bienes públicos rurales para el desarrollo productivo, las capacidades productivas y las condiciones de los campesinos. Todo esto con el fin de contribuir a los objetivos establecidos en los documentos CONPES y apoyar el Plan Nacional de Desarrollo.
- Es fundamental priorizar la mejora de la infraestructura vial en el departamento de Nariño, complementada por la optimización y reactivación de la capacidad operativa del Puerto de Tumaco para la exportación de productos agrícolas. Esta estrategia no solo reducirá los costos de transporte y mejorará la competitividad de los productores locales, sino que también permitirá mitigar el impacto de eventos disruptivos, como los deslizamientos en Rosas, Cauca, al ofrecer rutas alternas seguras y eficientes. Al mismo tiempo, garantizará un acceso equitativo a servicios y recursos para todos los habitantes, promoviendo el desarrollo económico y agropecuario regional de manera sostenible. Esto resulta importante para superar el estancamiento económico actual y fortalecer la cadena productiva del departamento, asegurando que Nariño no dependa únicamente de la exportación de petróleo, sino que diversifique su economía a través del fortalecimiento de la infraestructura y la capacidad exportadora agrícola.
- Aparte de servir como herramienta para la planificación espacial y la toma de decisiones, se espera que este documento sea la base para nuevas investigaciones, las cuales permitirán decisiones más detalladas sobre los equipamientos logísticos de exportación, considerando indicadores más complejos y variables adicionales, como segmentos de vías, semaforización, y datos económicos como aranceles y costos adicionales. El objetivo es lograr una mayor precisión en los análisis y decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS Pro 3.3. (2021). *Cómo funciona IDW*. ArcGIS for Desktop.
- Baradaran, S., & Ramjerdi, F. (2001). Performance of Accessibility Measures in Europe. *JOURNAL OF TRANSPORTATION AND STATISTICS*.
- Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Srouf, I., & Weston, L. (2001). *Assessment Of Accessibility Measures*.
- Buzai, G., & Baxendale, C. (2015). Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Marco conceptual basado en la teoría de la geografía. *Ciencias Espaciales*, 8, 391. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2089>
- Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2016). *TPP, Tumaco Pacific Port*. <https://Infraestructura.Org.Co/Descargas/Nari%C3%B1o/6.%20Andr%C3%A9s%20Tarquino%20-%20Gerente%20Tumaco%20Pacific%20Port.Pdf>.
- Chías Becerril Luis, & Reséndiz López Héctor Daniel. (2008). *Análisis espacial de las redes de transporte, empleando Sistemas De Información Geográfica*. http://paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/4019/Publica_20180313220435.pdf
- Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia, & Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Política Y Estrategias Para El Desarrollo Agropecuario Del Departamento De Nariño*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3811.pdf>
- Cruz, J. F., & Diop, A. (1990). *Avances en la ingeniería agrícola: técnicas de almacenamiento*. [Http://Cedia.Fausac.Usac.Edu.Gt/Cgi-Bin/Koha/Opac-Detail.PI?Biblionumber=6774](http://Cedia.Fausac.Usac.Edu.Gt/Cgi-Bin/Koha/Opac-Detail.PI?Biblionumber=6774).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). *PIB por departamento*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/cuentas-nacionales/cuentas-nacionales-departamentales>
- ESRI. (2016). *Documentación ESRI*. ArcMap. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/geocoding/what-is-geocoding.htm>

- Esri Support. (2022). *Diccionario SIG*. ArcGIS Technical Support. <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2023a). *Estadísticas Cafeteras*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2023b). *Glosario - Café especial*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/glosario/cafes-especiales/>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2023c). *Glosario - Café especial*. <https://federaciondecafeteros.org/wp/glosario/cafes-especiales/>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2020). *Definiciones y explicaciones técnicas*. <https://www.fao.org/about/about-fao/es/>
- Franch-Pardo, I., Napoletano, B. M., Rosete-Verges, F., & Billa, L. (2020). Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review. *Science of The Total Environment*, 739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140033>
- Freiría, S., Sousa, N., & Calvo-Poyo, F. (2022). Spatial analysis of the impact of transport accessibility on regional performance: A study for Europe. *Journal of Transport Geography*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103371>
- Galvis, L., & Meisel, A. (2010). *Persistencia de las desigualdades regionales en Colombia: Un análisis espacial*. <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTS-ER-120.pdf>
- GEOGRA. (2006). *Introduction to GIS*. https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST_Vector.Htm#:~:Text=Los%20datos%20vectoriales%20constan%20de,Se%20almacena%20de%20forma%20expl%C3%ADcita.
- Geurs, K. T., & van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>
- Gobernación del Nariño. (2015). *Historia del departamento de Nariño*. Gobernación Del Nariño. <https://sitio.narino.gov.co/historia/>
- Gobernación del Valle del Cauca, & secretaria de Gobierno Departamental del Valle del Cauca. (2016). *Plan Departamental de Seguridad Vial del Valle 2016-2021*. <https://www.valledelcauca.gov.co/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=vie-wpdf&id=20218>
- Goyes Chaves, D. M., Jaramillo Molina, C., & Arango Pastrana, C. A. (2022a). Evaluación espacial de zonas potenciales de centros de distribución de cafés especiales, caso del Departamento de Nariño - Colombia. *Revista EIA*, 19(38). <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1542>

- Goyes Chaves, D. M., Jaramillo Molina, C., & Arango Pastrana, C. A. (2022b). Evaluación espacial de zonas potenciales de centros de distribución de cafés especiales, caso del Departamento de Nariño - Colombia. *Revista EIA*, 19(38). <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1542>
- Hansen, W. G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), 73–76. <https://doi.org/10.1080/01944365908978307>
- Héctor, H., & Carlos, S. (2017). ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA ACCESIBILIDAD COMO INDICADOR DE LA CALIDAD DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO-SITM [Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/5eeec2f-1ee2-426d-9326-4f325313849f/content>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2016). *Catálogo de Objetos Geográficos Cartografía Básica Digital*. https://Antiguo.Igac.Gov.Co/Sites/Igac.Gov.Co/Files/Igac_co_cartografia_basica_v2.3.Pdf.
- Izquierdo de Bartolomé, R. (1994). *Transportes, un enfoque integral* (1ª ed.). Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. https://bun.uam.es/primo-explore/fulldisplay?docid=34UAM_ALMA21193701380004211&vid=34UAM_VU1&search_scope=TAB2_SCOPE1&tab=tab2&lang=es_ES&context=L
- Levy, N., Golani, C., & Ben-Elia, E. (2019). An exploratory study of spatial patterns of cycling in Tel Aviv using passively generated bike-sharing data. *Journal of Transport Geography*, 76, 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.10.005>
- Ministerio de Transporte. (2022). *Resolución 20233040025995 de 2023*. Ministerio de Transporte. [https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=144098&dt=S#:~:text=La%20velocidad%20en%20zonas%20escolares,\(90\)%20kil%C3%B3metros%20por%20hora](https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=144098&dt=S#:~:text=La%20velocidad%20en%20zonas%20escolares,(90)%20kil%C3%B3metros%20por%20hora).
- Ministerio de Transporte. (2023). *Boletín Estadístico Tráfico Portuario en Colombia, Año 2022*.
- Observatorio Economico de Camara de Comercio de Pasto. (2023). *Bloqueo Via Panamericana: Afectación economía en el departamento de Nariño. 1*. <https://ccpasto.org.co/wp-content/uploads/2023/02/BOLETIN-IMPACTO-ECONOMICO-BLOQUEO-VIA-PANAMERICANA-2023.pdf>
- Riaño, E. (2010). Densidad Vial. In *Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi*, 2010 (p. 12). https://sinchi.org.co/files/Base%20de%20Datos%20Inirida/PDF/18_Densidad%20vial.pdf

- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., & Slack, B. (2006). *The Geography of Transport Systems* (Cuarta). Routledge.
https://geonas.at.ua/_Id/0/34_The_Geography_o.pdf
- Rodríguez, J. P. (2011). *Transporte: concepto y clasificación*.
<https://www.Economia.Com.Mx/Transporte/Concepto-Clasificacion-Transporte.Htm>.
- Rodríguez Mariaca, D. A., García Calán, C. A., & Jaramillo Molina, C. (2018a). La accesibilidad terrestre a los puertos marítimos de Colombia. Una aproximación desde la equidad territorial. *Entorno Geográfico*, 15, 8–46.
<https://doi.org/10.25100/EG.V0I15.6708>
- Rodríguez Mariaca, D. A., García Calán, C. A., & Jaramillo Molina, C. (2018b). La accesibilidad terrestre a los puertos marítimos de Colombia. Una aproximación desde la equidad territorial. *Entorno Geográfico*, 15, 8–46.
<https://doi.org/10.25100/EG.V0I15.6708>
- Sarria, F. A. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*.
<https://www.Um.Es/Geograf/Sigmur/Sigpdf/Temario.Pdf>.
- Schliessler, A. (2014). *Caminos: un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales*. Naciones Unidad por Alguero.
<https://centrodeconocimiento.ccb.org.co/buscador/Record/ir-11362-33758>
- Seguí Pons Joana María, & Martínez Reynés María Rosa. (2004). *Geografía de los transportes*. Edicions UIB.
https://books.google.com.co/books/about/Geograf%C3%ADa_de_los_transportes.html?id=gjhdvY3kBpYC&redir_esc=y
- Serrano, X. (2022). El Trampolín de la muerte: camino de incorporación violenta al Estado. *Divulgación Científica- Universidad Del Rosario*, 138–141. <https://urosario.edu.co/revista-divulgacion-cientifica/economia-y-politica/el-trampolin-de-la-muerte-camino-de-incorporacion-violenta-al-estado>
- Sevtsuk, A. (2010). *Path and Place: A Study of Urban Geometry and Retail Activity in Cambridge*. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/62034>
- Subsecretaría de Tránsito y Transporte Departamental, & Gobernación de Nariño. (2004). *Plan Departamental de Seguridad Vial de Nariño 2019-2024*.
http://2016-2019.narino.gov.co/inicio/files/SalaDePrensa/2019/PDSV_2019_-_2024_PARA_CONSULTA_PUBLICA.pdf
- Subsecretaría de Tránsito y Transporte Departamental, & Gobernación de Nariño. (2019). *Plan Departamental de Seguridad Vial de Nariño 2019-2024*.
http://2016-2019.narino.gov.co/inicio/files/SalaDePrensa/2019/PDSV_2019_-_2024_PARA_CONSULTA_PUBLICA.pdf
- Superintendencia de Transporte. (2022). *Informe Mensual febrero 2022 Estadísticas de Tráfico Portuario en Colombia*.
www.supertransporte.gov.co

- TCC. (2023, July 11). *CENTRO DE DISTRIBUCIÓN: LO QUE DEBES SABER SOBRE CÓMO FUNCIONA*. <https://Tcc.Com.Co/Portal/Logistica/Centro-de-Distribucion/>. <https://tcc.com.co/portal/logistica/centro-de-distribucion/>
- The logistics world. (2023, April 3). *PUERTOS MARÍTIMOS: Definición, funciones y su relevancia en el comercio internacional*. <<https://Thelogisticsworld.Com/Logisticay-Distribucion/Puertos-Maritimos-Definicion-Funciones-y-Su-Relevancia-En-Elcomercio-Internacional/>.
- UNIDO (UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION). (2017). *Manual de estadísticas industriales de Naciones Unidas: Clasificación internacional uniforme de todas las actividades económicas*. https://Unstats.Un.Org/Unsd/Publication/Seriesm/Seriesm_4rev4s.Pdf.
- Uribe Martínez, S., & Serrano Gil, X. (2020, December 28). *El Trampolín de la muerte: camino de incorporación violenta al Estado*. <https://Repository.Urosario.Edu.Co/Items/495768da-949f-4c03-9e02-3033294174de>.
- Viloria De la Hoz, J. (2000). *De Colpuertos a las Sociedades Portuarias: los puertos del Caribe colombiano, 1990-1999*. <https://doi.org/1692-3715>
- Watson, D. F. (1985). *A refinement of inverse distance weighted interpolation*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:123804338>
- World Bank Group. (2017). *Infrastructure: Definitions and Issues*. <https://Openknowledge.Worldbank.Org/Bitstream/Handle/10986/26442/9781464811028.Pdf>.
- Yurani Gamboa, P. R., Andrés Mosquera, S. S., & Enrique Paz, I. N. (2014). SPECIAL COFFEE CUP CHARACTERIZATION IN THE MUNICIPALITY OF CHACHAGÜI, NARIÑO DEPARTMENT, COLOMBIA. In *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* (Vol. 11, Issue 2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200010

ANEXOS

Puerto de Embarque	2019	2020	2021	2022	2023
Aerp. El Dorado	6,790	2,817	1,551	177	7,379
Aerp. José M.Cordoba	4,567	3,400	0	0	616
Aerp. Alfonso Bonilla	95	24	2	0	66
Aerp. Matecaña	94	43	0	0	
Insp. Barranquilla	725	2,786	2,509	3,733	3,880
Insp. Buenaventura	9,282,159	8,816,304	7,323,698	6,858,784	6,653,920
Insp. Cartagena	3,911,315	3,099,162	4,236,453	3,625,868	3,347,181
Insp. Santa Marta	434,744	569,609	857,447	899,308	536,561
Cucúta	0	0	0	0	
Ipiales	24,004	27,653	16,772	20,366	29,568
Paraguachón	26	0	0	0	115
Urabá	0	0	0	0	
Pasto				0	
Zonas Francas	3,087	4,238	357	0	
Medellín	0	0	0	0	3
Manizales	0	0	0	5	
Barrancabermeja	0	1,400	0	0	13
Total Aeropuertos	11,546	6,284	1,553	182	8,064
Total Puertos Marítimos	13,628,943	12,489,261	12,420,107	11,387,693	10,541,555
Total Frontera terrestre y ZF	27,117	31,891	17,129	20,366	29,683
Total general	13,667,606	12,527,436	12,438,789	11,408,241	10,579,302

*Anexo No. 1 Exportaciones por tipo de puerto de embarque para los años 2019 al 2023;
fuente FNC, 2024*

Id	Puerto Exportador	Export_2020	Export_2021	Export_2022	Export_2023
1	SPR Barranquilla	2786.000	2509.000	3733.000	3880.000
2	SPR Buenaventura	8816304.000	7323698.000	6858784.000	6653920.000
3	SPR Cartagena	3099162.000	4236453.000	3625868.000	3347181.000

4	SPR Santa Marta	569609.000	857447.000	899308.000	536561.000
5	SPR Tumaco	0.000	0.000	0.000	0.000

*Anexo No. 2 Variable de atracción exportación en toneladas para los años 2020 al 2023;
fuente FNC, 2024*

Id	Nodo	Name	Coord_Y	Coord_X
6.0000	Nod_Inter	Almacafé_CD	1.233	-77.297
52019	Nod_Inicial	Alban	1.468	-77.072
52036	Nod_Inicial	Ancuya	1.252	-77.524
52051	Nod_Inicial	Arboleda	1.474	-77.130
52083	Nod_Inicial	Belén	1.601	-77.069
52110	Nod_Inicial	Buesaco	1.387	-77.136
52240	Nod_Inicial	Chachagui	1.368	-77.272
52203	Nod_Inicial	Colon	1.641	-77.053
52207	Nod_Inicial	Consacá	1.209	-77.467
52210	Nod_Inicial	Contadero	0.946	-77.470
52227	Nod_Inicial	Cumbal	1.008	-77.906
52233	Nod_Inicial	Cumbitara	1.660	-77.547
52254	Nod_Inicial	El Penol	1.477	-77.439
52256	Nod_Inicial	El Rosario	1.758	-77.363
52258	Nod_Inicial	El Tablón	1.415	-77.043
52260	Nod_Inicial	El Tambo	1.420	-77.385
52287	Nod_Inicial	Funes	1.009	-77.446
52320	Nod_Inicial	Guaitarilla	1.169	-77.496
52352	Nod_Inicial	Iles	0.998	-77.475
52354	Nod_Inicial	Imués	1.033	-77.474
52378	Nod_Inicial	La Cruz	1.627	-76.964
52381	Nod_Inicial	La Florida	1.357	-77.382
52385	Nod_Inicial	La Llanada	1.452	-77.564
52399	Nod_Inicial	La Unión	1.616	-77.134
52405	Nod_Inicial	Leiva	1.960	-77.296
52411	Nod_Inicial	Linares	1.381	-77.530
52418	Nod_Inicial	Los Andes	1.536	-77.514
52435	Nod_Inicial	Mallama	1.161	-77.902
52480	Nod_Inicial	Nariño	1.299	-77.336
52506	Nod_Inicial	Ospina	1.026	-77.499
52001	Nod_Inicial	Pasto	1.324	-77.327
52540	Nod_Inicial	Policarpa	1.684	-77.448
52565	Nod_Inicial	Providencia	1.278	-77.605
52612	Nod_Inicial	Ricaurte	1.198	-77.993
52678	Nod_Inicial	Samaniego	1.349	-77.588
52685	Nod_Inicial	San Bernardo	1.518	-77.051
52687	Nod_Inicial	San Lorenzo	1.537	-77.214

52693	Nod_Inicial	San Pablo	1.675	-77.004
52694	Nod_Inicial	San Pedro De Cartago	1.536	-77.098
52683	Nod_Inicial	Sandona	1.303	-77.478
52699	Nod_Inicial	Santa Cruz	1.288	-77.650
52786	Nod_Inicial	Taminango	1.563	-77.311
52788	Nod_Inicial	Tangua	1.066	-77.409
52838	Nod_Inicial	Tuquerres	1.262	-77.629
52885	Nod_Inicial	Yacuanquer	1.108	-77.452

Anexo No. 3 Coordenadas de nodos iniciales e intermedios, zonas de producción de café especial de Nariño, fuente FNC,2022.

Id	Nodo	Name	Coord_Y	Coord_X
1.0000	Nod_Final	SPR Barranquilla	10.971	-74.764
2.0000	Nod_Final	SPR Buenaventura	3.892	-77.072
3.0000	Nod_Final	SPR Cartagena	10.406	-75.533
4.0000	Nod_Final	SPR Santa Marta	11.248	-74.214
5.0000	Nod_Final	SPR Tumaco	1.820	-78.732
6.0000	Nod_Inter	Almacafé_CD	1.233	-77.297

Anexo No. 4 Coordenadas de nodos finales, SPR de Colombia exportadores de Café según FNC.

Código	Municipio	SPR Barranquilla	SPR Buenaventura	SPR Cartagena	SPR Santa Marta
52019	Alban	30.30	12.83	29.35	30.92
52036	Ancuya	30.28	12.82	29.33	30.90
52051	Arboleda	30.03	12.57	29.08	30.65
52083	Belén	31.10	13.63	30.15	31.72
52110	Buesaco	29.52	12.05	28.57	30.13
52240	Chachagui	29.02	11.55	28.07	29.63
52203	Colon	31.78	14.32	30.83	32.40
52207	Consacá	29.65	12.18	28.70	30.27
52210	Contadero	29.43	11.97	28.48	30.05
52227	Cumbal	31.40	13.93	30.45	32.02
52233	Cumbitara	33.47	16.00	32.52	34.08
52254	El Penol	30.03	12.57	29.08	30.65
52256	El Rosario	30.55	13.08	29.60	31.17
52258	El Tablón	30.63	13.17	29.68	31.25
52260	El Tambo	29.48	12.02	28.53	30.10
52287	Funes	29.33	11.87	28.38	29.95
52320	Guaitarilla	30.35	12.88	29.40	30.97
52352	Iles	29.32	11.85	28.37	29.93

52354	Imués	29.22	11.75	28.27	29.83
52378	La Cruz	31.48	14.02	30.53	32.10
52381	La Florida	29.07	11.60	28.12	29.68
52385	La Llanada	31.38	13.92	30.43	32.00
52399	La Unión	30.73	13.27	29.78	31.35
52405	Leiva	31.83	14.37	30.88	32.45
52411	Linares	30.97	13.50	30.02	31.58
52418	Los Andes	31.63	14.17	30.68	32.25
52435	Mallama	30.85	13.38	29.90	31.47
52480	Nariño	28.83	11.37	27.88	29.45
52506	Ospina	29.43	11.97	28.48	30.05
52001	Pasto	29.10	11.63	28.15	29.72
52540	Policarpa	32.37	14.90	31.42	32.98
52565	Providencia	30.93	13.47	29.98	31.55
52612	Ricaurte	31.13	13.67	30.18	31.75
52678	Samaniego	31.07	13.60	30.12	31.68
52685	San Bernardo	30.35	12.88	29.40	30.97
52687	San Lorenzo	30.15	12.68	29.20	30.77
52693	San Pablo	31.82	14.35	30.87	32.43
52694	San Pedro De Cartago	30.20	12.73	29.25	30.82
52683	Sandona	29.63	12.17	28.68	30.25
52699	Santa Cruz	30.93	13.47	29.98	31.55
52786	Taminango	30.27	12.80	29.32	30.88
52788	Tangua	29.15	11.68	28.20	29.77
52838	Tuquerres	31.03	13.57	30.08	31.65
52885	Yacuanquer	29.27	11.80	28.32	29.88

Anexo No. 5 Matriz Origen Destino con tiempo en horas para los respectivos trayectos entre nodos considerando la ruta Panamericana o Escenario 1.

Código	Municipio	SPR Barranquilla	SPR Buenaventura	SPR Cartagena	SPR Santa Marta
52019	Alban	1154.50	332.88	1074.54	1200.55
52036	Ancuya	1143.60	321.99	1063.65	1189.65
52051	Arboleda	1150.91	329.30	1070.96	1196.96
52083	Belén	1166.44	344.83	1086.49	1212.49
52110	Buesaco	1143.10	321.48	1063.14	1189.15
52240	Chachagui	1133.55	311.94	1053.60	1179.60
52203	Colon	1171.17	349.55	1091.21	1217.21
52207	Consacá	1137.38	315.76	1057.42	1183.43
52210	Contadero	1155.61	334.00	1075.66	1201.66

52227	Cumbal	1190.49	368.87	1110.53	1236.53
52233	Cumbitara	1173.28	351.66	1093.32	1219.32
52254	El Penol	1149.65	328.03	1069.69	1195.70
52256	El Rosario	1177.11	355.49	1097.15	1223.16
52258	El Tablón	1153.08	331.46	1073.12	1199.13
52260	El Tambo	1141.24	319.63	1061.28	1187.29
52287	Funes	1148.26	326.65	1068.31	1194.31
52320	Guaitarilla	1141.54	319.93	1061.59	1187.59
52352	Iles	1151.13	329.51	1071.17	1197.17
52354	Imués	1148.04	326.42	1068.08	1194.08
52378	La Cruz	1175.67	354.06	1095.72	1221.72
52381	La Florida	1134.98	313.36	1055.02	1181.02
52385	La Llanada	1156.65	335.04	1076.70	1202.70
52399	La Unión	1164.58	342.97	1084.62	1210.63
52405	Leiva	1199.12	377.50	1119.16	1245.16
52411	Linares	1148.95	327.33	1068.99	1195.00
52418	Los Andes	1159.70	338.08	1079.74	1205.75
52435	Mallama	1186.02	364.41	1106.07	1232.07
52480	Nariño	1126.79	305.17	1046.83	1172.83
52506	Ospina	1150.50	328.88	1070.54	1196.54
52001	Pasto	1128.92	307.30	1048.96	1174.97
52540	Policarpa	1171.15	349.53	1091.19	1217.20
52565	Providencia	1152.88	331.26	1072.92	1198.93
52612	Ricaurte	1195.76	374.14	1115.80	1241.81
52678	Samaniego	1153.09	331.48	1073.14	1199.14
52685	San Bernardo	1160.18	338.56	1080.22	1206.23
52687	San Lorenzo	1153.33	331.71	1073.37	1199.38
52693	San Pablo	1177.27	355.66	1097.31	1223.32
52694	San Pedro De Cartago	1158.62	337.00	1078.66	1204.67
52683	Sandona	1139.84	318.23	1059.89	1185.89
52699	Santa Cruz	1157.99	336.38	1078.04	1204.04
52786	Taminango	1155.00	333.39	1075.05	1201.05
52788	Tangua	1140.71	319.09	1060.75	1186.76
52838	Tuquerres	1155.33	333.71	1075.37	1201.38
52885	Yacuanquer	1140.47	318.85	1060.51	1186.52

Anexo No. 6 Matriz Origen Destino con distancia euclidiana en kilómetros para los respectivos trayectos entre nodos considerando la ruta Panamericana o Escenario 1.

Código	Municipio	SPR Barranquilla	SPR Buenaventura	SPR Cartagena	SPR Santa Marta
52019	Alban	1583.00	577.00	1537.00	1701.00
52036	Ancuya	1574.00	568.00	1528.00	1692.00
52051	Arboleda	1577.00	571.00	1531.00	1695.00
52083	Belén	1605.00	599.00	1559.00	1723.00
52110	Buesaco	1558.00	552.00	1512.00	1676.00
52240	Chachagui	1540.00	534.00	1494.00	1658.00
52203	Colon	1627.00	621.00	1581.00	1745.00
52207	Consacá	1568.00	562.00	1522.00	1686.00
52210	Contadero	1570.00	564.00	1524.00	1688.00
52227	Cumbal	1644.00	638.00	1598.00	1762.00
52233	Cumbitara	1641.00	635.00	1595.00	1759.00
52254	El Penol	1567.00	561.00	1521.00	1685.00
52256	El Rosario	1607.00	601.00	1561.00	1725.00
52258	El Tablón	1583.00	577.00	1537.00	1701.00
52260	El Tambo	1552.00	546.00	1506.00	1670.00
52287	Funes	1563.00	557.00	1517.00	1681.00
52320	Guaitarilla	1593.00	587.00	1547.00	1711.00
52352	Iles	1563.00	557.00	1517.00	1681.00
52354	Imués	1558.00	552.00	1512.00	1676.00
52378	La Cruz	1617.00	611.00	1571.00	1735.00
52381	La Florida	1540.00	534.00	1494.00	1658.00
52385	La Llanada	1600.00	594.00	1554.00	1718.00
52399	La Unión	1603.00	597.00	1557.00	1721.00
52405	Leiva	1661.00	655.00	1615.00	1779.00
52411	Linares	1592.00	586.00	1546.00	1710.00
52418	Los Andes	1605.00	599.00	1559.00	1723.00
52435	Mallama	1636.00	630.00	1590.00	1754.00
52480	Nariño	1531.00	525.00	1485.00	1649.00
52506	Ospina	1566.00	560.00	1520.00	1684.00
52001	Pasto	1535.00	529.00	1489.00	1653.00
52540	Policarpa	1648.00	642.00	1602.00	1766.00
52565	Providencia	1629.00	623.00	1583.00	1747.00
52612	Ricaurte	1650.00	644.00	1604.00	1768.00

52678	Samaniego	1633.00	627.00	1587.00	1751.00
52685	San Bernardo	1585.00	579.00	1539.00	1703.00
52687	San Lorenzo	1576.00	570.00	1530.00	1694.00
52693	San Pablo	1638.00	632.00	1592.00	1756.00
52694	San Pedro De Cartago	1587.00	581.00	1541.00	1705.00
52683	Sandona	1560.00	554.00	1514.00	1678.00
52699	Santa Cruz	1626.00	620.00	1580.00	1744.00
52786	Taminango	1592.00	586.00	1546.00	1710.00
52788	Tangua	1549.00	543.00	1503.00	1667.00
52838	Tuquerres	1626.00	620.00	1580.00	1744.00
52885	Yacuanquer	1551.00	545.00	1505.00	1669.00

Anexo No. 7 Matriz Origen Destino con distancia en kilómetros para los respectivos trayectos entre nodos considerando la ruta Panamericana o Escenario 1.

Código	Municipio	SPR Barranquilla	SPR Buenaventura	SPR Cartagena	SPR Santa Marta
52019	Alban	31.15	19.28	32.77	30.53
52036	Ancuya	31.13	19.27	32.75	30.52
52051	Arboleda	30.88	19.02	32.50	30.27
52083	Belén	31.95	20.08	33.57	31.33
52110	Buesaco	30.37	18.50	31.98	29.75
52240	Chachagui	29.87	18.00	31.48	29.25
52203	Colon	32.63	20.77	34.25	32.02
52207	Consacá	30.50	18.63	32.12	29.88
52210	Contadero	30.28	18.42	31.90	29.67
52227	Cumbal	32.25	20.38	33.87	31.63
52233	Cumbitara	34.32	22.45	35.93	33.70
52254	El Penol	30.88	19.02	32.50	30.27
52256	El Rosario	31.40	19.53	33.02	30.78
52258	El Tablón	31.48	19.62	33.10	30.87
52260	El Tambo	30.33	18.47	31.95	29.72
52287	Funes	30.18	18.32	31.80	29.57
52320	Guaitarilla	31.20	19.33	32.82	30.58
52352	Iles	30.17	18.30	31.78	29.55
52354	Imués	30.07	18.20	31.68	29.45
52378	La Cruz	32.33	20.47	33.95	31.72
52381	La Florida	29.92	18.05	31.53	29.30
52385	La Llanada	32.23	20.37	33.85	31.62
52399	La Unión	31.58	19.72	33.20	30.97

52405	Leiva	32.68	20.82	34.30	32.07
52411	Linares	31.82	19.95	33.43	31.20
52418	Los Andes	32.48	20.62	34.10	31.87
52435	Mallama	31.70	19.83	33.32	31.08
52480	Nariño	29.68	17.82	31.30	29.07
52506	Ospina	30.28	18.42	31.90	29.67
52001	Pasto	29.95	18.08	31.57	29.33
52540	Policarpa	33.22	21.35	34.83	32.60
52565	Providencia	31.78	19.92	33.40	31.17
52612	Ricaurte	31.98	20.12	33.60	31.37
52678	Samaniego	31.92	20.05	33.53	31.30
52685	San Bernardo	31.20	19.33	32.82	30.58
52687	San Lorenzo	31.00	19.13	32.62	30.38
52693	San Pablo	32.67	20.80	34.28	32.05
52694	San Pedro De Cartago	31.05	19.18	32.67	30.43
52683	Sandona	30.48	18.62	32.10	29.87
52699	Santa Cruz	31.78	19.92	33.40	31.17
52786	Taminango	31.12	19.25	32.73	30.50
52788	Tangua	30.00	18.13	31.62	29.38
52838	Tuquerres	31.88	20.02	33.50	31.27
52885	Yacuanquer	30.12	18.25	31.73	29.50

Anexo No. 8 Matriz Origen Destino de tiempos medidos en horas para la vía alterna o Escenario 2.

Codigo	Municipio	SPR Barranquilla	SPR Buenaventura	SPR Cartagena	SPR Santa Marta
52019	Alban	1235.54	465.31	1164.48	1275.85
52036	Ancuya	1224.64	454.42	1153.59	1264.96
52051	Arboleda	1231.95	461.73	1160.90	1272.27
52083	Belen	1247.48	477.26	1176.43	1287.80
52110	Buesaco	1224.14	453.91	1153.09	1264.45
52240	Chachagui	1214.59	444.37	1143.54	1254.91
52203	Colon	1252.20	481.98	1181.15	1292.52
52207	Consacá	1218.42	448.19	1147.37	1258.74
52210	Contadero	1236.65	466.43	1165.60	1276.97
52227	Cumbal	1271.53	501.30	1200.47	1311.84
52233	Cumbitara	1254.32	484.09	1183.26	1294.63
52254	El Penol	1230.69	460.46	1159.64	1271.01
52256	El Rosario	1258.15	487.92	1187.10	1298.46

52258	El Tablón	1234.12	463.89	1163.06	1274.43
52260	El Tambo	1222.28	452.05	1151.23	1262.60
52287	Funes	1229.30	459.08	1158.25	1269.62
52320	Guaitarilla	1222.58	452.36	1151.53	1262.90
52352	Iles	1232.16	461.94	1161.11	1272.48
52354	Imués	1229.08	458.85	1158.02	1269.39
52378	La Cruz	1256.71	486.49	1185.66	1297.03
52381	La Florida	1216.01	445.79	1144.96	1256.33
52385	La Llanada	1237.69	467.47	1166.64	1278.01
52399	La Unión	1245.62	475.39	1174.57	1285.94
52405	Leiva	1280.15	509.93	1209.10	1320.47
52411	Linares	1229.99	459.76	1158.94	1270.31
52418	Los Andes	1240.74	470.51	1169.69	1281.05
52435	Mallama	1267.06	496.84	1196.01	1307.38
52480	Nariño	1207.82	437.60	1136.77	1248.14
52506	Ospina	1231.53	461.31	1160.48	1271.85
52001	Pasto	1209.96	439.73	1138.91	1250.28
52540	Policarpa	1252.19	481.96	1181.14	1292.50
52565	Providencia	1233.92	463.69	1162.87	1274.24
52612	Ricaurte	1276.80	506.57	1205.75	1317.12
52678	Samaniego	1234.13	463.91	1163.08	1274.45
52685	San Bernardo	1241.22	470.99	1170.17	1281.53
52687	San Lorenzo	1234.37	464.14	1163.32	1274.69
52693	San Pablo	1258.31	488.08	1187.26	1298.63
52694	San Pedro De Cartago	1239.66	469.43	1168.60	1279.97
52683	Sandona	1220.88	450.66	1149.83	1261.20
52699	Santa Cruz	1239.03	468.81	1167.98	1279.35
52786	Taminango	1236.04	465.82	1164.99	1276.36
52788	Tangua	1221.75	451.52	1150.70	1262.06
52838	Tuquerres	1236.37	466.14	1165.32	1276.69
52885	Yacuanquer	1221.51	451.28	1150.46	1261.82

Anexo No. 9 Matriz Origen Destino de distancias euclidianas medidos en kilómetros para la vía alterna o Escenario 2.

código	Municipio	SPR Barranquilla	SPR Buenaventura	SPR Cartagena	SPR Santa Marta
52019	Alban	1700.00	764.00	1758.00	1662.00
52036	Ancuya	1691.00	755.00	1749.00	1653.00
52051	Arboleda	1694.00	758.00	1752.00	1656.00

52083	Belén	1722.00	786.00	1780.00	1684.00
52110	Buesaco	1675.00	739.00	1733.00	1637.00
52240	Chachagui	1657.00	721.00	1715.00	1619.00
52203	Colon	1744.00	808.00	1802.00	1706.00
52207	Consacá	1685.00	749.00	1743.00	1647.00
52210	Contadero	1687.00	751.00	1745.00	1649.00
52227	Cumbal	1761.00	825.00	1819.00	1723.00
52233	Cumbitara	1758.00	822.00	1816.00	1720.00
52254	El Penol	1684.00	748.00	1742.00	1646.00
52256	El Rosario	1724.00	788.00	1782.00	1686.00
52258	El Tablón	1700.00	764.00	1758.00	1662.00
52260	El Tambo	1669.00	733.00	1727.00	1631.00
52287	Funes	1680.00	744.00	1738.00	1642.00
52320	Guaitarilla	1710.00	774.00	1768.00	1672.00
52352	Iles	1680.00	744.00	1738.00	1642.00
52354	Imués	1675.00	739.00	1733.00	1637.00
52378	La Cruz	1734.00	798.00	1792.00	1696.00
52381	La Florida	1657.00	721.00	1715.00	1619.00
52385	La Llanada	1717.00	781.00	1775.00	1679.00
52399	La Unión	1720.00	784.00	1778.00	1682.00
52405	Leiva	1778.00	842.00	1836.00	1740.00
52411	Linares	1709.00	773.00	1767.00	1671.00
52418	Los Andes	1722.00	786.00	1780.00	1684.00
52435	Mallama	1753.00	817.00	1811.00	1715.00
52480	Nariño	1648.00	712.00	1706.00	1610.00
52506	Ospina	1683.00	747.00	1741.00	1645.00
52001	Pasto	1652.00	716.00	1710.00	1614.00
52540	Policarpa	1765.00	829.00	1823.00	1727.00
52565	Providencia	1746.00	810.00	1804.00	1708.00
52612	Ricaurte	1767.00	831.00	1825.00	1729.00
52678	Samaniego	1750.00	814.00	1808.00	1712.00
52685	San Bernardo	1702.00	766.00	1760.00	1664.00
52687	San Lorenzo	1693.00	757.00	1751.00	1655.00
52693	San Pablo	1755.00	819.00	1813.00	1717.00
52694	San Pedro De Cartago	1704.00	768.00	1762.00	1666.00
52683	Sandona	1677.00	741.00	1735.00	1639.00
52699	Santa Cruz	1743.00	807.00	1801.00	1705.00
52786	Taminango	1709.00	773.00	1767.00	1671.00
52788	Tangua	1666.00	730.00	1724.00	1628.00
52838	Tuquerres	1743.00	807.00	1801.00	1705.00

52885	Yacuanquer	1668.00	732.00	1726.00	1630.00
-------	------------	---------	--------	---------	---------

Anexo No. 10 Matriz Origen Destino de distancias medidos en kilómetros para la vía alterna o Escenario 2.

ID	Name	Zona	Poblacion_DANE	Val_Agre_22	ProTon22	RenHaTon22	Factor_Ruta	TM_Viaje_horas	Hansen_Exp
52019	Alban	Zona Este	8197.000	271.378	1551.95	0.98	1.48793916	25.8500	4.4419
52036	Ancuya	Zona centro	7481.000	72.155	215.25	0.66	1.49980562	25.8333	4.5166
52051	Arboleda	Zona Este	7626.000	99.030	1389.00	0.96	1.48746568	25.5833	5.7994
52083	Belén	Zona Norte	5968.000	52.963	0.00	0.00	1.49225732	26.6500	1.9959
52110	Buesaco	Zona Este	19951.000	234.638	2621.57	1.00	1.47790811	25.0667	9.7223
52240	Chachagui	Zona Este	12419.000	204.175	192.75	0.47	1.4735019	24.5667	16.0294
52203	Colon	Zona Norte	7764.000	161.687	1657.75	0.91	1.51206048	27.3333	1.0078
52207	Consacá	Zona centro	10117.000	96.394	686.18	0.46	1.5056119	25.2000	8.5087
52210	Contadero	Zona Sur	6421.000	98.782	0.00	0.00	1.46718633	24.9833	10.5672
52227	Cumbal	Zona Sur	32672.000	209.332	22.20	0.60	1.49361515	26.9500	1.4786
52233	Cumbitara	Zona Norte	5096.000	56.913	4.61	0.07	1.52645838	29.0167	0.1872
52254	El Penol	Zona centro	6223.000	82.315	459.10	0.97	1.47608268	25.5833	5.7994
52256	El Rosario	Zona Norte	6498.000	115.142	358.75	0.72	1.4722216	26.1000	3.4594
52258	El Tablón	Zona Este	13255.000	125.581	1746.33	1.12	1.49110911	26.1833	3.1828
52260	El Tambo	Zona centro	12457.000	195.685	812.83	1.32	1.47344182	25.0333	10.0518
52287	Funes	Zona Sur	6211.000	97.171	188.46	0.88	1.4734742	24.8833	11.6786
52320	Guaitarilla	Zona Sur	10774.000	166.128	82.84	0.83	1.53206453	25.9000	4.2253

5235 2	Iles	Zona Sur	7112.000	98.571	7.32	0.80	1.46713762	24.8667	11.8748
5235 4	Imués	Zona Sur	6351.000	89.074	3.11	0.35	1.46684655	24.7667	13.1237
5237 8	La Cruz	Zona Norte	16674.000	123.232	192.14	0.82	1.48874327	27.0333	1.3604
5238 1	La Florida	Zona centro	9047.000	156.142	1217.09	1.16	1.47023169	24.6167	15.2476
5238 5	La Llanada	Zona Oeste	5321.000	42.047	69.85	1.27	1.5069988	26.9333	1.5034
5239 9	La Unión	Zona Norte	28659.000	336.934	3388.71	0.93	1.49356408	26.2833	2.8799
5240 5	Leiva	Zona Norte	8201.000	94.107	411.75	0.72	1.49801589	27.3833	0.9586
5241 1	Linares	Zona centro	8974.000	126.427	782.99	1.51	1.51325367	26.5167	2.2806
5241 8	Los Andes	Zona Oeste	8703.000	68.769	201.77	0.45	1.50715081	27.1833	1.1709
5243 5	Mallama	Zona Sur	8013.000	69.708	19.85	0.50	1.4923423	26.4000	2.5628
5248 0	Nariño	Zona centro	4007.000	45.671	0.00	0.00	1.47591559	24.3833	19.2547
5250 6	Ospina	Zona Sur	6488.000	76.246	0.00	0.00	1.47278485	24.9833	10.5672
5200 1	Pasto	Zona Sur	352326.000	7591.239	385.77	1.37	1.47686987	24.6500	14.7477
5254 0	Policarpa	Zona Norte	8149.000	91.854	228.38	1.11	1.54072527	27.9167	0.5624
5256 5	Providencia	Zona centro	4619.000	38.325	89.53	1.07	1.55654829	26.4833	2.3579
5261 2	Ricaurte	Zona Oeste	18067.000	164.089	0.54	0.50	1.49060029	26.6833	1.9305
5267 8	Samaniego	Zona Oeste	23727.000	202.849	138.72	0.11	1.56169219	26.6167	2.0635
5268 5	San Bernardo	Zona Este	138091.000	2323.976	308.06	1.16	1.47822252	25.9000	4.2253

5268 7	San Lorenzo	Zona Norte	8874.000	77.613	2549.91	0.87	1.48065749	25.7000	5.1608
5269 3	San Pablo	Zona Norte	16653.000	208.081	1329.38	1.34	1.51365091	27.3667	0.9747
5269 4	San Pedro De Cartago	Zona Este	12929.000	135.606	485.14	0.78	1.48443188	25.7500	4.9091
5268 3	Sandona	Zona centro	6572.000	90.728	745.40	0.79	1.48823323	25.1833	8.6517
5269 9	Santa Cruz	Zona Oeste	8989.000	133.725	104.55	0.84	1.54035187	26.4833	2.3579
5278 6	Taminango	Zona Norte	7041.000	77.918	1507.49	1.10	1.49947638	25.8167	4.5925
5278 8	Tangua	Zona Sur	15412.000	203.782	75.82	0.79	1.47030551	24.7000	14.0285
5283 8	Tuquerres	Zona Sur	42413.000	539.147	24.44	0.46	1.54655085	26.5833	2.1335
5288 5	Yacuanquer	Zona Sur	10579.000	149.038	403.31	1.00	1.47374821	24.8167	12.4837

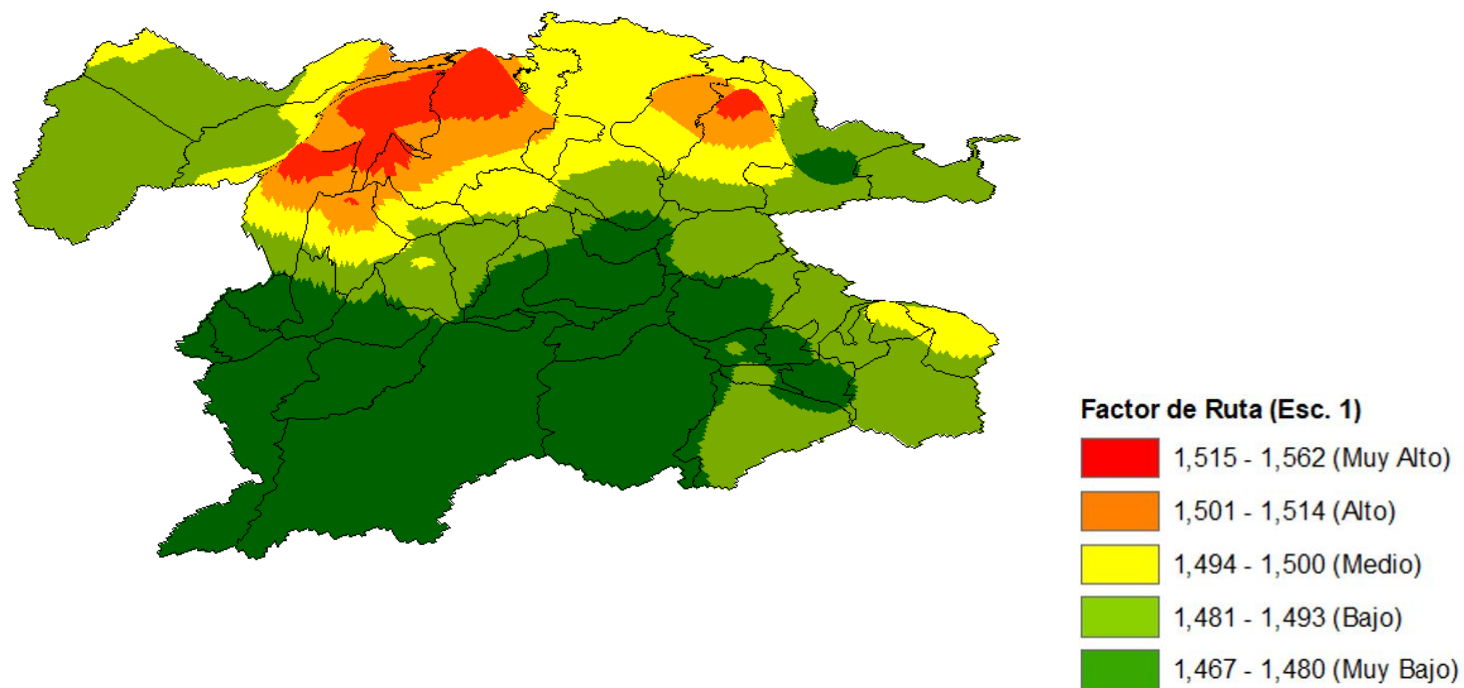
Anexo No. 11 Compilación de resultados y variables a comparar para el escenario 1 usando la ruta vía Panamericana

ID	Name	Zona	Poblacion_DANE	Val_Agre_22	ProTon22	RenHaTon22	Factor_Ruta	TM_Viaje_horas	Ind_Hansen_Exp
52019	Alban	Zona Este	8197.000	271.378	1551.95	0.98	1.94	28.4333	0.0070
52036	Ancuya	Zona centro	7481.000	72.155	215.25	0.66	1.96	28.4167	0.0071
52051	Arboleda	Zona Este	7626.000	99.030	1389.00	0.96	1.94	28.1667	0.0092
52083	Belen	Zona Norte	5968.000	52.963	0.00	0.00	1.95	29.2333	0.0032
52110	Buesaco	Zona Este	19951.000	234.638	2621.57	1.00	1.93	27.6500	0.0154
52240	Chachagui	Zona Este	12419.000	204.175	192.75	0.47	1.93	27.1500	0.0253
52203	Colon	Zona Norte	7764.000	161.687	1657.75	0.91	1.97	29.9167	0.0016
52207	Consaca	Zona centro	10117.000	96.394	686.18	0.46	1.96	27.7833	0.0134
52210	Contadero	Zona Sur	6421.000	98.782	0.00	0.00	1.92	27.5667	0.0167
52227	Cumbal	Zona Sur	32672.000	209.332	22.20	0.60	1.95	29.5333	0.0023
52233	Cumbitara	Zona Norte	5096.000	56.913	4.61	0.07	1.99	31.6000	0.0003
52254	El Penol	Zona centro	6223.000	82.315	459.10	0.97	1.93	28.1667	0.0092
52256	El Rosario	Zona Norte	6498.000	115.142	358.75	0.72	1.93	28.6833	0.0055
52258	El Tablon	Zona Este	13255.000	125.581	1746.33	1.12	1.95	28.7667	0.0050
52260	El Tambo	Zona centro	12457.000	195.685	812.83	1.32	1.93	27.6167	0.0159
52287	Funes	Zona Sur	6211.000	97.171	188.46	0.88	1.93	27.4667	0.0185
52320	Guaitarilla	Zona Sur	10774.000	166.128	82.84	0.83	1.99	28.4833	0.0067

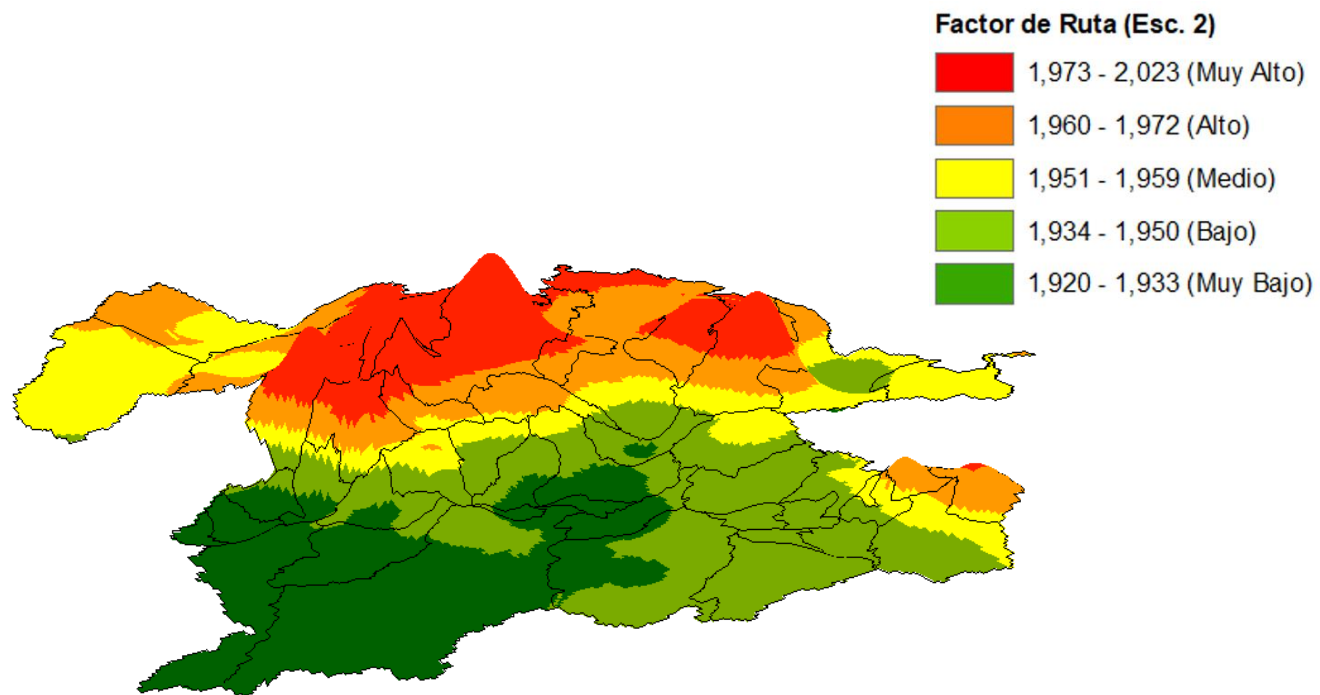
52352	Iles	Zona Sur	7112.000	98.571	7.32	0.80	1.92	27.4500	0.0188
52354	Imues	Zona Sur	6351.000	89.074	3.11	0.35	1.92	27.3500	0.0207
52378	La Cruz	Zona Norte	16674.000	123.232	192.14	0.82	1.95	29.6167	0.0022
52381	La Florida	Zona centro	9047.000	156.142	1217.09	1.16	1.92	27.2000	0.0241
52385	La Llanada	Zona Oeste	5321.000	42.047	69.85	1.27	1.96	29.5167	0.0024
52399	La Union	Zona Norte	28659.000	336.934	3388.71	0.93	1.95	28.8667	0.0046
52405	Leiva	Zona Norte	8201.000	94.107	411.75	0.72	1.96	29.9667	0.0015
52411	Linares	Zona centro	8974.000	126.427	782.99	1.51	1.97	29.1000	0.0036
52418	Los Andes	Zona Oeste	8703.000	68.769	201.77	0.45	1.96	29.7667	0.0019
52435	Mallama	Zona Sur	8013.000	69.708	19.85	0.50	1.95	28.9833	0.0041
52480	Narino	Zona centro	4007.000	45.671	0.00	0.00	1.93	26.9667	0.0304
52506	Ospina	Zona Sur	6488.000	76.246	0.00	0.00	1.93	27.5667	0.0167
52001	Pasto	Zona Sur	352326.000	7591.239	385.77	1.37	1.93	27.2333	0.0233
52540	Policarpa	Zona Norte	8149.000	91.854	228.38	1.11	2.00	30.5000	0.0009
52565	Providencia	Zona centro	4619.000	38.325	89.53	1.07	2.02	29.0667	0.0037
52612	Ricaurte	Zona Oeste	18067.000	164.089	0.54	0.50	1.95	29.2667	0.0031
52678	Samaniego	Zona Oeste	23727.000	202.849	138.72	0.11	2.02	29.2000	0.0033
52685	San Bernardo	Zona Este	138091.000	2323.976	308.06	1.16	1.93	28.4833	0.0067

52687	San Lorenzo	Zona Norte	8874.000	77.613	2549.91	0.87	1.94	28.2833	0.0082
52693	San Pablo	Zona Norte	16653.000	208.081	1329.38	1.34	1.97	29.9500	0.0015
52694	San Pedro De Cartago	Zona Este	12929.000	135.606	485.14	0.78	1.94	28.3333	0.0078
52683	Sandona	Zona centro	6572.000	90.728	745.40	0.79	1.94	27.7667	0.0137
52699	Santa Cruz	Zona Oeste	8989.000	133.725	104.55	0.84	2.00	29.0667	0.0037
52786	Taminango	Zona Norte	7041.000	77.918	1507.49	1.10	1.96	28.4000	0.0073
52788	Tangua	Zona Sur	15412.000	203.782	75.82	0.79	1.92	27.2833	0.0222
52838	Tuquerres	Zona Sur	42413.000	539.147	24.44	0.46	2.01	29.1667	0.0034
52885	Yacuanquer	Zona Sur	10579.000	149.038	403.31	1.00	1.93	27.4000	0.0197

Anexo No. 12 Compilación de resultados y variables a comparar para el escenario 2 usando vía alterna.

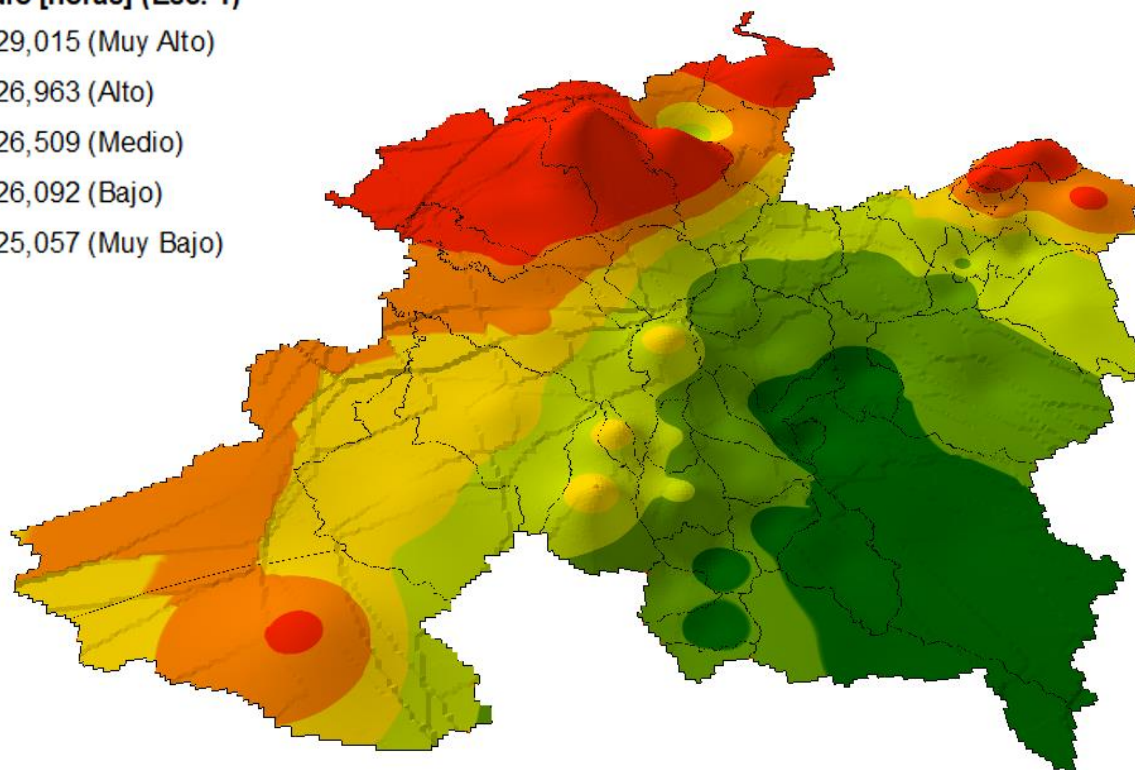


Anexo No. 13 Mapa en 3D del indicador Factor de Ruta para la ruta del escenario 1; fuente elaboración propia, 2024



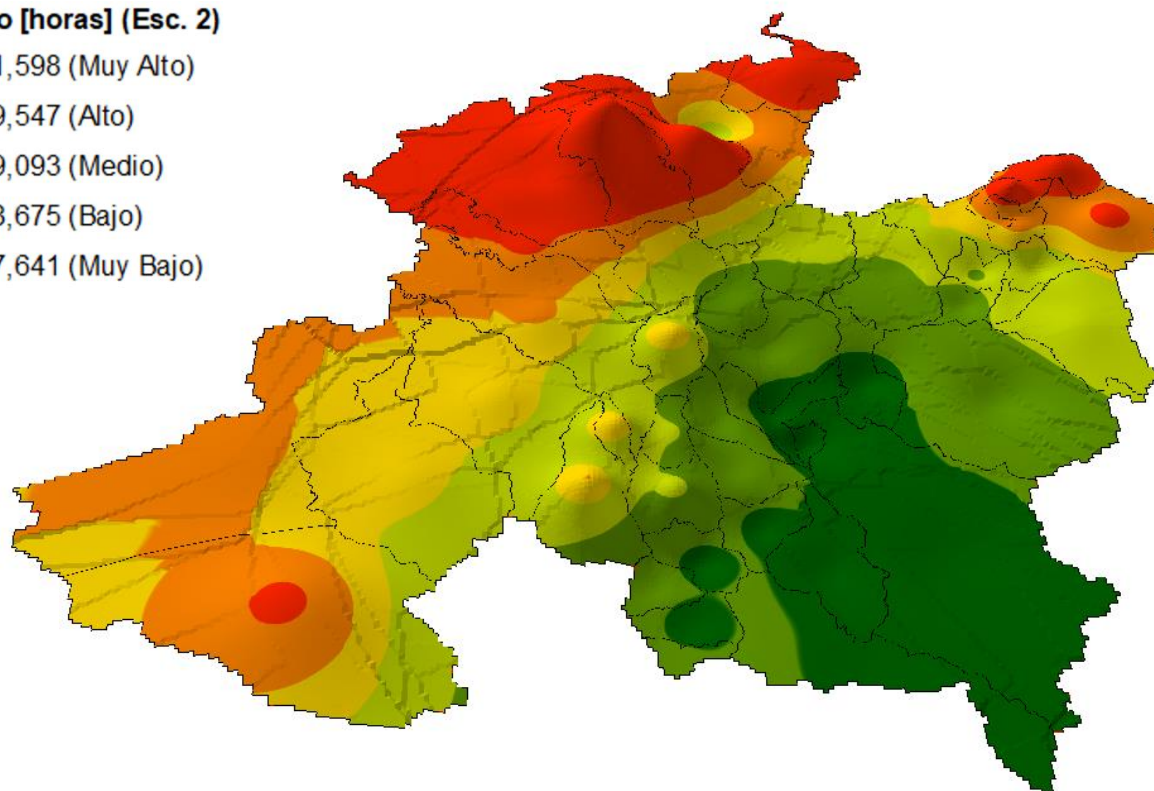
Anexo No. 14 Mapa en 3D del indicador Factor de Ruta para la ruta del escenario 2; fuente elaboración propia, 2024

Tiempo Promedio [horas] (Esc. 1)

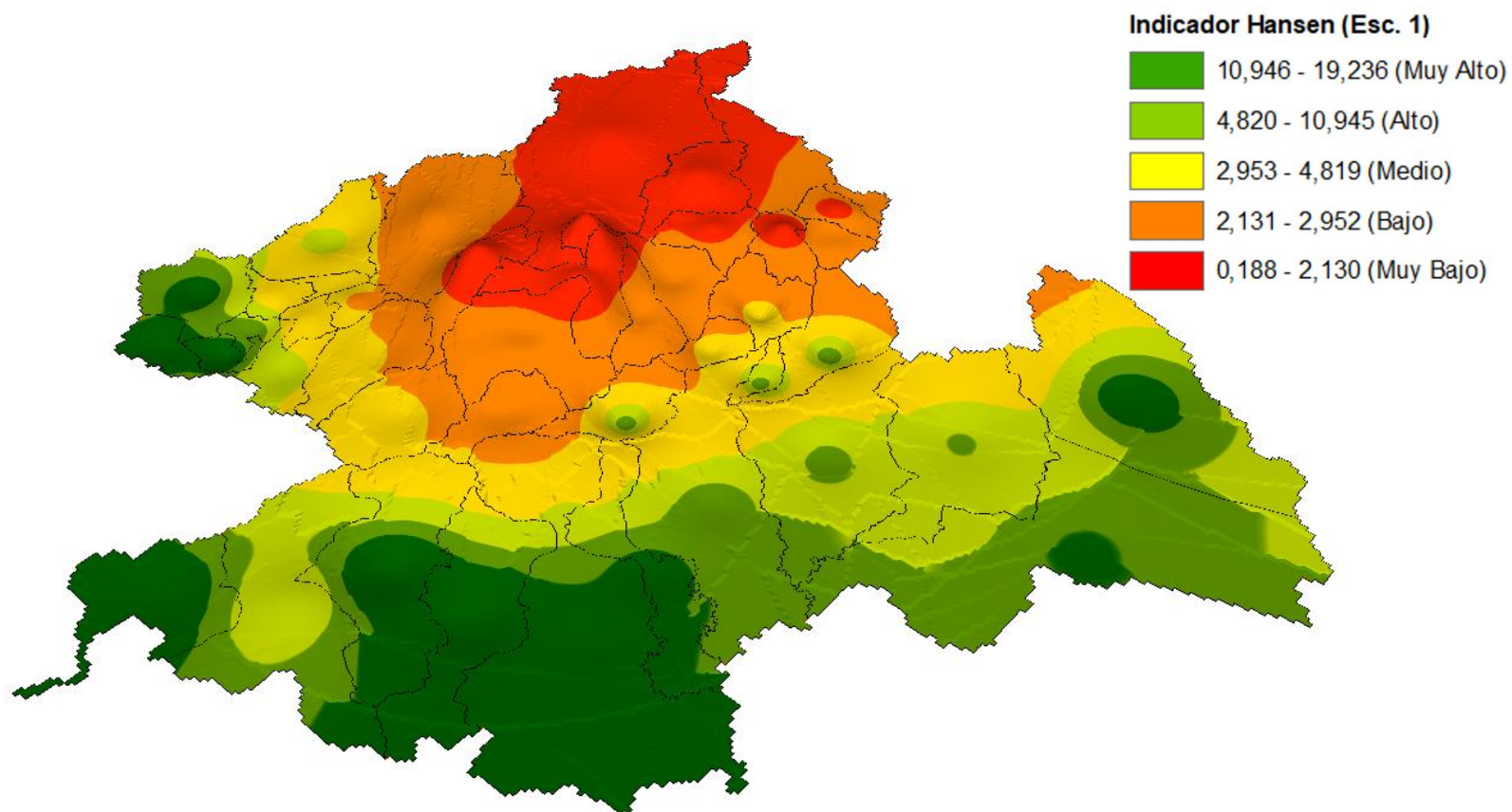


Anexo No. 15 Mapa en 3D del indicador Tiempos promedio de viajes medido en horas para la ruta del escenario 1; fuente elaboración propia, 2024

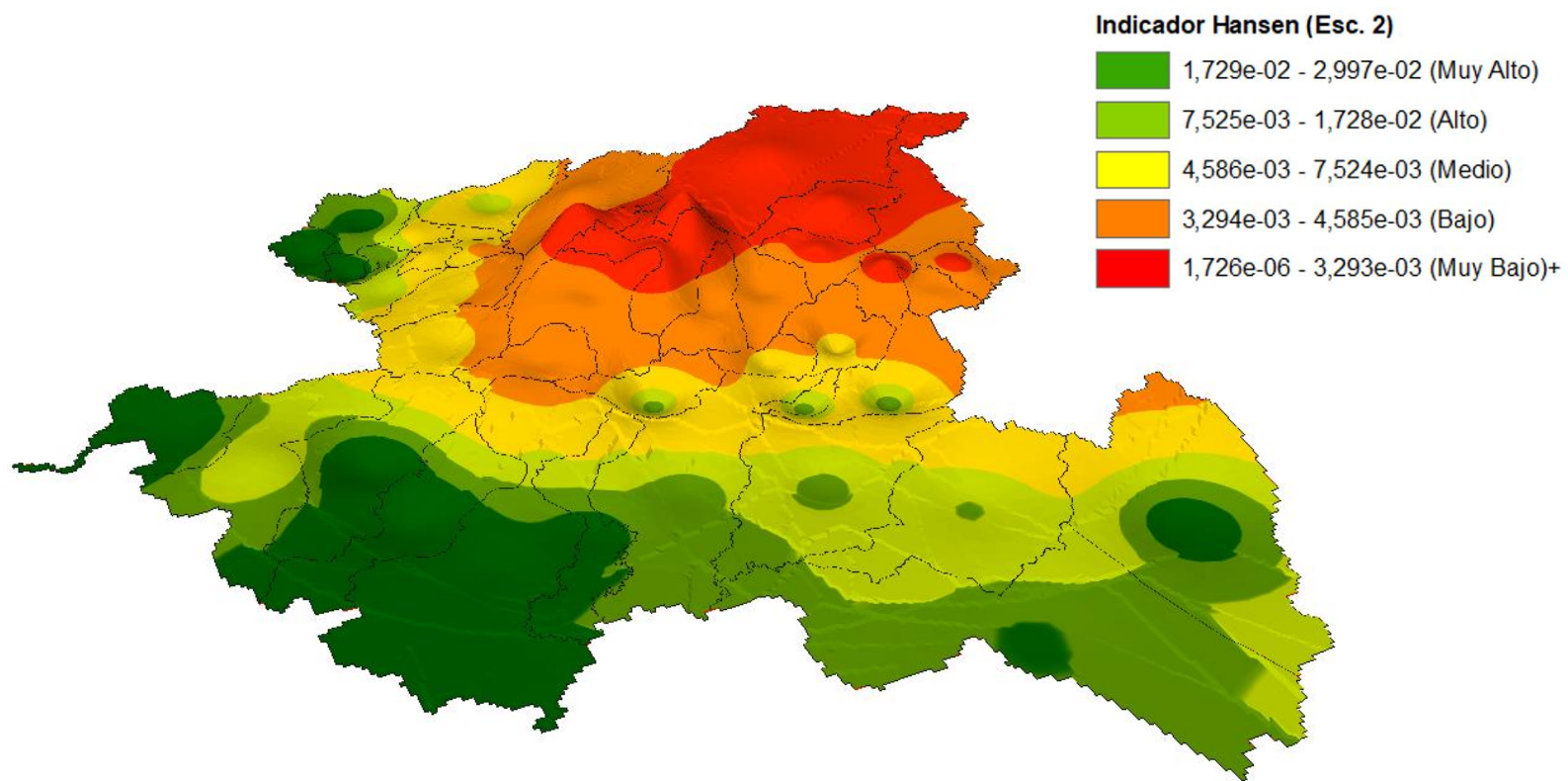
Tiempo Promedio [horas] (Esc. 2)



Anexo No. 16 Mapa en 3D del indicador Tiempos promedio de viajes medido en horas para la ruta del escenario 2; fuente elaboración propia, 2024



Anexo No. 17 Mapa en 3D del indicador de gravedad o Hansen para la ruta del escenario 1; fuente elaboración propia, 2024



Anexo No. 18 Mapa en 3D del indicador de gravedad o Hansen para la ruta del escenario 2; fuente elaboración propia, 2024