

**EVALUACIÓN DE NIVELES DE ACCESIBILIDAD GEOGRÁFICA MEDIANTE
INDICADORES BASADOS EN INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL DEPARTAMENTO
DEL HUILA**

Diego Mauricio Ochoa González



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
Abril 22 de 2022

Contenido

1.INTRODUCCIÓN.....	3
2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
3. JUSTIFICACIÓN	7
4. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
5. MARCO REFERECIAL.....	11
5.1. Marco Teórico	11
5.2. Marco legal	14
5.3. Marco Histórico.....	15
5.4. Marco Conceptual.....	16
5.5. Contextual.....	18
3. OBJETIVOS.....	20
3.2 OBJETIVO GENERAL.....	20
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. METODOLOGÍA	21
4.1 ZONA DE ESTUDIO.....	21
4.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	22
4.2.1 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, DEMOGRÁFICA Y SOCIOECONÓMICA.....	23
4.2.2 INFORMACIÓN RED DE INFRAESTRUCTURA VIAL	27
4.2.3 LOCALIZACIÓN DE CENTROIDES CABECERAS MUNICIPALES.....	31
4.2.4 ESTRUCTURACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA.....	33
4.3 DETERMINACIÓN DE INDICES DE ACCESIBILIDAD GEOGRAFICA	34
4.3.1 INDICE DE DENSIDAD	34
4.3.2 INDICADOR DE CONECTIVIDAD	37
4.3.3 INDICE FACTOR DE RUTA INTEGRAL	38
5. RESULTADOS	42
6. EJEMPLO PRÁCTICO INDICADORES CALCULADOS EN LA TOMA DE DECISIONES.....	56
7.CONCLUSIONES.....	57
8.BIBLIOGRAFIA.....	46

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Indicador factor de ruta Integral.....	13
Tabla 2. Clasificación de redes según Índice de Kansky.	14
Tabla 3. Valor agregado por Municipio – Departamento del Huila.....	25
Tabla 4. Clasificación tipo de vía.....	29
Tabla 5. Geocodificación Municipios Departamento del Huila	31
Tabla 6. Información consolidada caracterización espacial	33
Tabla 7. Resultados Indicador de Densidad – Departamento del Huila.....	42
Tabla 8. Resultados municipales Indicador de Conectividad – Departamento del Huila.....	46
Tabla 9. Resultados Indicador Factor de ruta – Departamento del Huila	51

1.INTRODUCCIÓN

El transporte es la base para el desarrollo competitivo de determinada región, siendo el eje de articulación e integración de la población y espacios territoriales, donde se encuentran aspectos como la infraestructura y su esquema de operación, que determina si una zona cuenta con ventajas o desventajas para su accesibilidad. La accesibilidad es la medida que permite a grupos de individuos o mercancías llegar a actividades o destinos mediante una combinación de modos de transporte y usos de la tierra, siendo una expresión directa de la movilidad. La accesibilidad se define como la medida de la capacidad de un lugar a ser alcanzado, o para llegar a diferentes lugares. Por lo tanto la capacidad y disposición de infraestructuras de transporte son elementos clave en la determinación de la accesibilidad (Rodrigue et al., 2006). Varios estudios como por ejemplo (Gómez & Parras, 2009; Muñoz et al., 2016) han utilizado los sistemas de información geográfica (SIG), para la modelación de diferentes indicadores enfocados al transporte y la accesibilidad. Un Sistema de Información Geográfica SIG, es un conjunto de herramientas que integran y relacionan diversos componentes como son hardware, software y procesos, que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelación de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial (ESRI, 2020b).

De acuerdo a (Zuluaga & Escobar, 2017) un estudio de accesibilidad territorial, además de analizar la infraestructura de transporte puede abordarse desde otros enfoques como: distribución espacial de las actividades económicas, desarrollo económico, localización y prestación de servicios, sostenibilidad, agricultura y recursos naturales, densidad poblacional, plusvalía y crecimiento urbano, operatividad de modos de transporte, exclusión social, cohesión social y muchos otros.

El siguiente estudio tuvo como objetivo evaluar los niveles de accesibilidad de los 37 Municipios del Departamento del Huila, con la implementación de indicadores o medidas basadas en la Infraestructura de transporte. Las medidas utilizadas fueron: indicador de Densidad que relaciona el kilometraje de la red y el área de cada Municipio, Indicador de conectividad que

tiene en cuenta el número de conexiones o enlaces y el Indicador de factor de ruta integral con el que fue posible analizar la calidad y eficiencia del trazado de la red.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los factores de mayor relevancia en la configuración del entramado económico de las regiones es la competitividad vial y las características de la infraestructura, por tanto, es imprescindible suponer que la calidad de la infraestructura vial y las conexiones regionales genera una plusvalía en la comercialización, transporte de productos y de servicios. En los procesos de integración comercial entre países, por ejemplo, es indispensable que la conectividad vial y la calidad de la infraestructura esté acorde con la cantidad de mercancía que circula entre la conexión entre puertos, red vial y zonas de frontera, generando así una economía sólida que se basa en la producción y comercialización de productos especialmente en la calidad de la centralización del proceso agroindustrial y de comercio nacional e internacional. Cabe resaltar la significancia del territorio en su conjunto, estableciéndose como esencial para generar estrategias homogéneas para todos los países que se encuentran en América del Sur, con el fin de eliminar los cuellos de botella que suceden en las fronteras de los Estados y de esta forma facilitar la inserción al mercado global, puesto que al aplicarse este tipo de estrategias facilita la integración, promoviendo la competitividad regional, ampliando los mercados y generando economías de escala (Bono, 2014).

Colombia por su parte presenta problemas con la infraestructura de transporte vial, donde ésta no es lo suficientemente desarrollada para generar un impacto positivo en el comercio, por lo cual genera una desventaja para el país ocasionando que sea menos competitivo frente a los demás países de la Alianza pacífico, y por tanto no se puedan lograr los resultados esperados de la conformación de la Alianza (Ordoñez. K, Parra. V; 2017).

La infraestructura vial en Colombia, en la actualidad, presenta puntos de vulnerabilidad especial, por ejemplo, el análisis de acceso por las condiciones de la topografía y por ende el difícil trazado que se debe generar en la red vial, este, al ser un aspecto que contiene distintas variables de cualificación, requiere de un proceso de análisis que debe contener procesos

metodológicos que puedan derivar en índices de calidad que permitan evaluar los niveles de trazados, permitiendo tomar decisiones a futuro, sobre las misma red vial y las posibles conexiones que se puedan generar con la generación de nuevas redes viales.

Por otra parte, el Departamento del Huila, estrella vial del Sur colombiano, no es ajeno a la problemática de contar con difíciles condiciones de accesibilidad, bien sea por la ausencia de infraestructura, poco mantenimiento de las vías, baja conectividad, deficiencias en la calidad y eficiencia del trazado de la red etc. Además la baja investigación referente a la accesibilidad geográfica de los diferentes Municipios, no ha hecho posible comprender la situación actual del Departamento desde un panorama espacial, que apoyen a la toma de decisiones por parte de los planificadores gubernamentales y poder proponer proyectos constructivos de inversión pública enfocados al desarrollo de la infraestructura de transporte. De acuerdo a lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo valorar los niveles de accesibilidad geográfica del Departamento del Huila, teniendo en cuenta la red de transporte o infraestructura vial existente?

3. JUSTIFICACIÓN

Los procesos de desarrollo económico de las regiones traen consigo una serie de parámetros como el desarrollo de la infraestructura vial, sistemas de transporte, para el intercambio y flujo de personas y mercancías, que engloban un objetivo en común, el desarrollo regional de la economía, es por esto, que cada uno de los componentes debe generar sostenibilidad a largo plazo. Esta tendencia de crecimiento regionalista trae consigo dinámicas territoriales propias de economías que están basadas en alta conectividad, las cuales se estructuran sobre la base de infraestructura vial para mejorar las condiciones de accesibilidad, sin tener en cuenta las exigentes reflexiones sobre el concepto de territorio y aproximaciones innovadoras que se tejen alrededor de los términos “Crecimiento y desarrollo” (Gómez & Parras, 2009).

La valoración de la accesibilidad resulta ser un factor importante para la estimación del rendimiento de los sistemas de transporte, conectividad, calidad y eficiencia de la red, por consiguiente, es valioso identificar el impacto en términos de accesibilidad geográfica que estos causan en el departamento, y con ello evaluar las oportunidades que ofrecen a los habitantes para acceder a los distintos equipamientos de desarrollo regional.

La conceptualización del presente proyecto es entonces, determinar las zonas o municipios que cuentan con mayor o menor accesibilidad geográfica, lo que se traduce en la facilidad del intercambio de personas y mercancías teniendo en cuenta la red de infraestructura vial existente en la región, insumo base para los planificadores y encargados de toma de decisiones, por ejemplo, alcaldías municipales, secretarías de tránsito, transporte e infraestructura y gobernación Departamental.

4. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Performance of Accessibility Measures in Europe (Baradaran & Ramjerdi, 2001). A través de los años se han implementado diferentes medidas de accesibilidad, como herramientas de planificación del territorio, donde se destaca su importancia en la evaluación del desarrollo de determinada zona o región (Baradaran & Ramjerdi, 2001). En este estudio se presenta un marco comparativo de cinco enfoques diferentes de medidas de accesibilidad, donde se presentan ventajas y desventajas de su implementación. Los enfoques considerados son: el costo de viaje, que representa aquellos que miden la facilidad con la que se puede llegar a cualquier actividad de uso de la tierra desde determinada ubicación, utilizando un sistema de transporte particular. El enfoque de gravedad u oportunidades, considerada como la técnica más utilizada entre los diferentes indicadores y se define como el potencial de oportunidades para la interacción o generalización de la relación población-distancia. El enfoque basado en restricciones, que relaciona la accesibilidad individual que de acuerdo a los autores tiene dimensiones espaciales y temporales, y considera que el potencial de oportunidades para un individuo no sólo están limitadas por la distancia entre ellos, sino también por las limitaciones de tiempo. Así mismo se considera el enfoque basado en servicios públicos donde la accesibilidad depende del grupo de alternativas que se evalúan y de la perspectiva individual para la cual se mide la accesibilidad, donde el individuo selecciona la alternativa que maximice su utilidad y finalmente se enfatiza en el enfoque de medidas de separación espacial, que se pueden medir teniendo en cuenta la distancia y el tiempo de viaje, y su cálculo se basa en el algoritmo de la ruta más corta. Dentro del artículo modelan para la comprensión del lector el enfoque de costo de viaje y gravedad entre las principales ciudades Europeas (nodos de la red), conectadas entre sí por medio de la red de infraestructura vial existente, estableciendo similitudes y diferencias entre las medidas, así mismo se realiza una jerarquización de las ciudades que cuentan con mejor y peor accesibilidad.

Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions (Geurs & van Wee, 2004). En la investigación se realiza una revisión robusta sobre la utilización de diferentes medidas de accesibilidad, considerando los cambios en el uso del suelo y los desarrollos de políticas de transporte, bajo los criterios de base teórica, operacionalización, interpretabilidad y comunicabilidad, así como su uso en las evaluaciones sociales y económicas

relacionadas. Los autores identifican cuatro componentes principales de la accesibilidad: uso del suelo, transporte, temporalidad y el componente individual. Se definen las medidas de accesibilidad basadas en infraestructura, las cuales no incorporan el componente de uso de la tierra, ni temporal, siendo su fortaleza el componente de transporte representado por la red de transporte existente en determinada región, las cuales son de fácil interpretación y comunicación, siendo muy útiles para evaluar la conectividad, eficiencia y calidad de la red en planes de políticas de uso del suelo y transporte. Dentro de las medidas de conectividad se encuentra la teoría de grafos, medidas de presencia/ ausencia, medidas topológicas: indicadores de densidad, indicador de shimmel o de costo, indicador de factor de ruta integral, indicador trazado de velocidad y medidas de gravedad como el indicador de Hansen, que además del componente de transporte, tiene en cuenta el componente del uso del suelo.

Cabe destacar que dependiendo de la necesidad o requerimiento del análisis la escogencia de las medidas o indicadores idóneos.

Teoría de grafos y sistemas de información geográfica aplicados al transporte público de pasajeros en resistencia (Argentina), (Gómez & Parras, 2009). El estudio expone los resultados de un análisis descriptivo de la red del transporte público - líneas urbanas de colectivo en el microcentro de la ciudad de Resistencia, Provincia del Chaco (Argentina). Con respecto a los métodos utilizados se combinaron los aportes provenientes de la Teoría de Grafos (índices β , μ , α , IAM, NS, entre otros) y la implementación para el análisis espacial de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el objeto de explorar las relaciones entre la oferta del servicio y la accesibilidad espacial o geográfica que se deriva de ésta. El transporte es una actividad derivada de otras similares que tienen lugar en un área geográfica determinada, como un país, una región, una ciudad, etc. (Gómez & Parras, 2009), en este contexto se afirma que el conjunto de actividades de residencia, producción, consumo, recreación, etc. producidos en un lugar se denomina sistema de actividades, y es el encargado de generar la necesidad de desplazarse, conocido como demanda. Esta demanda es satisfecha por el conjunto de vías existentes, vehículos, etc., lo que constituye la oferta del servicio, conformando todo ello, el sistema de transporte. La interacción entre ambos sistemas se traduce en un conjunto de flujos, constituido por los viajes entre orígenes y destinos, en diferentes modos de transporte, por diversas rutas y

en distintos tiempos. Es de vital importancia para la planificación, ya que es de particular interés conocer la forma en que interacciona el sistema de transporte con el espacio geográfico, ya que provoca necesariamente una transformación del territorio donde se emplaza el mismo, hasta adaptarlo a sus necesidades y condiciones.

Using circuitry as a network efficiency measure: the example of Paris. (Cubukcu, 2021). En este estudio se plantea que la movilidad o el desplazamiento de las personas hacia las diferentes actividades o usos del suelo, está determinada por el desarrollo de las redes de transporte existentes (Cubukcu, 2021), en este proyecto se evaluó la eficiencia de la red de transporte dentro del área urbana en la ciudad de París, Francia. Para el análisis se seleccionaron aleatoriamente 300 nodos para representar los orígenes y 300 para representar los destinos, para poder evaluar 9000 rutas distintas. Este procedimiento fue realizado mediante la utilización de herramientas tecnológicas mediante el uso de sistemas de información Geográfica SIG y para evaluar la eficiencia y calidad del trazado de la red se implementaron medidas topológicas de accesibilidad.

De acuerdo a los autores el trazado de la red se considera eficiente, cuando el indicador es cercano a 1. Dentro de los resultados encontrados, cabe destacar que el indicador factor de ruta obtuvo valores bajos para los nodos que se ubicaron en las centralidades de la ciudad y valores altos para los nodos ubicados en las periferias, también se enfatiza que las prioridades en la planificación de la ciudad puede afectar directamente en la eficiencia de la red de transporte. Se concluye sobre la importancia de la implementación de este tipo de indicadores para evaluar la eficiencia y la calidad de la red de infraestructura presente en determinada zona, que se traduce en zonas de mayor y menor desarrollo.

5. MARCO REFERECIAL

5.1. Marco Teórico

Medidas de accesibilidad

Se presentan medidas o indicadores de accesibilidad que han sido implementados por diferentes autores, específicamente medidas topológicas (basadas en infraestructura) las cuales consideran la red de conectividad o de infraestructura vial en el espacio.

Medidas basadas en infraestructura.

Mediante la observación y la simulación analizan el desempeño del nivel de servicio de una infraestructura de transporte, tal como por ejemplo el nivel de congestión y la velocidad promedio de viaje en una red del sistema. Esta medida es típicamente usada en planeación y formulaciones de Ingeniería de transporte, dentro de estas medidas podemos encontrar medidas de densidad, caminos mínimos (Shimbel), calidad del trazado de la red de transporte (Indicador de factor de ruta integral) (Geurs & van Wee, 2004).

Indicador de densidad

Mide la densidad de la infraestructura de transporte. Tiene en cuenta la proporción de la longitud de la infraestructura en kilómetros y el área de estudio en Km^2 , ya sea municipio a municipio o zona específica, por lo que, si hay mayor extensión de red vial, entonces cubrirá mejor la accesibilidad (Izquierdo, 1994). Se expresa con la Ecuación (1).

$$D = \frac{Km \text{ en red}}{\text{Área de la zona de estudio}} \left(\frac{Km}{Km^2} \right) \quad (1)$$

Donde:

Km en red : longitud de la red de transporte

Área de la zona de estudio: zona de estudio en unidades de área.

Factor de Ruta Integral

Expresa la calidad del trazado, es decir, que mide el grado de aproximación de determinada vía en comparación a una línea recta y si las condiciones de la ruta permiten realizar el viaje en tiempo y condiciones adecuadas. Posteriormente, para determinar el factor de ruta integral, es decir, el valor asociado a cada nodo, se realiza la construcción de dos matrices, una para las distancias sobre la red y otra para las distancias en línea recta desde y hacia cada uno de los nodos (Izquierdo, 1994), su formulación se expresa en la ecuación (2).

$$R_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \frac{d_{ij}}{d_{gij}} \quad (2)$$

donde:

R_i : Factor de ruta Integral.

d_{ij} : Mínima distancia por la red de infraestructura vial entre i y j.

d_{gij} : Distancia geográfica o en línea recta de i y j.

Respecto a este indicador, cuanto más próximos sean los tramos a la línea recta, se obtendrá un menor valor. Por consiguiente, de acuerdo a Bosques (1992), citado por (Verjan, 2015) puede decirse que los valores medios superiores a 1,5 del factor de ruta indican bajos niveles de accesibilidad, que suelen corresponder a áreas de montaña o a países con una baja dotación de infraestructuras, como el caso de los subdesarrollados. La clasificación del indicador se presenta en la **tabla 1**.

RANGO	CLASIFICACIÓN
= 1	Red Lineal
>1 y <1.5	Red Irregular
>1.5 Y > 2	Red Irregular
>2	Red Tortuosa

Tabla 1. Clasificación Indicador factor de ruta Integral

Fuente:(Verjan, 2015)

INDICADORES DE CONECTIVIDAD

La conectividad significa a la vez la existencia de conexiones directas y de conexiones alternativas entre diferentes puntos de una red y permite evaluar la multiplicidad de relaciones aseguradas en el sistema por la red (Pacheco Gago, 2003). Existe una multiplicidad de indicadores de conectividad, los más destacados son considerados por Kansky.

El Índice β de Kansky logra medir cómo aumenta la conectividad cuando se incrementa el número de arcos de una red vial (Pacheco Gago, 2003) y se basa en el supuesto de que, cuando una red incoherente cambia su estructura y su cohesión empieza a crecer, las conexiones entre los nodos existentes aumentan más rápidamente que el número de nuevos nodos (Murillo, 2007). Su expresión de muestra en la siguiente expresión (3):

$$\beta = \frac{e}{v} \quad (3)$$

Donde:

e: Es el número de arcos de conexión

v: Es el número de vértices (nodos) conectados

La **tabla 2** muestra el rango de clasificación de diferentes valores del índice

RANGO	CLASIFICACIÓN
$\beta < 1$	Redes con una estructura en forma de árbol y grafos no conexos
$\beta = 1$	Red con un circuito único
$1 < \beta < 3$	Red compleja

Tabla 2. Clasificación de redes según Índice de Kansky.

Fuente: (Pacheco, 2003)

5.2. Marco legal

Dentro de los planes de desarrollo gubernamental, se abordan cinco objetivos generales que el sector de la infraestructura vial desea alcanzar, estos objetivos reconocen que la función del transporte es mejorar la conectividad tanto al interior del país como hacia el exterior. Por lo que debe buscarse i) facilitar la integración nacional y el transporte interno; ii) mejorar la competitividad del país para mejorar el comercio exterior y iii) ayudar a mejorar las condiciones de vida de la población más vulnerable. Esto iv) promoviendo la mitigación y adaptación al cambio climático y v) procurando la mayor seguridad vial y la mejoría en la conectividad de las regiones (Yepes et al., 2013).

Estas conclusiones surgen de la revisión de leyes y decretos que regulan el sector, y de los CONPES que estudian y proponen la aproximación del gobierno nacional al sector del transporte y la infraestructura de movilidad y, en ocasiones sirven de documento de soporte para la emisión de decretos.

Reformas en el sector transporte en Colombia como La Ley 105 de 1993 estableció los principios básicos bajo los cuales se debe desarrollar el transporte en el país. En particular,

estableció que la gestión sobre la infraestructura de transporte debe estar dividida en tres niveles: el 9 nacional, el departamental y el municipal. En el primero queda incluida la infraestructura vial para la integración nacional e internacional, en el segundo la infraestructura de interés regional y en el tercero los caminos de importancia municipal y local. Los indicadores deben evaluar estos niveles según sus objetivos y así establecer la calidad de la infraestructura en términos de evaluación cualitativa y establecer así estándares de calidad del servicio (Yepes et al., 2013).

5.3. Marco Histórico

El último cuarto de siglo fue fundamental en el desarrollo de la infraestructura vial del país, dando continuidad a los proyectos de integración regional, Fue tal la importancia de las obras realizadas que entre 1975 y 1994, el total de la red vial nacional y pavimentada se duplicó, aumentando en cerca de 5.600 kms, mientras que las carreteras vecinales y departamentales aumentaron su longitud en 55.000 kms (República, 2021)

Se menciona que a partir de 1960 “... la proporción de carreteras pavimentadas aumentó en los departamentos de menos desarrollo económico relativo –Cauca, Huila, Caquetá, Meta, Nariño, Magdalena y La Guajira- mientras que se redujo en Cundinamarca, el viejo Caldas, Tolima, Bolívar, Córdoba y Santander (Perez, 2005).

De acuerdo a cifras del Ministerio de Transporte, actualmente el país cuenta con cerca de 162.000 km de vías que conforman el total de la red vial nacional. La red primaria está conformada por algo más de 16.000 km (aquella que está a cargo de la nación), 71.000 kms correspondientes a la red secundaria (aquella que se encuentra a cargo de los departamentos), y cerca de 60.000 kms correspondientes a la red terciaria (Perez, 2005). Lo anterior refleja cómo el sector del transporte y la interconectividad de las regiones ha aportado en el desarrollo de la economía de la nación, determinando, este sector, como un pilar en el incremento del producto interno bruto (PIB) interno, tomando en cuenta el desarrollo que las regiones han tenido en materia de infraestructura vial a lo largo del tiempo **figura 1**.

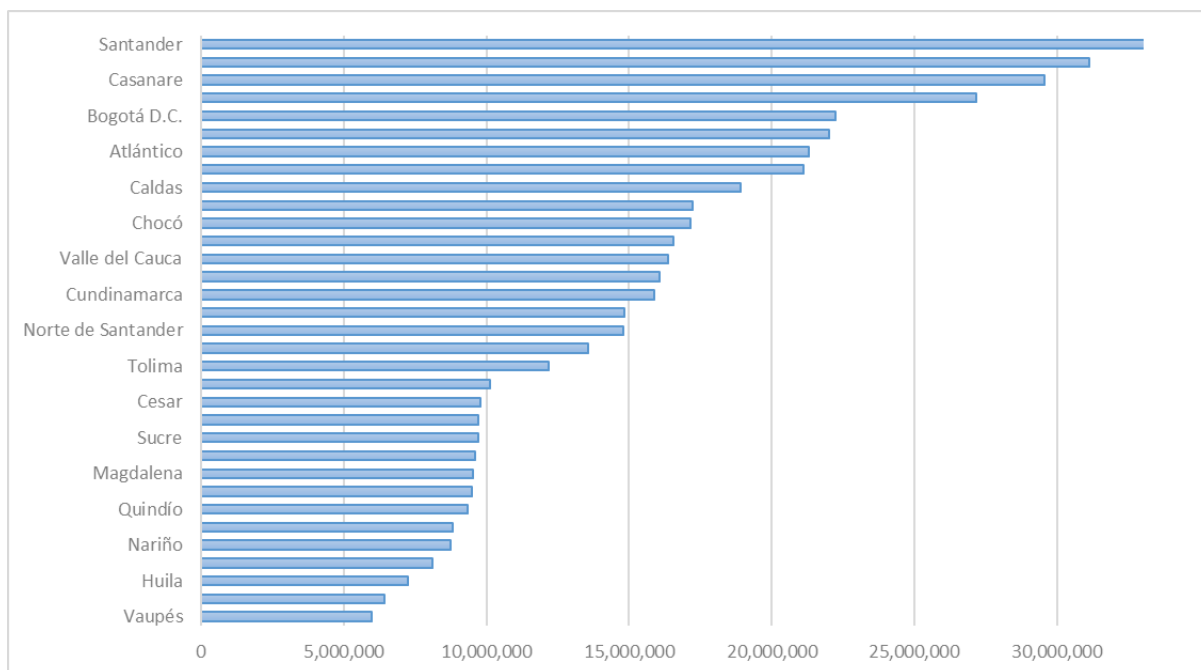


Figura 1. Participación PIB Departamental 2020.

Fuente: DANE

5.4. Marco Conceptual

Para poder entender mejor las diferentes técnicas o procedimientos empleados en el desarrollo de la investigación, a continuación se presentan los conceptos relevantes en relación con el análisis:

Accesibilidad

Es un término para medir la facilidad y dificultad que se puede presentar al querer trasladarse de un lugar (origen) a otro (destino), el término de accesibilidad puede entenderse como la facilidad con la que una actividad puede ser desarrollada desde una localización usando un sistema particular de transporte (Izquierdo, 1994).

Medidas de accesibilidad

Son un conjunto de variables que permiten medir, identificar y describir el acceso que tienen los individuos para llegar a su destino, desde un origen. Estos indicadores pueden

clasificarse según su uso, como medidas topológicas (basadas en infraestructura), medidas de separación espacial, de oportunidades acumulativas, espacio – temporales y de utilidad (Curtis & Scheurer, 2010).

Sistema de transporte

Es un conjunto de actividades que facilitan el desplazamiento de personas y bienes, dependiendo del modo de transporte y la actividad que se requiera. (Hare & Barcus, 2007).

Sistema de información geográfica (SIG)

Los SIG representan la realidad a partir de modelos lógicos, los cuales principalmente se conocen como modelo ráster y modelo vectorial. El primero es matricial y se divide en celdas, conformando imágenes y el segundo hace referencia a objetos representados por medio de puntos, líneas y polígonos, ambos modelos con información de posición geográfica y medidas reales. A partir de estas representaciones se genera cartografía, y sistemas dinámicos con la información que se desee representar (Esri, 2016).

Geocodificación

Es el proceso de asignar coordenadas geográficas a puntos del mapa, es decir, la ubicación en el espacio de una dirección. Un Geoidentificador según (OGC, 2021) (Open Geospatial Consortium), una estructura geométrica de localización. Esta estructura establece una función que relaciona la posición real de un objeto sobre el territorio geográfico (referencia espacial) con un sistema de referencia arbitrario.

Interpolación

La interpolación es un proceso que utiliza mediciones realizadas sobre algún fenómeno (precipitación, temperatura, accesibilidad, etc.), en determinados lugares, para hacer una predicción sobre un fenómeno en otros lugares donde no se han realizado mediciones. Una razón común es el coste (en tiempo y dinero) que involucra la toma de mediciones (Paredes et al., 2013).

Análisis de datos espaciales

Son un conjunto de herramientas que permiten realizar análisis estadísticos, a partir de datos que tienen influencia en las variables que se vayan a medir (Baradaran & Ramjerdi, 2001), teniendo en cuenta su ubicación, adyacencia, distancia, vecindad, entre otros aspectos, para así analizar, por ejemplo, distribuciones espaciales de entidades puntuales, relaciones entre entidades por medio de redes y relaciones entre polígonos.

5.5. Contextual

El Departamento del Huila está localizado al suroccidente del país entre los 3°55'12" y 1°30'04" de latitud norte (entre el nacimiento del Río Riachón, municipio de Colombia y el pico de la Fragua, municipio de Acevedo), y los 74°25'24" y 76°35'16" de longitud al oeste del meridiano de Greenwich (entre el Alto de Las Oseras, municipio de Colombia y el páramo de Las Papas, municipio de San Agustín.). De acuerdo a datos tomados del mapa físico-político de Colombia elaborado por el instituto Geográfico Agustín Codazzi, la superficie del Departamento es de 19.900 Km² que representa tan solo un 1.8% de la superficie total del país. Comparada con la superficie de los demás departamentos. Al norte limita con los departamentos de Cundinamarca y el Tolima al sur con los de Cauca y Caquetá, al oriente con los departamentos de Meta y Caquetá, y hacia el Occidente con los de Cauca y Tolima (Gobernación.Huila, 2017).

La red vial constituye un elemento esencial para entender la configuración espacial del territorio (Bautista, 2018). El departamento del Huila, está conformado por cuatro subregiones: subnorte, subcentro, subsur y suboccidente. Cuenta con 37 municipios y 128 centros poblados, La red vial del departamento está conformada por 8.245,33 km, distribuidos de la siguiente manera:

- Red vial primaria: A cargo de la Nación con 857,63 km, de los cuales 560,41 km (65,34 %) se encuentran pavimentados con excelentes especificaciones y 297,22 km (34,66%) en afirmado. Forman parte de este sistema la vía Troncal del Magdalena que recorre el Huila de norte a sur, lo vincula con el Putumayo y se encuentra en construcción la conexión con Ecuador. Esta Troncal estructura la red vial departamental.

- Red vial secundaria: En el inventario de la red secundaria que posee actualmente el Departamento, se tiene un total de 2066,7 kilómetros de los cuales 194,9 kilómetros están a cargo de la Nación, por intermedio del INVÍAS como red secundaria, de igual manera de esta red el INVÍAS ha retomado 397,5 kilómetros como red Terciaria, por lo que en estas condiciones la longitud real a cargo del Departamento serán 1480,3 kilómetros. Del total de la red secundaria en el inventario se encuentran pavimentadas 526 km de los cuales 70,3 km están a cargo del INVÍAS, quedando a cargo del Departamento 455,7 km.

- Red vial terciaria: Red vial terciaria: La red vial terciaria a cargo de los municipios es de 3589,0 km y la red vial terciaria a cargo del INVÍAS (incluye la red que está dentro de la red secundaria), 1732,0 km Para un total de 5321,0 km. Algunas de estas vías tienen placa huella.

3. OBJETIVOS

3.2 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los niveles de accesibilidad geográfica, mediante indicadores basados en infraestructura vial, en el Departamento del Huila.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar espacialmente los municipios del Departamento del Huila y la red de infraestructura vial existente.
- Determinar los indicadores de accesibilidad geográfica, indicador de Densidad, Indicador de conectividad y factor de ruta integral en el Departamento del Huila.
- Valorar los niveles de accesibilidad geográfica, mediante modelamiento espacial y propuesta de alternativas sostenibles.

4. METODOLOGÍA

4.1 ZONA DE ESTUDIO

El Departamento del Huila es uno de los 32 Departamentos que conforman la República de Colombia, su capital es el Municipio de Neiva. Se encuentra ubicado específicamente en el centro del país, limitando al Norte con los Departamentos de Tolima y Cundinamarca, al Este con el Meta y Caquetá, al Sur con Caquetá y Cauca y al Oeste con Cauca y Tolima **figura 2**. Está conformado por 4 unidades fisiográficas correspondientes al macizo colombiano, Cordillera Central, Cordillera Oriental y el Valle del Río Magdalena, distinguiendo al macizo colombiano como el lugar donde comienza la cordillera oriental y se originan ríos muy importantes como es el Magdalena, Cauca, Vaqueta y Tapiá (Beltrán, 2019), su economía se basa principalmente en la producción agrícola y ganadera, la explotación petrolera y el comercio, presentando una participación del 1.61% de producto interno bruto (PIB) Departamental. Cuenta con una población total de 1.009.548 (Dussan, 2020) y de acuerdo con datos presentados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2018) donde se analizó la componente calidad de vida a nivel Departamental, la región obtuvo una puntuación de 19.2%, encontrándose por debajo de la media total Nacional de 19.6%, evidenciando un bajo desarrollo en comparación con otras regiones del país.

De acuerdo al plan de ordenamiento productivo y social del Departamento del Huila (Gobernación del Huila, 2019), cuenta con 4 subregiones: la subregión sur conformada por los municipios de Acevedo, Elías, Isnos, Oporapa, Palestina, Pitalito, Salado blanco, San Agustín y Timaná. La subregión norte es la más grande y cuenta con 15 de los 37 municipios: Neiva, Aipe, Algeciras, Baraya, Campoalegre, Colombia, Hobo, Íquira, Palermo, Rivera, Santa María, Tello, Teurel, Villavieja y Yaguará. la subregión centro, que cuenta únicamente con 8 municipios: Agrado, Altamira, Garzón, Gigante, Guadalupe, Pital, Suaza y Tarqui. La subregión occidente, conformada por La Plata, Nátaga, Tesalia, Paicol y La Argentina.

De acuerdo con la (Gobernación.Huila, 2017), la red vial del Departamento está conformada por 8.245.33 km. distribuidos de la siguiente manera: Red vial primaria. A cargo de

la Nación con 857,63 km. de los cuales 560,41 km. (65.34%) se encuentran pavimentados con excelentes especificaciones y 297,22 Km. (34,66%) en afirmado.

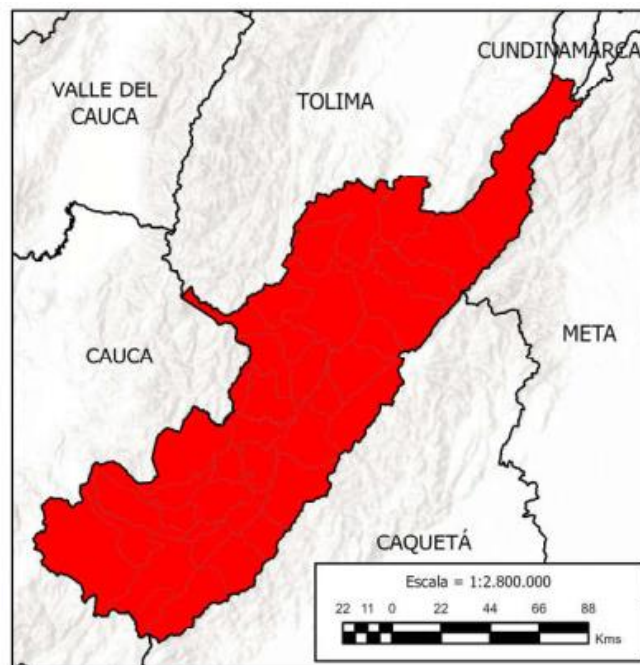


Figura 2. Mapa de ubicación Departamento del Huila, límite Departamental.

Fuente: Gobernación del Huila, 2019.

4.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La etapa de recopilación de información describe y caracteriza la información geográfica y alfanumérica, obtenida de fuentes públicas oficiales nacionales y locales. Esta información comprende características espaciales, socioeconómicas y demográficas de la región y su distribución en el territorio como: perímetro Departamental, perímetros Municipales, así mismo información espacial de la red vial Departamental con senderos y caminos base fundamental para analizar la accesibilidad espacial de determinada zona y la localización de cabeceras municipales para la conformación de la estructura de red (nodos y arcos).

Para el desarrollo del proyecto fue necesario considerar información de primer y segundo orden, con el objetivo de garantizar la calidad y fiabilidad de cada uno de los productos. La información fue proporcionada por diferentes entidades como la Gobernación del Huila,

específicamente la secretaría de planeación Departamental e información secundaria como Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), entre otras.

4.2.1 INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, DEMOGRÁFICA Y SOCIOECONÓMICA

Unidades geográficas

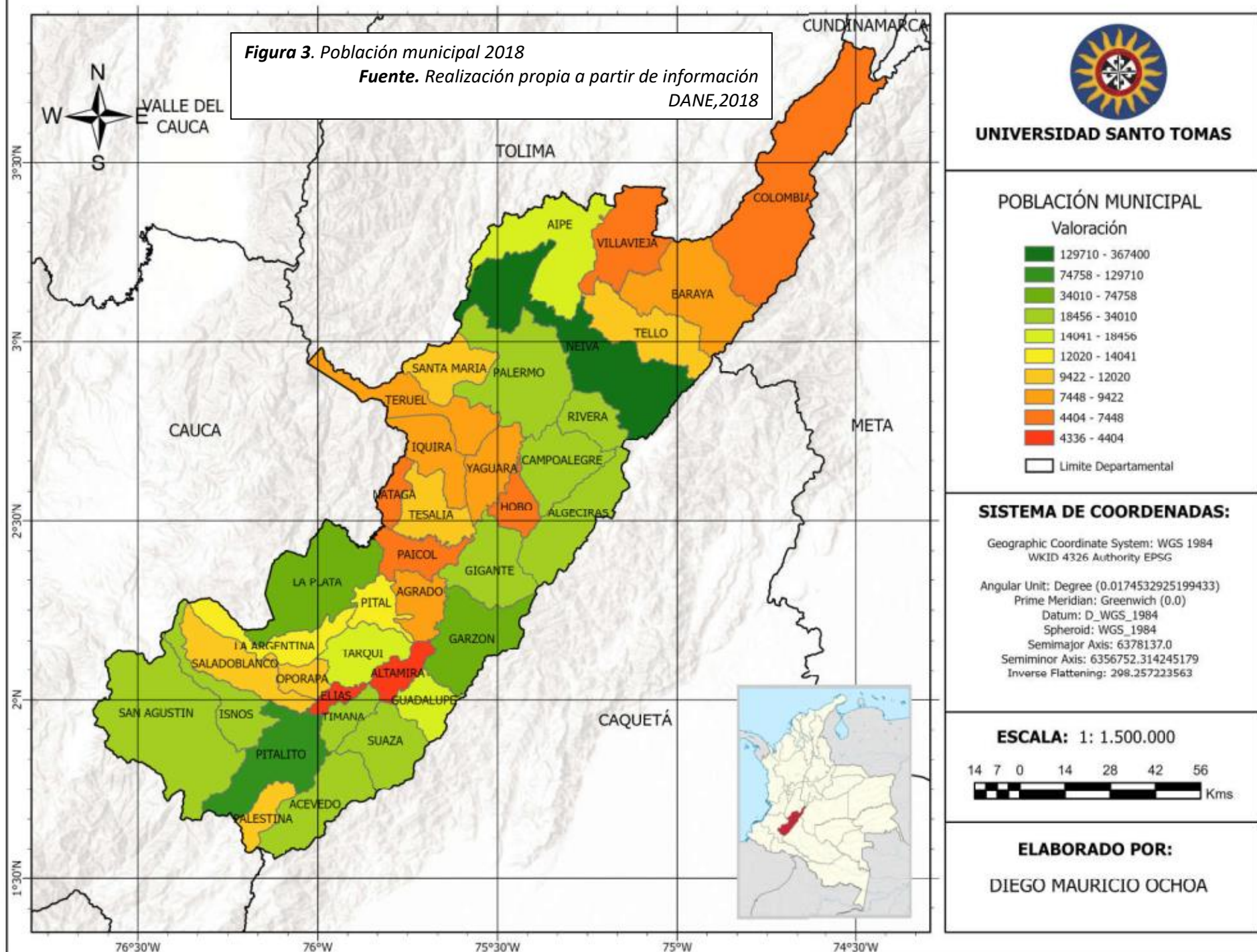
La información de distribución geográfica (perímetro Departamental, perímetros Municipales) del Departamento se obtuvieron desde el portal web de datos abiertos del IGAC, llamado SIG-OT (Sistema de información Geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial Nacional), la cual es una herramienta cuyo propósito fundamental es contribuir con la disposición de información espacial y alfanumérica para los procesos de planeación y ordenamiento territorial que coadyuven a la toma de decisiones en los ámbitos nacional, regional y local. Para ello cuenta con información político-administrativa, socio-económica y ambiental georreferenciada (IGAC, 2021).

Población

La información de población se obtuvo del Censo Nacional de Población y Vivienda (DANE, 2018) disponibles a nivel Municipal, escogida como unidad espacial de análisis. La información obtenida del Censo cuenta con características de la población como: sexo, edad, pertenencia étnica, nivel cultural, condiciones de vida, conformación de los hogares, tipos de vivienda y el acceso a servicios públicos, información esencial para la caracterización del Departamento. EL Huila cuenta de acuerdo a la proyección del DANE a 2020 con 1.225.343 habitantes, de los cuales el 49.9 % son hombres y el 50,1% mujeres, en la **figura 3** se muestra el total población a nivel municipal. Los valores se clasificaron de acuerdo a mayor y menor concentración de habitantes, de una escala que va del verde al rojo, donde colores verdes nos muestran mayor cantidad de habitantes y rojos menos cantidad. Los valores de población por cada uno de los municipios recopilados se pueden observar en la **tabla 2**, los cuales fueron representados y categorizados cartográficamente.

Figura 3. Población municipal 2018

Fuente. Realización propia a partir de información DANE, 2018



Producto Interno bruto – Valor agregado Municipal

De acuerdo con el “PROYECTO PLAN DE DESARROLLO HUILA CRECE 2020- 2023” (Gobernación_Huila, 2020), El PIB del Huila a precios corrientes del 2020 fue de \$1.57 billones de pesos, con una participación de 1,68% del PIB nacional. El PIB Percápita del Huila a precios corrientes es de \$13.1 millón de pesos, valor inferior al PIB Percápita nacional que es de \$19.6 millones. Las actividades económicas más importantes del Departamento son: Administración pública y defensa (18,60%); Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (17,92%); Actividades económicas - Comercio (17,28%); Construcción (8,66%); Explotación de Minas y Canteras (6,61%).

Para determinar la importancia económica Municipal, se contó con información proveniente del DANE, 2020 referente al valor agregado Municipal, que es el peso relativo de cada municipio dentro de su Departamento. Los valores por Municipio se presentan en la **tabla 2**, así mismo en la **figura 4** se representan cartográficamente categorizados de acuerdo a su nivel de importancia.

N	MUNICIPIO	VALOR AGREGADO (Miles de de pesos)	POBLACIÓN (Miles de personas)
1	Neiva	5717.242	367400
2	Acevedo	324.614	25510
3	Agrado	87.006	9010
4	Aipe	529.873	16685
5	Algeciras	262.493	22760
6	Altamira	59.266	4404
7	Baraya	93.515	8337
8	Campoalegre	416.238	31614
9	Colombia	107.071	7122
10	Elías	41.620	4336
11	Garzón	652.461	74758
12	Gigante	433.468	24929
13	Guadalupe	183.638	18456
14	Hobo	70.603	7448
15	Íquira	119.385	9422
16	Isnos	214.992	25935
17	La Argentina	116.670	13272
18	La Plata	578.824	62904
19	Nátaga	62.923	6627

N	MUNICIPIO	VALOR AGREGADO (Miles de de pesos)	POBLACIÓN (Miles de personas)
20	Oporapa	106.548	12020
21	Paicol	119.844	6778
22	Palermo	571.967	27107
23	Palestina	136.896	11491
24	Pital	138.725	14041
25	Pitalito	1655.092	129710
26	Rivera	321.358	25342
27	Saladoblanco	112.475	10654
28	San Agustín	292.149	34010
29	Santa María	123.314	10548
30	Suaza	205.882	22920
31	Tarqui	146.982	17874
32	Tesalia	138.042	11015
33	Tello	165.995	11897
34	Teruel	88.326	8160
35	Timaná	203.505	22251
36	Villavieja	98.544	7299
37	Yaguará	419.837	7888

Tabla 3. Valor agregado por Municipio – Departamento del Huila.

A precios corrientes Miles de Millones de Pesos

Fuente: DANE, 2020

**Figura 4. Valor agregado por Municipio 2018 (PIB)–
Departamento del Huila.**
Fuente. Realización propia a partir de información del DANE.



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

**Valor Agregado Municipal
PIB**

Valoración

1655.092 - 5717.241
652.460 - 1655.092
433.468 - 652.460
292.149 - 433.468
183.637 - 292.149
123.314 - 183.637
107.071 - 123.314
93.515 - 107.071
70.603 - 93.515
41.620 - 70.603

□ Limite Departamental

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

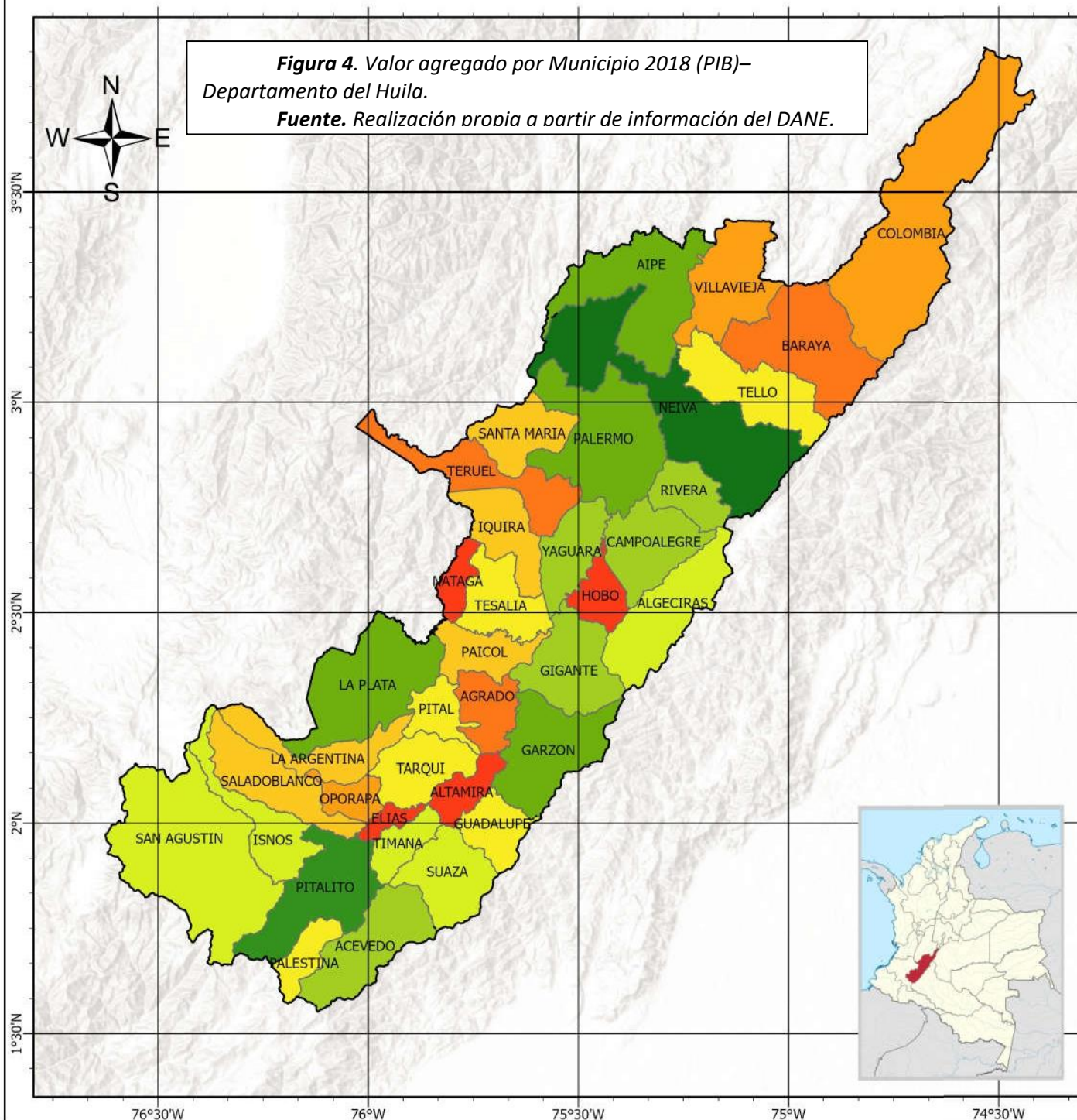
Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ESCALA: 1: 1.500.000



ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA



4.2.2 INFORMACIÓN RED DE INFRAESTRUCTURA VIAL

Teniendo en cuenta la importancia que tiene el desplazamiento de personas y mercancías en una región y cómo influye directamente en el desarrollo de la misma, siendo el resultado de la existencia y las condiciones de la red de infraestructura vial disponible en el Departamento, se recopiló información vectorial tipo línea, para caracterizar el trazado de la red disponible, en formato shapefile proveniente del Instituto Nacional de vías (INVIAS) y la secretaría de planeación Departamental. Se realizó una unificación de información de capas vectoriales, referente a la red vial de cada una de las entidades, donde se pudo evidenciar tramos faltantes, por la cual fue necesario complementar la información, con el trazado vial disponible en el servidor de Open Street Maps (OSM, 2022), con sus respectivos atributos, nomenclatura y jerarquización.

Cabe destacar que Open Open Street Maps es un sistema de información geográfica (SIG) web, diseñado para consultar y procesar información geográfica, la cuál es una plataforma desarrollada por una multitud de personas que forman una red colaborativa en todo el mundo, que se ha convertido en una de las fuentes más detalladas de datos de mapas a escala local disponibles (OsGeoLive, 2019).

De acuerdo con información de la (Gobernación.Huila, 2017) el departamento cuenta con una red vial primaria, la cuál se encuentra a cargo de la Nación con 857,63 km. de los cuales 560,41 km. (65.34%) se encuentran pavimentados con excelentes especificaciones y 297,22 Km. (34,66%) en afirmado. Forman parte de este sistema la vía Troncal del Magdalena que recorre el Huila de norte a sur, lo vincula con el Putumayo y se encuentra en construcción la conexión con Ecuador. Con relación al oriente, las vías Suaza – Florencia de excelentes especificaciones y la vía Neiva – San Vicente; en sentido occidente, dos vías La Plata – Popayán (en proceso de construcción La Plata – Inzá – Popayán) y la de Pitalito – Isnos – Paletará – Popayán, priorizada por el Gobierno Nacional para iniciar los trabajos de pavimentación.

Con respecto a la red vial secundaria, el Departamento cuenta con un total de 2066.7 kilómetros de los cuales 194,9 kilómetros están a cargo de la Nación por intermedio del INVIAS. Del total de la red secundaria en el inventario se encuentran pavimentadas

526.0 kilómetros de los cuales 70,3 están a cargo del INVIAS, quedando a cargo del Departamento 455,7 Km. La red vial secundaria a cargo del Departamento es de 1.480.3 Km, donde se tienen pavimentadas 464.2 Km (31.3%), de los cuales el 69% se considera en buen estado, el 4% regular y malo el 27%. El 68.7% restante 1,016.1 km, se encuentra en afirmado, el cual exige un mantenimiento periódico, ampliación en la mayoría de los casos, construcción de obras de drenaje y de protección que permita su conservación.

La red vial terciaria a cargo de los municipios, tiene una longitud de 3,589.0 km se encuentran a nivel de afirmado, donde los municipios responden directamente por el mantenimiento y mejoramiento y la que está a cargo del INVIAS, 1732.0 km. Para un total de 5,321.0 km. El 50% de los municipios no cuentan con el equipo mínimo completo de maquinaria (retro, moto niveladora, volquetas), ni con los recursos suficientes para el mantenimiento de sus vías.

Para el cálculo de diferentes indicadores de accesibilidad espacial basados en infraestructura, es de suma importancia contar con toda la red de transporte actualizada de la zona de estudio, con esta información es posible poder calcular distancias y tiempos mínimos de viaje entre cada uno de los Municipios, representados por nodos que conforman la estructura de red, que tiene en cuenta parámetros operativos como: velocidad promedio de recorrido, estado de la vía, paradas teóricas. Etc. para determinar la eficiencia y calidad del trazado de la red. Se debe tener en cuenta que el estado y tipo de vía influye en los tiempos de viaje, donde mayores tiempos de viaje representan bajas condiciones de acceso.

De acuerdo con información del Ministerio de Transporte, se realizó una clasificación vial, teniendo en cuenta sus características físicas, la cuál se muestra en la **tabla 3.**

CATEGORIA	TIPO DE VIA
Tipo 1	Vía Primaria Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto. Carretera pavimentada con revestimiento duro (concreto) o flexible (asfalto). Transitable durante todo el año (Fuente: Instituto Nacional de vías (INVIAS)).
Tipo 2	Vía Secundaria Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como Secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado. Son vías transitables todo el año (Fuente: INVIAS).
Tipo 3	Vía Terciaria Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias (Fuente: INVIAS).
Tipo 4	Placa Huella Vía con placa-huella presenta un volumen de tránsito bajo con muy pocos buses y camiones al día siendo los automóviles, los camperos y las motocicletas el mayor componente del flujo vehicular.
Tipo 5	Camino Camino o sendero de adecuación vial generalmente rural, por el cual transitan principalmente peatones y animales. La superficie no tiene pavimento ni afirmado
Tipo 6	Vía Peatonal Camino estrecho en áreas urbanas, que ha sido diseñado para el tránsito de persona. La superficie es afirmada o pavimentada.

Tabla 4.Clasificación tipo de vía.

Fuente: (IGAC, 2016)

Con la información vectorial recopilada y la clasificación dada por el Ministerio de transporte se realizó la representación cartográfica de la infraestructura de red de transporte del Departamento, clasificada de acuerdo a los diferentes tipos, la cuál se muestra en la **figura 5**. La clasificación fue representada por una paleta de colores que va desde los colores rojos, naranjas, amarillos y verdes, desde el tipo 1 al tipo 7. Se generó también a partir de esta información una base de datos espacial que incluye la red vial de todo el Departamento.



Figura 5. Clasificación Infraestructura vial
Fuente: Realización propia a partir de información
Ministerio de transporte, Invias, Open Route Service.



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

Clasificación de Infraestructura Vial

Valoración

- Vías Tipo 1
- Vías Tipo 2
- Vías Tipo 3
- Vías Tipo 4
- Vías Tipo 5
- Vías Tipo 6

- Municipios
- Limite Departamento de Huila

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

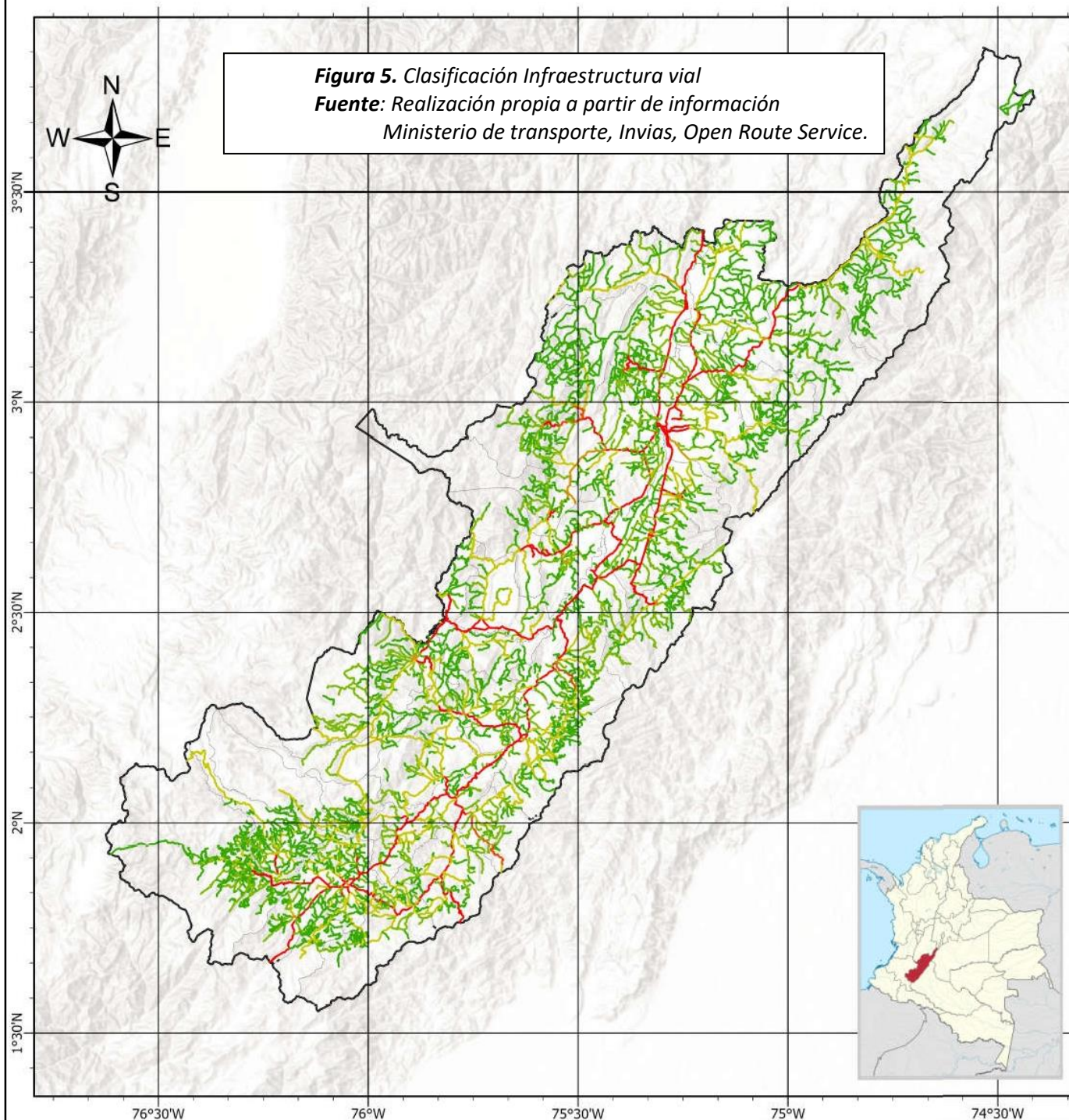
Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ESCALA: 1: 1.500.000



ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA



4.2.3 LOCALIZACIÓN DE CENTROIDES CABECERAS MUNICIPALES

Una estructura de red está conformada por nodos y arcos, los arcos representados por la red de infraestructura vial y los nodos o también llamados vértices representados por la ubicación geográfica de las cabeceras municipales. Las coordenadas de las cabeceras Municipales fueron obtenidas mediante la utilización de herramientas espaciales de Geocodificación, en este caso el uso del software QGIS 3.14.16. Cabe destacar que la Geocodificación es el proceso de transformar una descripción de una ubicación por ejemplo, una dirección o un nombre de un lugar en una ubicación de la superficie de la Tierra en latitud y longitud, que corresponde a coordenadas geográficas (ESRI, 2020a). Se Geo codificaron 37 ubicaciones, identificando el centroide o centro gravitacional de cada municipio que conforma el Departamento, los cuales se muestran en la **tabla 4**. Esta información fue representada cartográficamente para poder visualizar su distribución en el territorio **figura 6**.

N	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
1	NEIVA	2.9400	-75.2820
2	GIGANTE	2.3869	-75.5477
3	GUADALUPE	2.0251	-75.7578
4	HOBO	2.5830	-75.4509
5	IQUIRA	2.6499	-75.6354
6	ISNOS	1.9304	-76.2155
7	LA ARGENTINA	2.1984	-75.9799
8	LA PLATA	2.3889	-75.8905
9	NATAGA	2.5461	-75.8089
10	OPORAPA	2.0245	-75.9956
11	PAICOL	2.4498	-75.7738
12	PALERMO	2.8879	-75.4345
13	PALESTINA	1.7238	-76.1337
14	PITAL	2.2675	-75.8055
15	PITALITO	1.8507	-76.0460
16	RIVERA	2.7787	-75.2591
17	SALADOBLANCO	1.9929	-76.0459
18	SAN AGUSTIN	1.8815	-76.2710
19	SANTA MARIA	2.9388	-75.5865

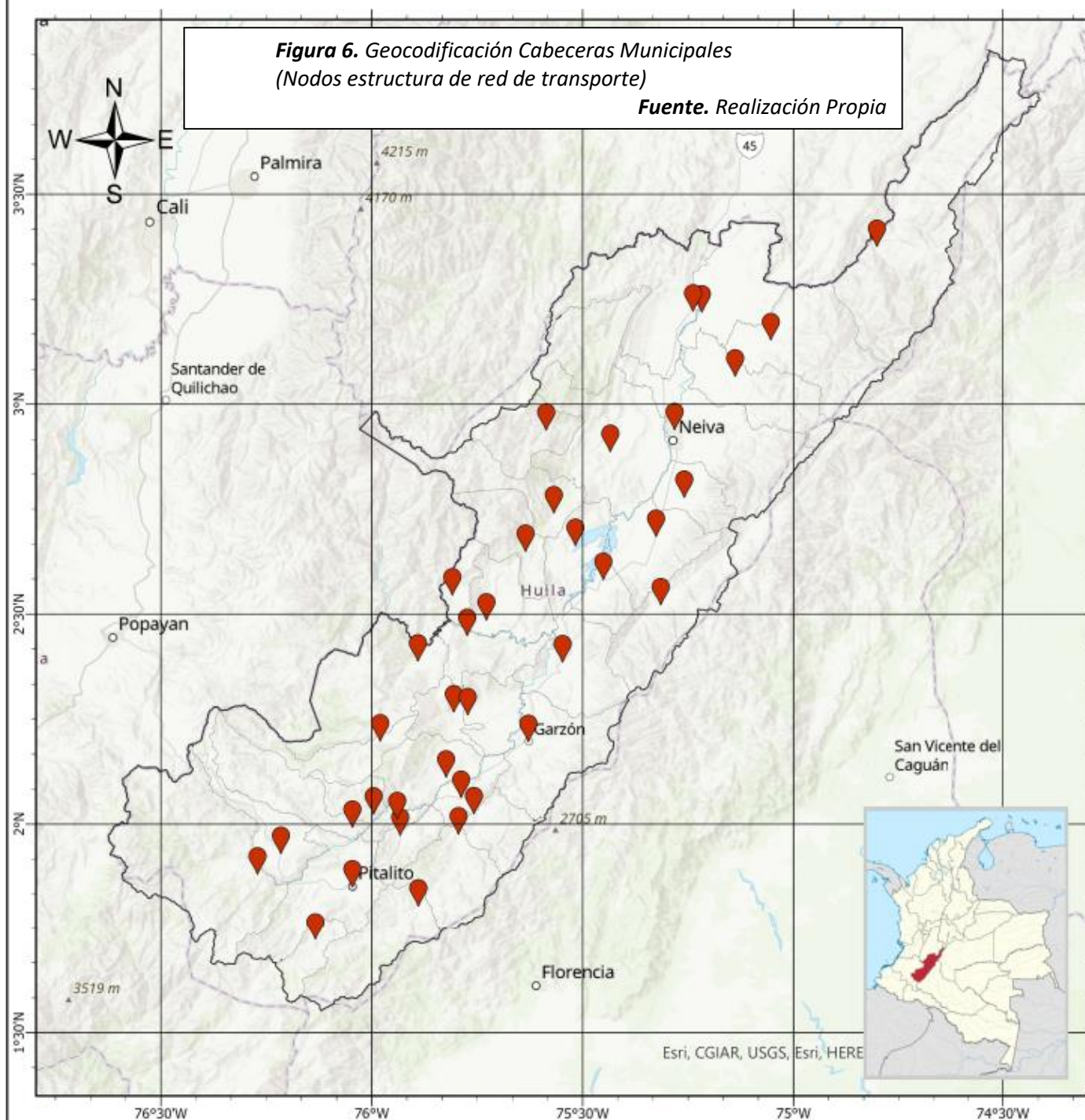
N	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
20	SUAZA	1.9769	-75.7943
21	TARQUI	2.1124	-75.8237
22	TESALIA	2.4865	-75.7282
23	TELLO	3.0673	-75.1384
24	TERUEL	2.7416	-75.5683
25	TIMANA	1.9741	-75.9325
26	VILLAVIEJA	3.2200	-75.2173
27	YAGUARA	2.6642	-75.5172
28	GARZON	2.1973	-75.6287
29	ELIAS	2.0133	-75.9396
30	COLOMBIA	3.3763	-74.8023
31	CAMPOALEGRE	2.6856	-75.3260
32	BARAYA	3.1537	-75.0538
33	ALTAMIRA	2.0639	-75.7881
34	ALGECIRAS	2.5228	-75.3148
35	AIPE	3.2222	-75.2382
36	AGRADO	2.2608	-75.7724
37	ACEVEDO	1.8054	-75.8896

Tabla 5.Geocodificación Municipios Departamento del Huila

Fuente: Realización Propia.

Figura 6. Geocodificación Cabeceras Municipales
(Nodos estructura de red de transporte)

Fuente. Realización Propia



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

CONVENCIONES



Cabeceras Municipales



Municipios



Limite Departamento de Huila

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ESCALA: 1: 1.500.000



ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA

A partir de la información recopilada suministrada por las diferentes entidades gubernamentales y la generada mediante procedimientos previos, se tiene como producto una base de datos espacial robusta referente a la red de infraestructura, cabeceras municipales, características demográficas y socioeconómicas, insumo fundamental para la modelación matemática de los indicadores de accesibilidad, dando cumplimiento con el objetivo específico 1, correspondiente a la caracterización espacial de los Municipios y la red de infraestructura Vial existente en el Departamento del Huila, a continuación se presenta un resumen de la información consolidada **tabla 5**. Se describen cada una de las variables de estudio , donde se utilizó el sistema de referencia MAGNA COLOMBIA BOGOTA para su espacialización y representación cartográfica.

VARIABLE/ INFORMACIÓN	TIPO	AMBITO	FORMATO	AÑO	FUENTE	OBSERVACIÓN
RED VIAL	Vectorial	Físico	Shapefile	2020	IGAC DANE OSM INVIAS	Infraestructura de Red vial robusta de todo el Departamento.
CARTOGRAFIA BASE	Vectorial	Físico	Shapefile	2018	IGAC DANE INVIAS	Limite Politicos
INFORMACIÓN SOCI OECONOMICA	Alfanumerico	Socioeconómico	Cifras	2020	DANE	Caracterización espacial

Tabla 6. Información consolidada caracterización espacial

Fuente. Realización propia a partir de información de IGAC, DANE, OSM, INVIAS.

4.2.4 ESTRUCTURACIÓN DE LA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA

La información recopilada y geo espacializada correspondiente a la infraestructura de transporte, nodos de red (Cabeceras Municipales) e información demográfica y socioeconómica se estructuró en un conjunto de datos tipo espacial, definidos en formato Shapefile, esta información se centralizó en un sistema de gestión de base de datos geográfica correspondiente a una geodatabase, mediante la creación de los Feature Datasets en los que se define cada una de las entidades geográficas de tipo punto, línea y polígono. La geodatabase corresponde a una base de datos con extensión mdb, lo que

indica que es multidimensional, creada a partir de bases de datos relacionales existentes y que en funcionamiento con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitan consultar información a través de las geometrías que representan los datos espaciales. De igual manera este formato de base de datos se puede manejar desde Microsoft Access, mediante el cual se pueden almacenar, consultar y manipular sus datos. La información de la base de datos estructurada en los Features Datasets permiten agrupar clases de entidades relacionadas para participar en una funcionalidad específica y se encuentran almacenadas en un mismo sistema de coordenadas.

4.3 DETERMINACIÓN DE INDICES DE ACCESIBILIDAD GEOGRAFICA

De acuerdo a la literatura consultada, se encontraron diferentes implementaciones de modelos de accesibilidad espacial enfocadas en la planificación del territorio, donde se determinaron para nuestro análisis la utilización de medidas basadas en infraestructura (Geurs & van Wee, 2004) teniendo como criterio para su escogencia la información recopilada y disponible, específicamente la red de infraestructura (arcos) y municipios (nodos de red). Dentro de los modelos matemáticos encontramos el indicador de densidad, el indicador de conectividad y el indicador de factor de ruta integral.

4.3.1 INDICE DE DENSIDAD

Con la recopilación de información, específicamente la consolidación de la red de infraestructura vial, se procedió a realizar el cálculo del indicador de densidad, tomando como variables la red de transporte y el área de la zona de estudio para cada uno de los municipios, donde por medio de herramientas de geoprocésamiento en el software libre QGIS 3.14.16 se delimita cada municipio y su respectiva red vial, determinando la proporcionalidad presente entre kilómetros de infraestructura vial, con kilómetros cuadrados del área del Municipio, su formulación se presenta en la ecuación (1).

$$Densidad = \frac{Km\ de\ Red}{Area\ de\ Zona\ de\ Estudio} \left(\frac{km}{Km^2} \right) \quad (1)$$

El cálculo del kilometraje de la red se lo realizó con la ayuda de la herramienta de calculadora de campos desde la tabla de atributos de la capa tipo línea de red vial. Dentro de la calculadora de campos se crea un nuevo campo, número decimal y definimos la expresión en el campo geometría – Longitud (length). El software por defecto calcula el área metros (m), por lo cual se debe realizar una conversión a Kilómetros (km), dividiendo el valor obtenido entre 1000. Como el objetivo es sumar todo el kilometraje de red inscrito a cada Municipio, utilizamos la herramienta mostrar resumen estadístico, donde se evidencia la sumatoria de la capa de análisis. El proceso realizado se muestra en la **figura 7**.

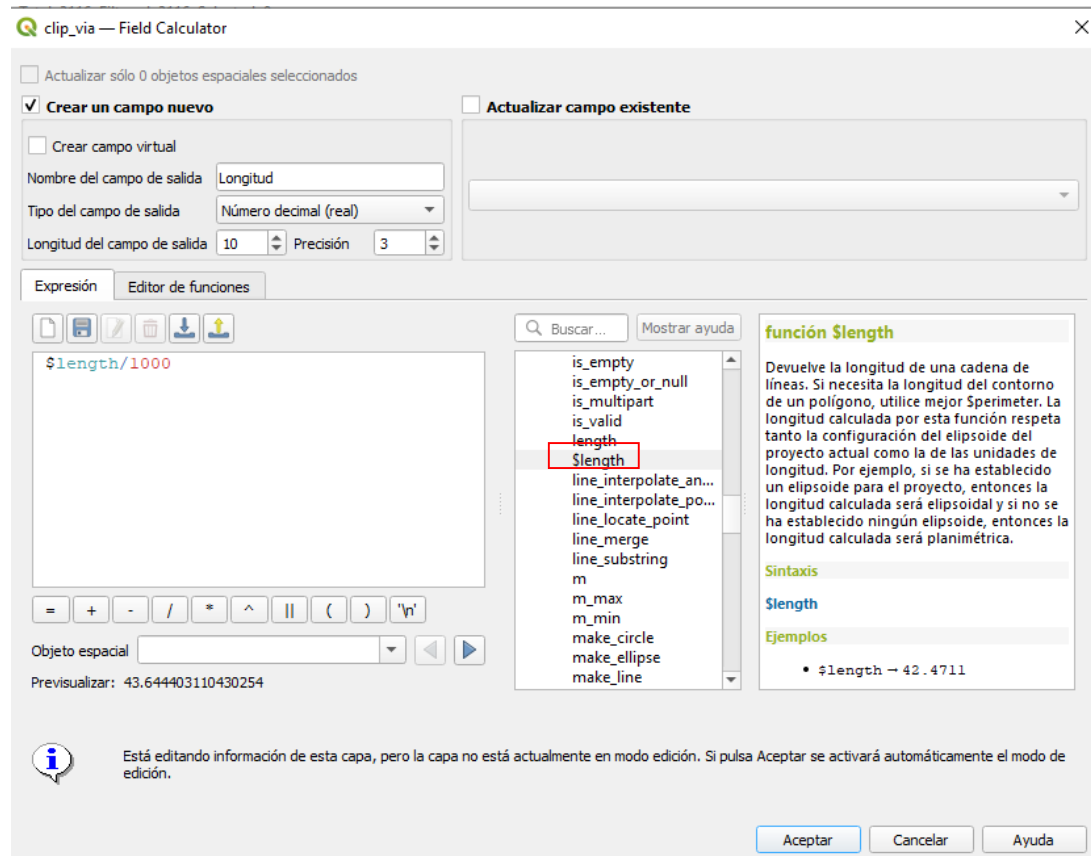


Figura 7. Cálculo de kilometraje de red vial a nivel Municipal.

Fuente. QGIS 3.14.16

El cálculo del área para cada uno de los Municipios también fue se realizado con la calculadora de campos desde la tabla de atributos de la capa de Municipios, donde se creó un campo nuevo, asignándole un tipo de campo de número decimal para los resultados. Cabe destacar que la capa de entrada debe ser tipo polígono. Desde el menú desplegable

encontramos la opción de cálculo de geometría – Área, proceso que se muestra en la **figura 8**. El software por defecto calcula el área en m^2 , por lo cual se debe realizar una conversión a km^2 , dividiendo el valor obtenido entre 1.000.000, teniendo en cuenta que el numerador de la ecuación también se encuentra en Km y deben estar en la misma unidad de medida.

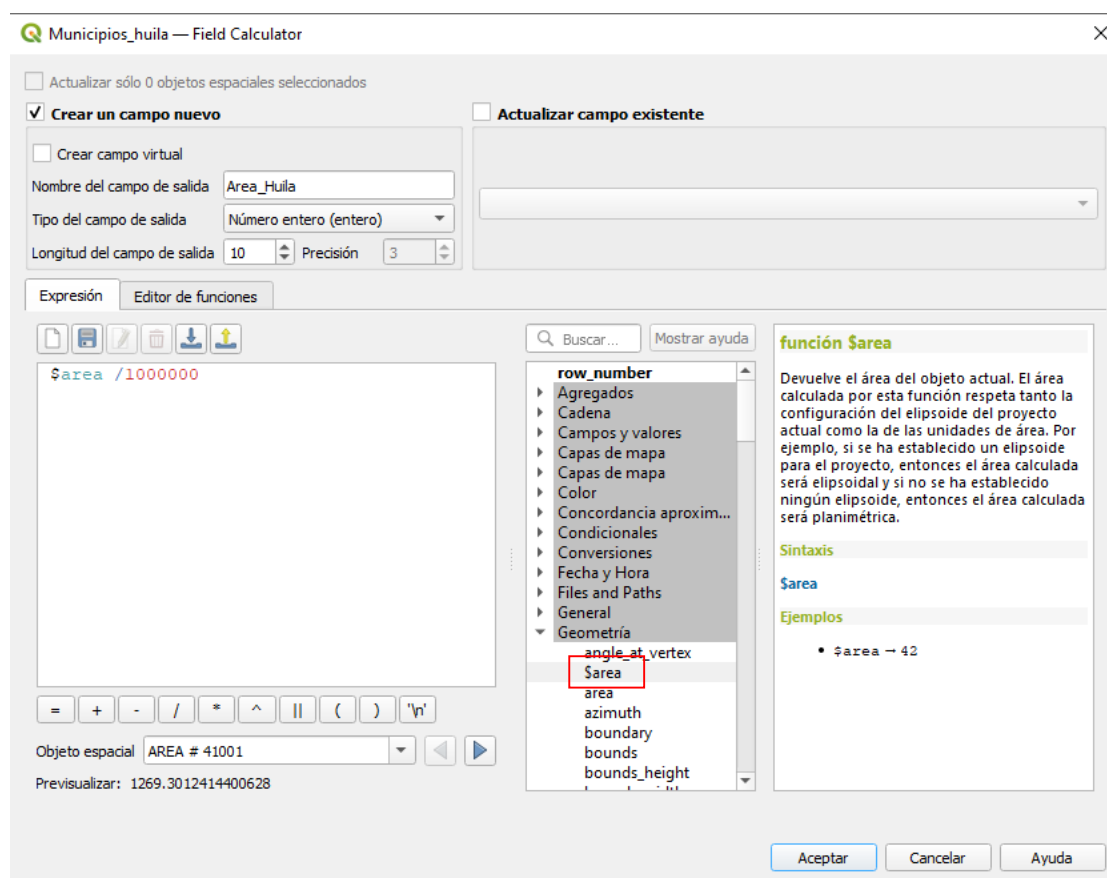


Figura 8. Cálculo de áreas de cada Municipio.

Fuente. QGIS 3.14.16.

Este proceso fue realizado para cada uno de los 37 Municipios, mediante la suma del kilometraje de red y el cálculo de su respectiva área. Los resultados obtenidos fueron incorporados a la capa punto de cabeceras Municipales, donde se aplicó el método de interpolación IDW, para la generación de un modelo superficie continua. Finalmente su representación espacial mediante una clasificación jerarquizada mediante una paleta de colores que va de rojos a verdes, alta y baja densidad.

4.3.2 INDICADOR DE CONECTIVIDAD

La conectividad significa a la vez la existencia de conexiones directas y de conexiones alternativas entre diferentes puntos de una red y permite evaluar la multiplicidad de relaciones aseguradas en el sistema por la red (Pacheco Gago, 2003). Existe una multiplicidad de indicadores de conectividad, los más destacados son considerados por Kansky.

El cálculo del indicador consiste en contar cuantos segmentos de vías llegan al Municipio. Como se puede observar en el ejemplo de la figura 9, se tiene el perímetro del Municipio de IQUIRA - HUILA, el cual cuenta con 4 salidas o arcos de conexión que atraviesan el área, de acuerdo a la formulación presentada anteriormente los arcos corresponden a la variable e , de igual forma se puede observar 2 vértices o nodos de conexión v . Este proceso fue realizado para cada uno de los Municipios **figura 9**.

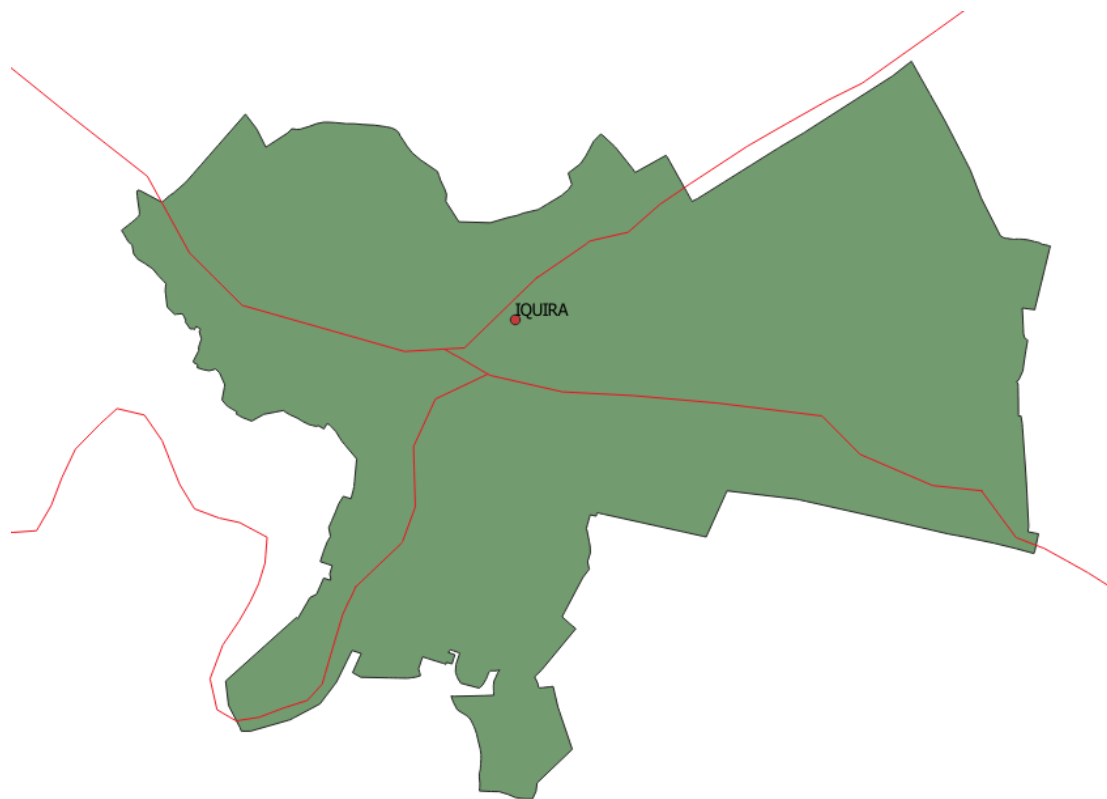


Figura 9. Cálculo de áreas de cada Municipio.

Fuente. QGIS 3.14.16.

Se obtuvo el índice de conectividad para cada uno de los Municipios que conforman el Departamento, los cuales fueron asignados a la tabla de atributos de la capa vectorial tipo punto de cabeceras Municipales, seguidamente se utilizó el geo proceso de interpolación IDW, para la generación de una superficie continua de conectividad, insumo para la generación de curvas de iso – accesibilidad.

4.3.3 INDICE FACTOR DE RUTA INTEGRAL

Con el fin de analizar la trazabilidad que presenta la red vial en el Departamento del Huila y mediante la base de datos obtenida por cada una de las entidades como DANE, INVIAS, entre otras, se relaciona la distancia en red vial con la distancias en línea recta, como se muestra en la ecuación (3).

$$Ri = \frac{1}{n-1} * \sum_1^n \frac{d_{rij}}{d_{gij}} \quad (3)$$

Donde,

d_{rij} = distancia real (utilizando la red) desde i a j

d_{gij} = distancia en línea recta desde i a j

Ri = factor de ruta integral del nodo i

n = numero de nodos

Este indicador nos indica la relación entre la distancia en línea recta y la distancia del trazado de la red, donde si el valor está cerca de 1 presenta un mejor trazado y si los valores superan a 1.5 indica que presenta un trazado vial curvo o complicado, lo que significa bajos niveles de accesibilidad. Los valores se presentan en la **tabla 6** (Rodriguez et al., 2018)

CÁLCULO DE VARIABLES

De acuerdo al modelo presentado, se tienen 3 variables de entrada, la matriz origen – destino de distancia real que tienen en cuenta la ruta mínima de viaje en red desde el nodo i al nodo j , matriz de distancia en línea recta desde i a j y el número de nodos n que

son el número de conexiones de la red, en este caso las cabeceras municipales. A continuación se presenta la metodología de análisis de cada una de las variables.

MATRIZ ORIGEN – DESTINO DISTANCIAS REALES (d_{rij})

Se genera la matriz de red de análisis con el fin de obtener cada una de las distancias reales entre cada uno de los nodos de conexión que conforman la estructura de red de transporte. Su cálculo fue realizado mediante la utilización del software QGIS 3.14.16, mediante la herramienta de análisis de redes, ruta más corta punto a punto. Para la utilización de la herramienta se ubica la posición del nodo de origen i (punto de inicio) y el nodo destino j (punto final), donde a través de la capa de red de transporte se realiza el cálculo de la ruta de distancia mínima entre los nodos. Para el caso de la investigación se tuvieron en cuenta 38 nodos de conexión que representan los 38 Municipios que conforman el Departamento. Se presenta en la **figura 10 y figura 11** un ejemplo ilustrativo del uso de la herramienta.

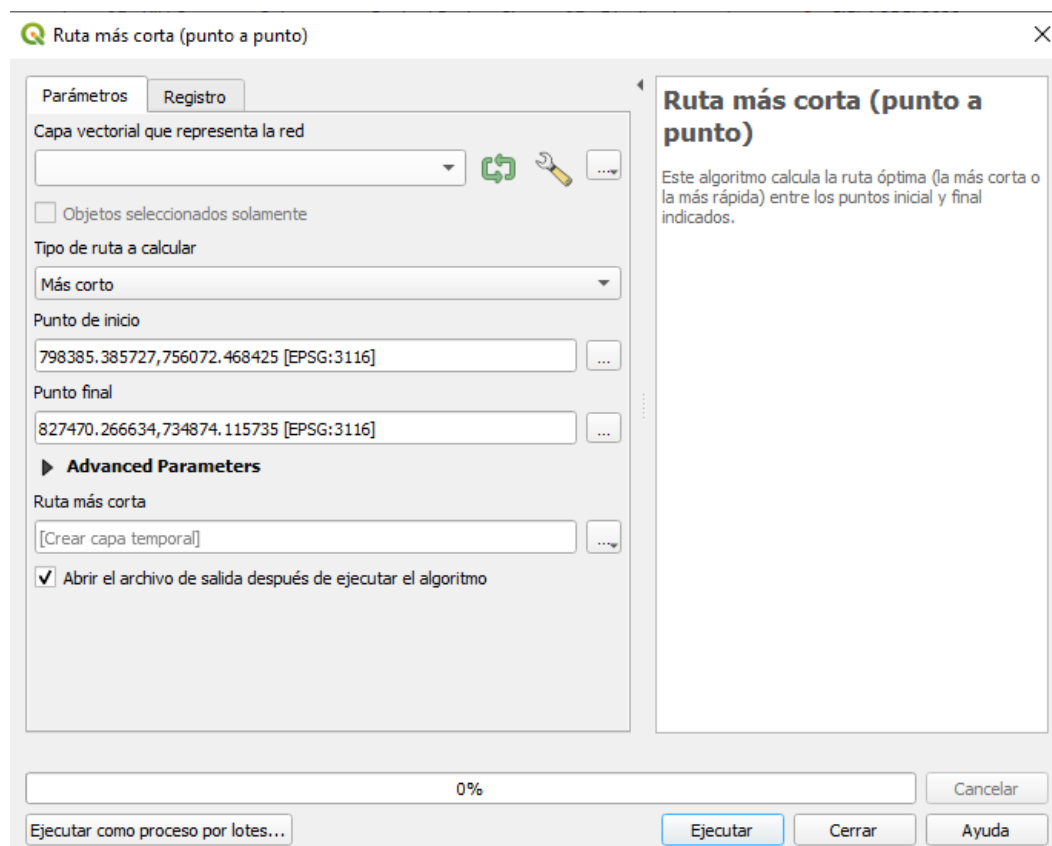


Figura 10. Ventana datos de entrada cálculo distancias reales.

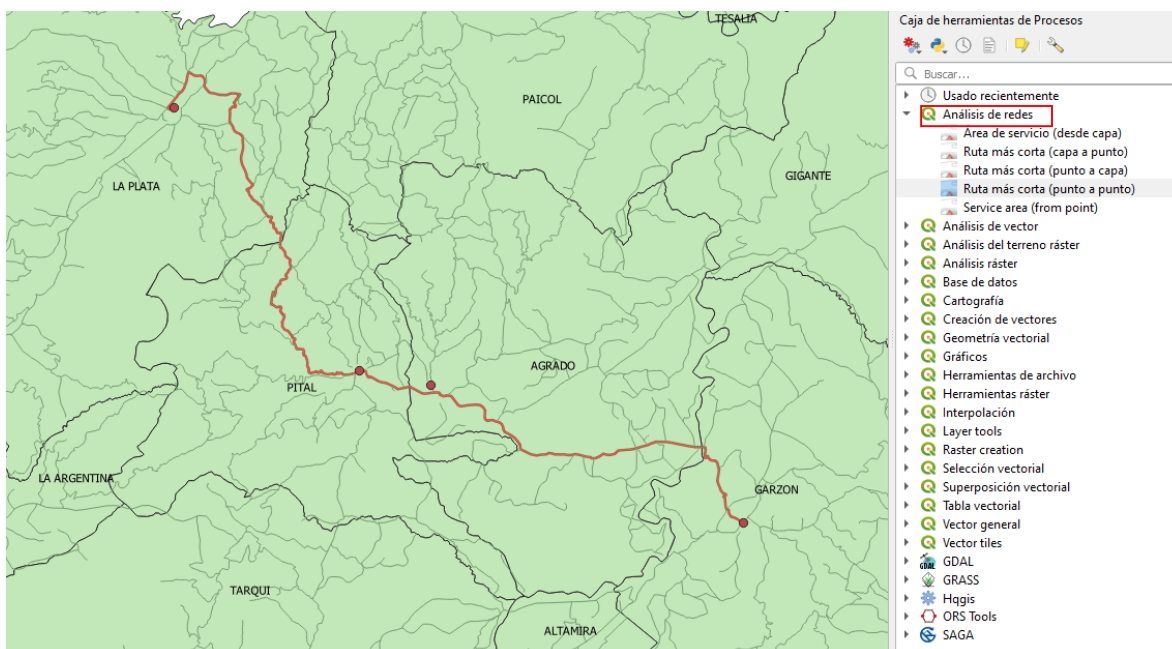


Figura 11. Cálculo de distancias reales, análisis de redes, ruta más corta.

Fuente. Realización propia utilización QGIS 3.14.16.

Como se puede observar en el ejemplo se calculó la ruta mínima entre los Municipios de Garzón y la plata, donde la herramienta automáticamente traza la ruta (línea color rojo) para este caso se obtuvo una distancia total de 56.8 km de recorrido.

MATRIZ CÁLCULO DE DISTANCIA EUCLIDIANA (d_{gij})

La distancia en línea recta o también llamada distancia Euclidiana de acuerdo a (Arellano, 1970), es la trayectoria más corta presente entre dos puntos. También de acuerdo a (Chopde & Nichat, 2013), es posible calcular a partir de coordenadas geográficas (latitud y longitud) aplicando la fórmula de Haversine como se muestra a continuación en la ecuación (4):

$$d = 2r \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \sin^2 \left(\frac{\psi_2 - \psi_1}{2} \right)} \right) \quad (4)$$

Donde d es la distancia en línea recta entre los dos puntos con longitud y latitud (ψ, ϕ) y r es el radio de la tierra.

Para el cálculo de cada una de las distancias euclidianas se utilizó el software Excel, mediante la incorporación de la formulación matemática. Se presenta en la **figura 12** su respectiva representación, tomando como ejemplo los Municipios de Garzón y La plata, donde se obtuvo como resultado una distancia en línea recta de 36.3 km.

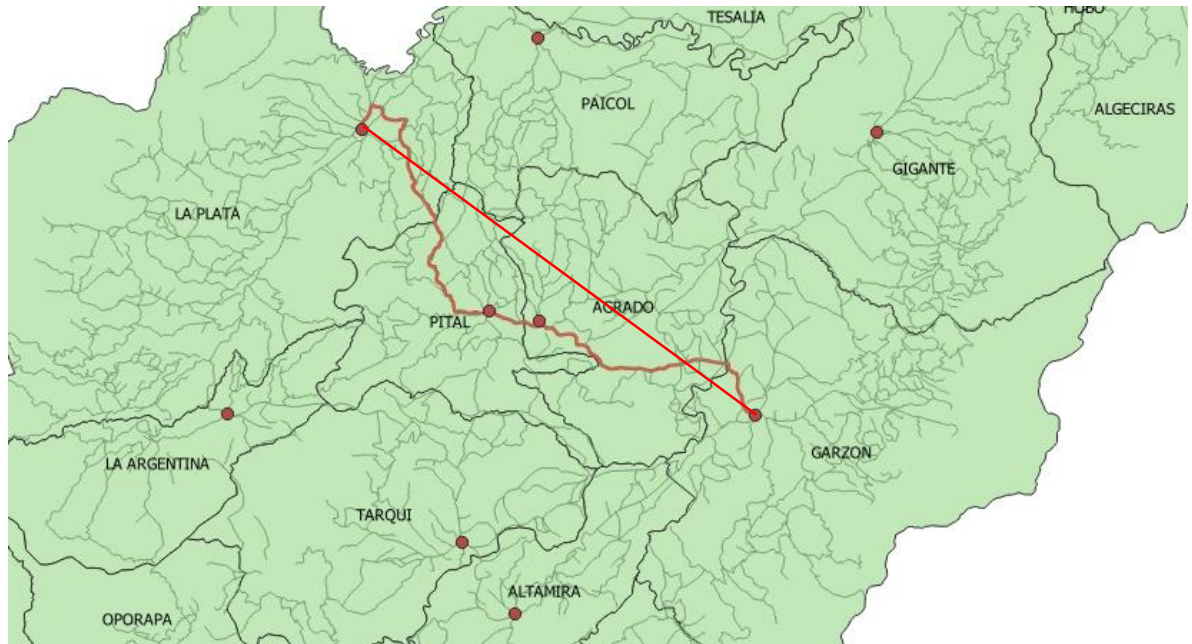


Figura 12. Cálculo de distancias euclidianas.

Fuente. Realización propia utilización QGIS 3.14.16.

Con el valor calculado para cada uno de los municipios, se procedió a generar un modelo de superficie continua mediante el método de interpolación IDW, el cuál fue clasificado mediante una paleta de colores que va desde los colores verdes a rojos, siendo los verdes los Municipios que cuentan con un mejor trazado y eficiencia de la red, mientras los rojos son los Municipios que cuentan con bajas condiciones de accesibilidad.

5. RESULTADOS

Se presentan a continuación los principales resultados obtenidos en el desarrollo del estudio. Los valores obtenidos para cada uno de los indicadores de accesibilidad fueron divididos en cinco clases, mediante una clasificación por Quintiles en el software Qgis 3.18 buscando patrones o grupos en los datos.

5.1. INDICADOR DE DENSIDAD

El cálculo del indicador de densidad fue implementado de acuerdo con la metodología planteada y con los valores obtenidos para cada uno de los Municipios **tabla 6** se generó un modelo de superficie continua mediante el método de interpolación IDW **figura 13**, insumo para la representación cartográfica de los niveles de accesibilidad y Modelación 3D **figura 14**.

N	MUNICIPIO	AREA (Km2)	KM DE RED	DENSIDAD
1	NEIVA	1270.828	841.621	0.662
2	GIGANTE	504.086	426.14	0.845
3	GUADALUPE	249.801	171.284	0.686
4	HOBO	194.382	126.884	0.653
5	IQUIRA	356.763	102.606	0.288
6	ISNOS	370.888	390.004	1.052
7	LA ARGENTINA	356.676	144.878	0.406
8	LA PLATA	815.238	671.96	0.824
9	NATAGA	132.057	111.369	0.843
10	OPORAPA	155.932	101.145	0.649
11	PAICOL	278.507	219.716	0.789
12	PALERMO	884.885	651.972	0.737
13	PALESTINA	178.33	176.92	0.992
14	PITAL	193.817	195.479	1.009
15	PITALITO	631.154	671.671	1.064
16	RIVERA	251.409	157.901	0.628
17	SALADOBLANCO	466.972	144.199	0.309
18	SAN AGUSTIN	1391.425	488.274	0.351
19	SANTA MARIA	339.641	197.656	0.582
20	SUAZA	430.009	249.111	0.579

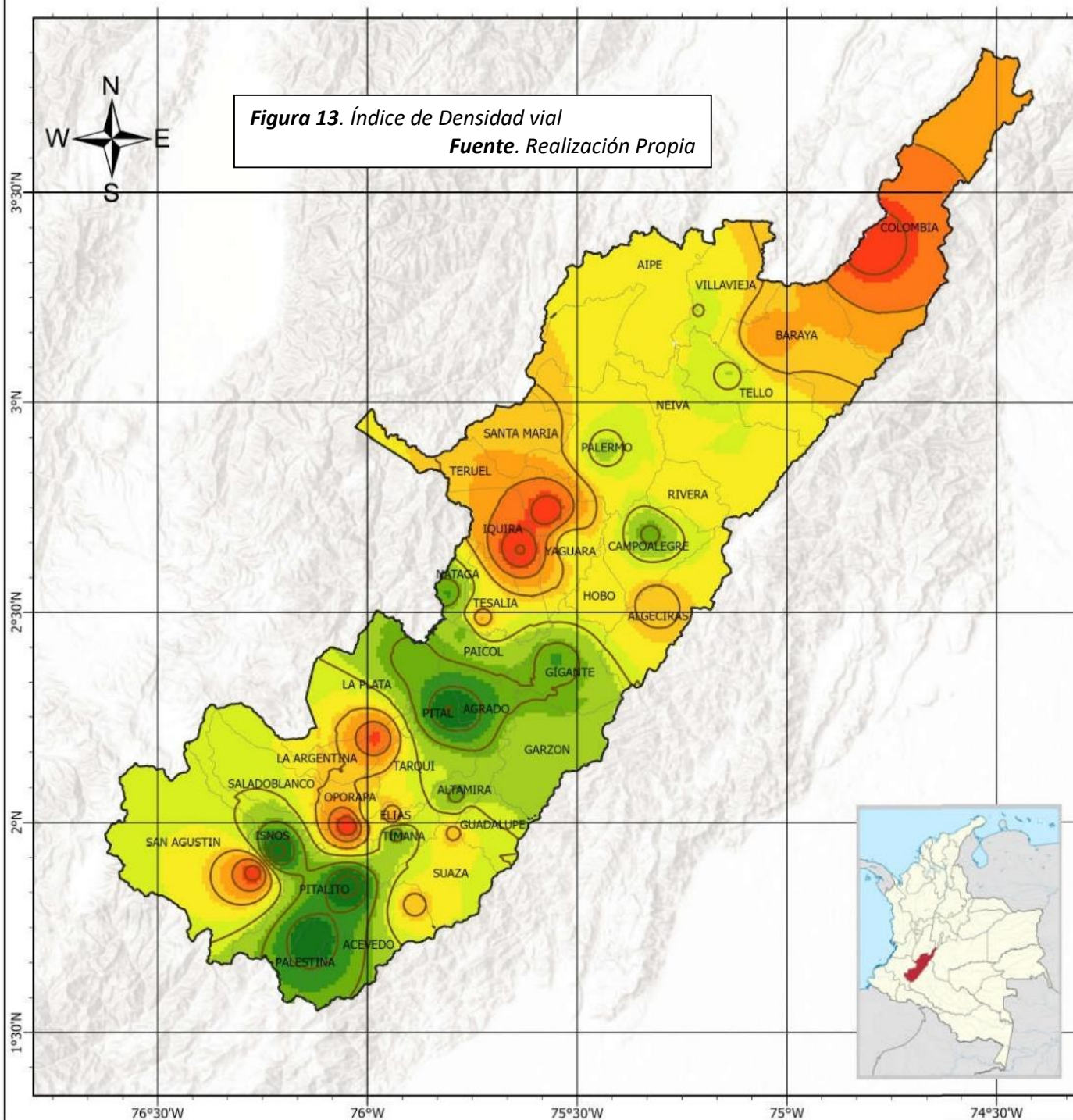
N	MUNICIPIO	AREA (Km2)	KM DE RED	DENSIDAD
21	TARQUI	363.073	257.819	0.71
22	TESALIA	367.313	207.186	0.564
23	TELLO	530.796	381.346	0.718
24	TERUEL	471.974	155.27	0.329
25	TIMANA	185.851	158.379	0.852
26	VILLAVIEJA	544.373	392.455	0.721
27	YAGUARA	333.229	220.118	0.661
28	GARZON	606.983	446.68	0.736
29	ELIAS	80.478	43.678	0.543
30	COLOMBIA	1586.21	563.652	0.355
31	CAMPOALEGRE	463.145	381.994	0.825
32	BARAYA	786.568	408.304	0.519
33	ALTAMIRA	181.126	151.873	0.838
34	ALGECIRAS	590.136	334.932	0.568
35	AIPE	796.211	499.848	0.628
36	AGRADO	273.94	261.035	0.953

Tabla 7. Resultados Indicador de Densidad – Departamento del Huila

Fuente. Elaboración Propia

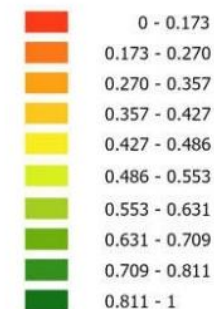


Figura 13. Índice de Densidad vial
Fuente. Realización Propia



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

Índice de Densidad
Valoración



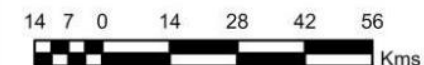
— Líneas de Contorno Índice
□ Municipios

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ESCALA: 1: 1.500.000

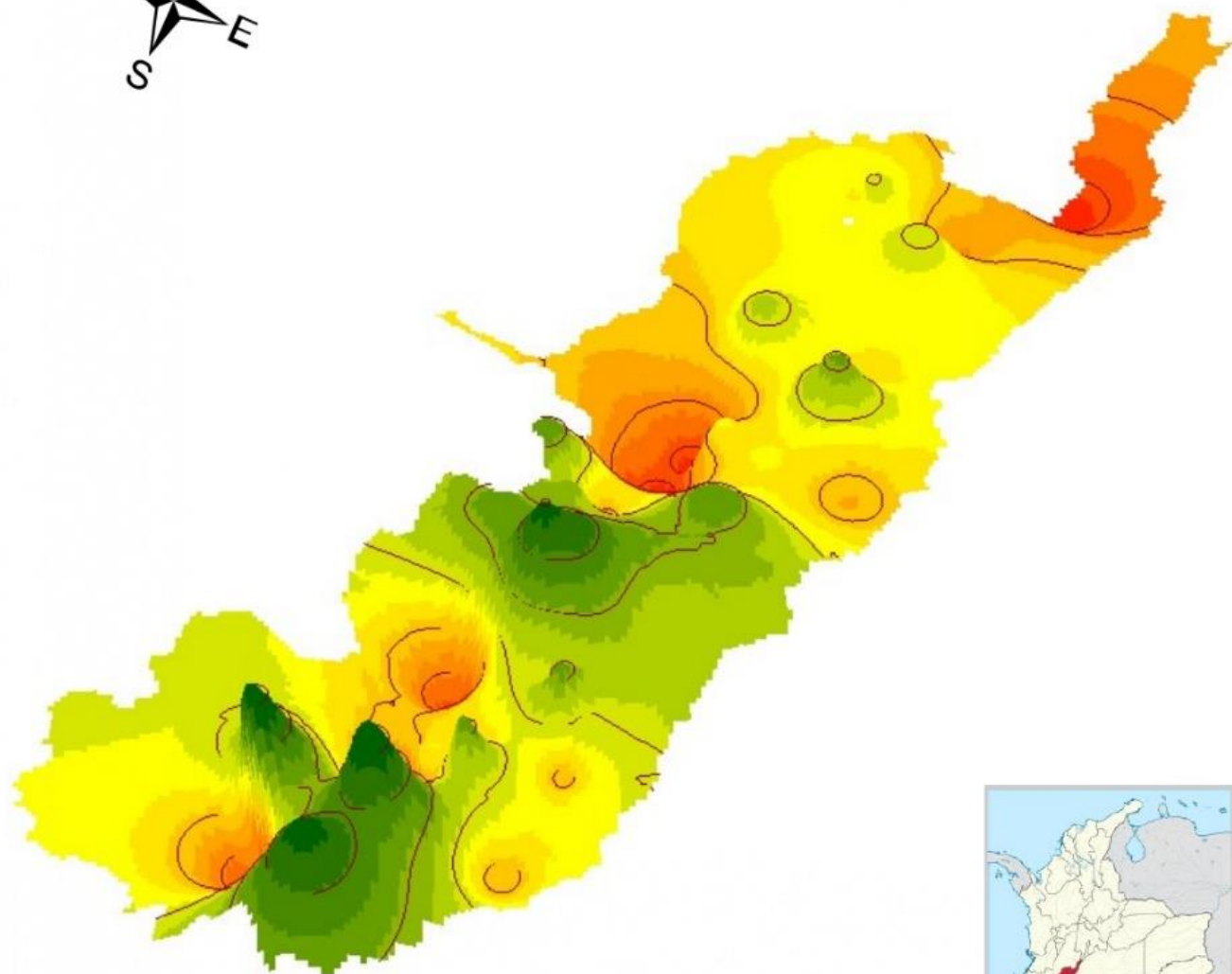


ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA

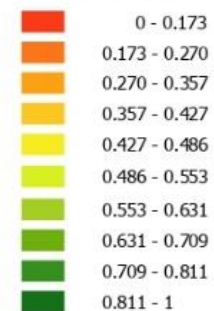


Figura 14. Índice de Densidad vial 3D
Fuente. Realización Propia



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

Índice de Densidad
Valoración



— Líneas de Contorno Índice

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA

Como se puede evidenciar en los resultados obtenidos, los Municipios que cuentan con mejor accesibilidad teniendo en cuenta el indicador de Densidad, son algunos Municipios situados en la zona Sur del Departamento. Municipios como Pitalito, Isnos, Pital, Palestina, Agrado ,entre otros, cuentan con mejores condiciones de acceso, teniendo en cuenta la relación de la red de infraestructura de transporte y el área del Municipio. De acuerdo la representación espacial los Municipios que cuentan con mayor puntuación en el indicador se encuentran representados por colores verdes. Caso contrario para Municipios situados en la zona Norte y Centro a excepción de campoalegre y palermo que presentan una menor presencia y desarrollo de infraestructura vial en comparación al área, ubicándose como los Municipios con los más bajos niveles de densidad en todo el Departamento del Huila como como Iquirá, Saladoblanco, Teruel y San Agustín, representados por colores verdes. En la **figura 15** se puede observar la relación Infraestructura de transporte, área del Municipio y resultados del indicador de densidad vial.

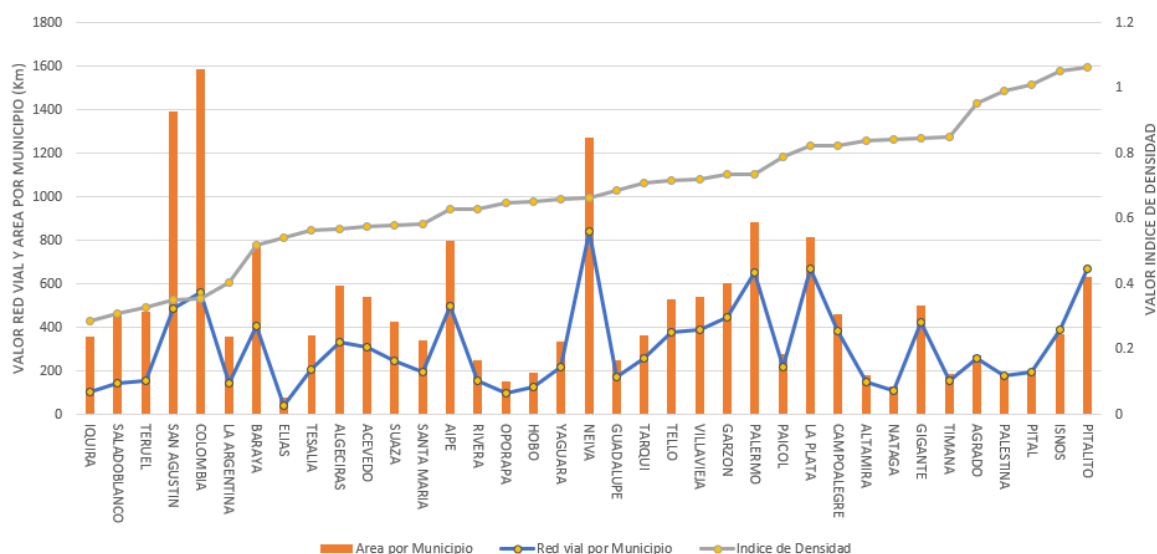


Figura 15. Resultados Indicador de Densidad vs Infraestructura de transporte y área – Departamento del Huila

Fuente. Elaboración Propia

5.2. INDICADOR DE CONECTIVIDAD

El indicador de conectividad nos permite analizar qué tan accesible es un Municipio, teniendo en cuenta sus conexiones de red, donde la red está representada por la infraestructura de transporte y los nodos por las cabeceras Municipales. Con el cálculo y modelado del indicador se logró identificar los Municipios que cuentan con mayor y menor número de conexiones, lo que se traduce en la facilidad de movilizar personas y mercancías, teniendo en cuenta las entradas y salidas del Municipio. Los resultados obtenidos en el indicador para cada uno de los Municipios se presenta en la **tabla 7**. Con los resultados obtenidos se generó un modelo de superficie continua mediante el método de interpolación IDW, insumo para la generación de curvas de iso accesibilidad y modelo 3D, productos que se muestran en la **figura 16 y 17**. Los resultados fueron clasificados mediante una paleta de colores que va desde los rojos (baja accesibilidad) a verdes (alta accesibilidad).

N	MUNICIPIO	CONECTIVIDAD
1	NEIVA	10
2	GIGANTE	5
3	GUADALUPE	4
4	HOBO	5
5	IQUIRA	4
6	ISNOS	9
7	LA ARGENTINA	4
8	LA PLATA	11
9	NATAGA	5
10	OPORAPA	3
11	PAICOL	4
12	PALERMO	3
13	PALESTINA	5
14	PITAL	7
15	PITALITO	13
16	RIVERA	7
17	SALADOBLANCO	8
18	SAN AGUSTIN	12
19	SANTA MARIA	6
20	SUAZA	5

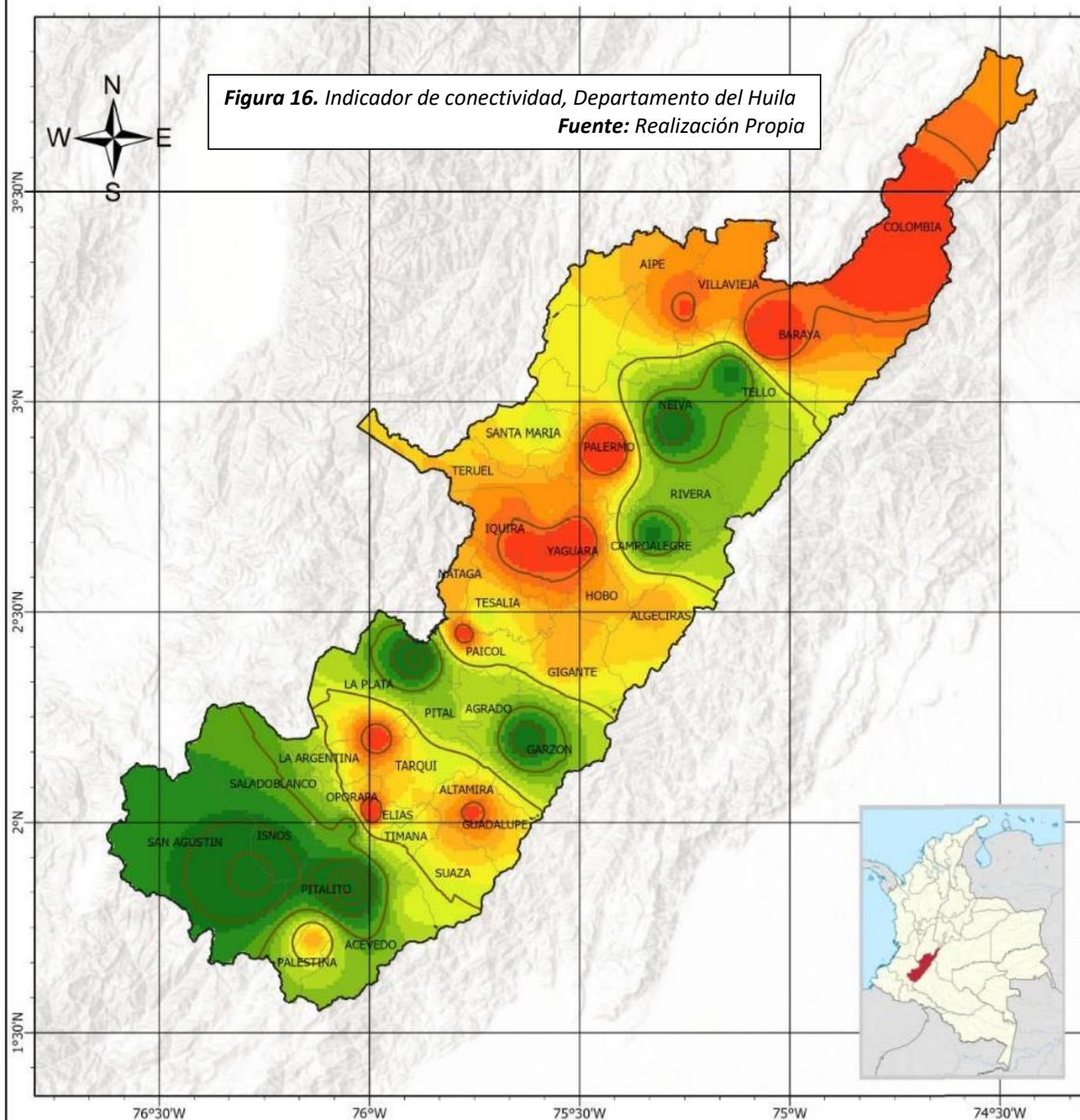
N	MUNICIPIO	CONECTIVIDAD
21	TARQUI	6
22	TESALIA	6
23	TELLO	9
24	TERUEL	5
25	TIMANA	6
26	VILLAVIEJA	5
27	YAGUARA	3
28	GARZON	10
29	ELIAS	6
30	COLOMBIA	3
31	CAMPOALEGRE	9
32	BARAYA	3
33	ALTAMIRA	5
34	ALGECIRAS	5
35	AIPE	4
36	AGRADO	6
37	ACEVEDO	6

Tabla 8. Resultados municipales Indicador de Conectividad – Departamento del Huila

Fuente. Elaboración Propia



Figura 16. Indicador de conectividad, Departamento del Huila
Fuente: Realización Propia



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

**Conectividad
Valoración**



□ Municipios

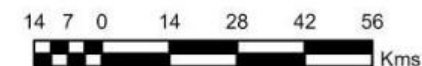
— Líneas de Contorno

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ESCALA: 1: 1.500.000

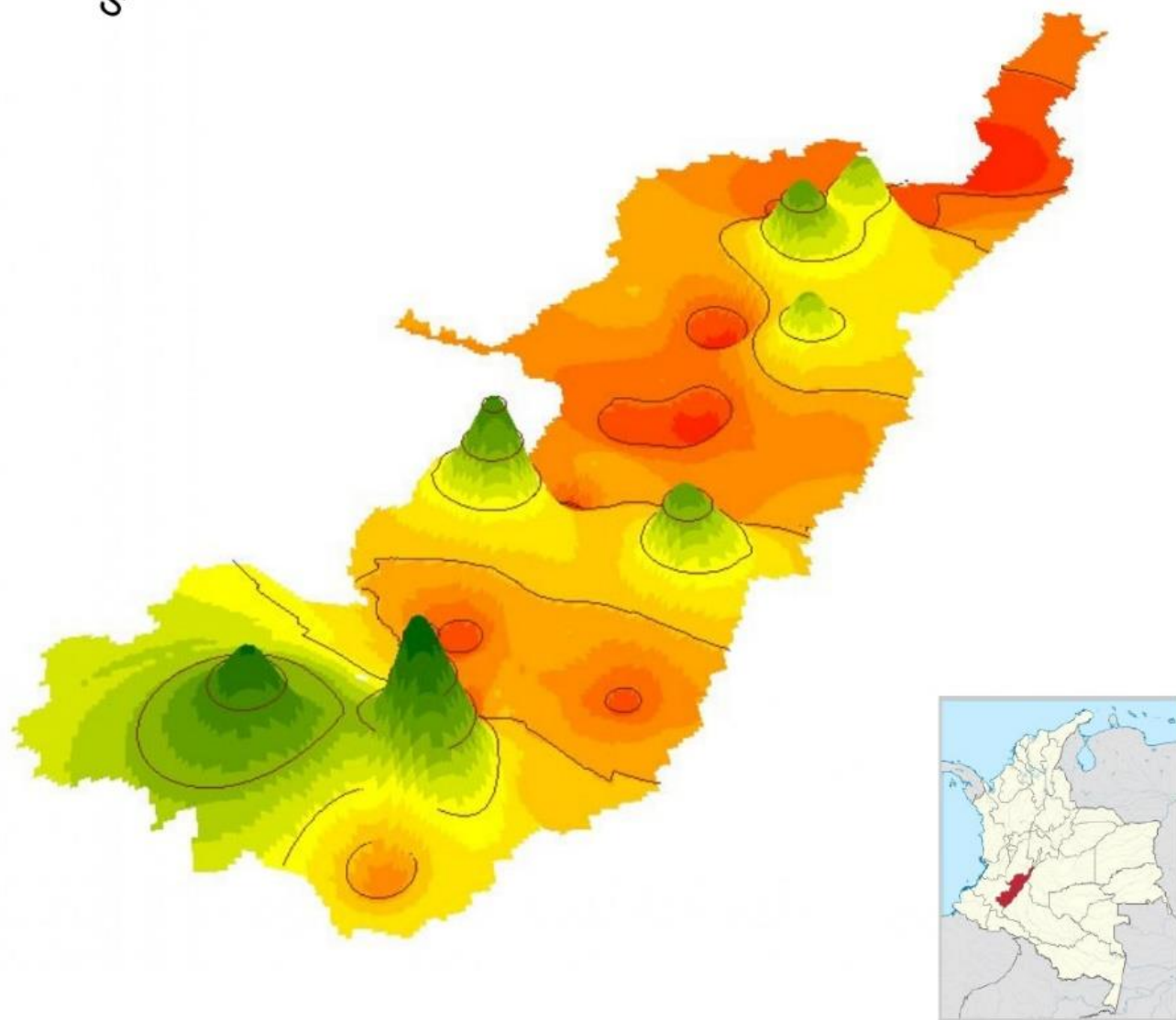


ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA



Figura 17. Indicador de conectividad, Departamento del Huila 3D
Fuente: Realización Propia



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

Conectividad

Valoración

Red	3 - 4.451
Orange	4.451 - 4.882
Yellow	4.882 - 5.195
Light Green	5.195 - 5.509
Yellow-Green	5.509 - 5.823
Light Green	5.823 - 6.370
Green	6.370 - 6.958
Dark Green	6.958 - 7.702
Dark Green	7.702 - 8.524
Dark Green	8.524 - 13

— Líneas de Contorno

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que los Municipios que cuentan con mejores condiciones de acceso se encuentran ubicados en la zona Sur y Nor – Oriente, a diferencia de la zona Centro y la mayor parte Norte que cuentan con bajas condiciones de acceso. Dentro de los Municipios que se encuentran mejor conectados tenemos: Pitalito, San Agustín, La Plata, Neiva, Garzón entre otros. Dentro de los Municipios que cuentan con bajos niveles de conectividad tenemos: Baraya, Colombia, Yaguara, Palermo, Oporapa, Aipe entre otros. A continuación se presenta el diagrama de frecuencias absoluta - relativa y diagrama de cajas **figura 18 y figura 19** con el fin de analizar los resultados obtenidos mediante un análisis estadístico espacial.

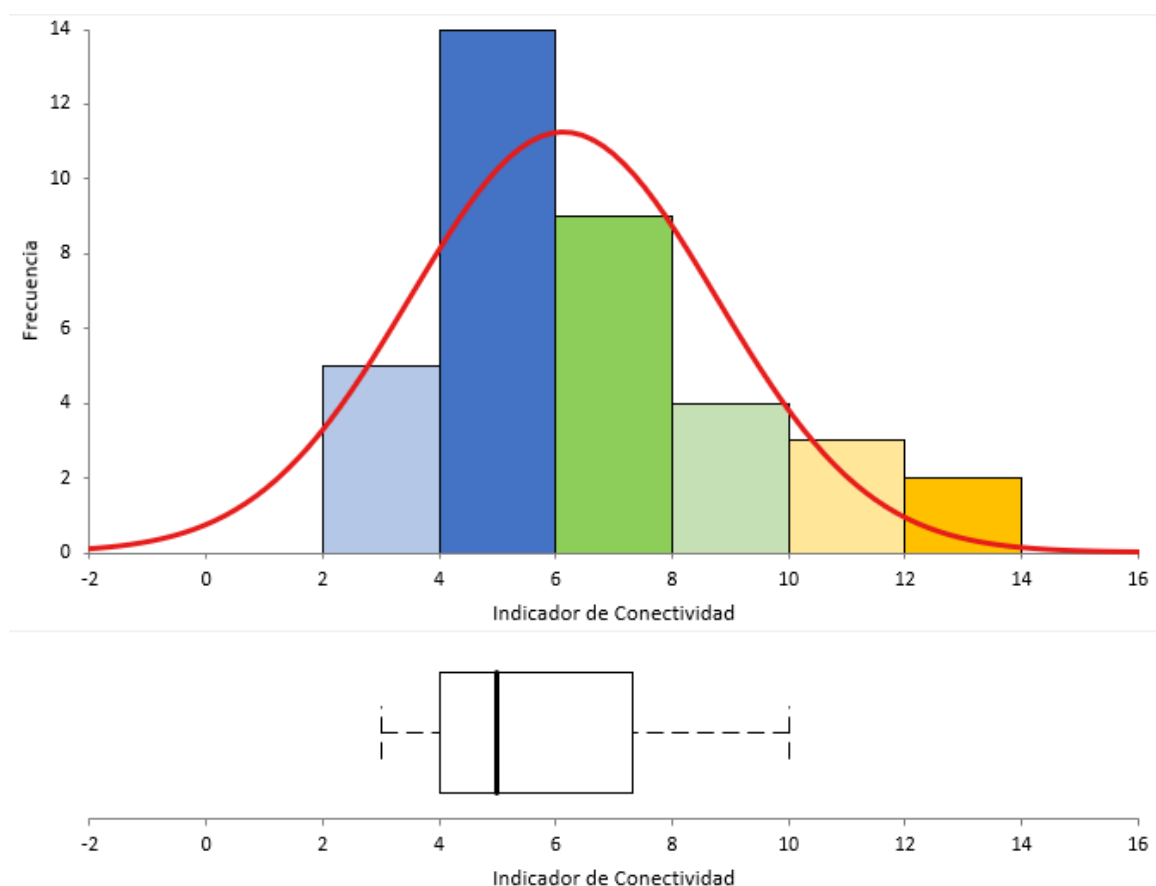


Figura 18. Diagrama de frecuencia absoluta, diagrama de cajas, Indicador de Conectividad – Departamento del Huila

Fuente. Elaboración Propia

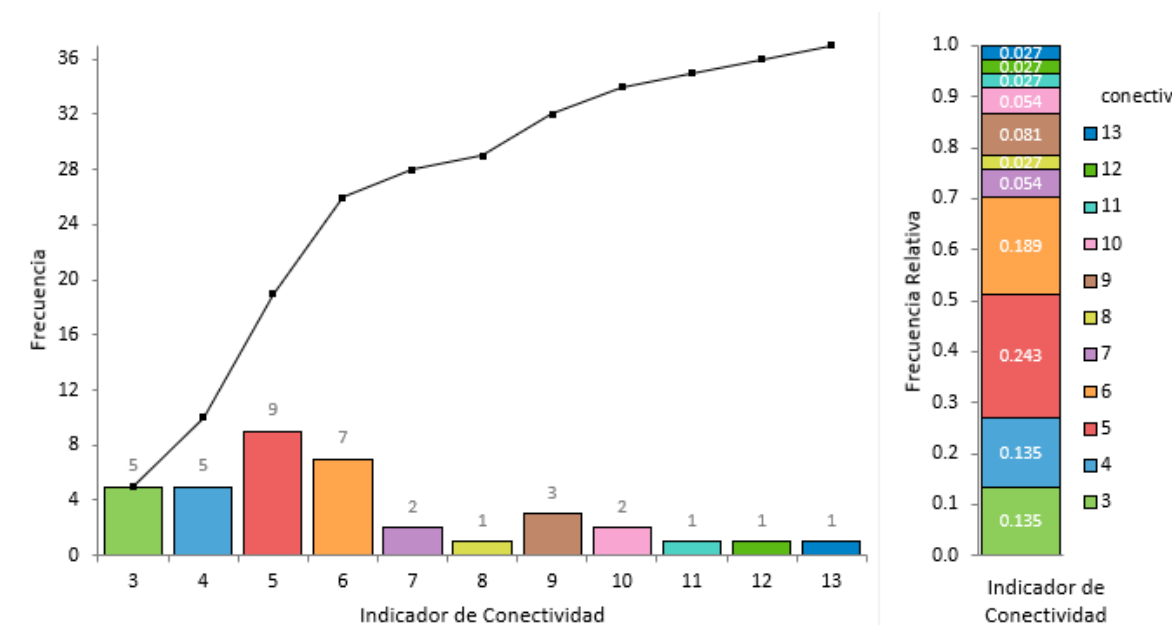


Figura 19. Diagrama de frecuencia relativa, Indicador de Conectividad – Departamento del Huila

Fuente. Elaboración Propia

De acuerdo al análisis realizado se puede observar en el gráfico de frecuencias que la media se encuentra en frecuencia de 5, con el primer cuartil de frecuencia 4 y el tercer cuartil en 7.3, con una diferencia de cuartiles de 3.3 y una curtosis de 0.34. Se puede evidenciar que el 50% de los datos se encuentran por encima de la media, donde se identifican los Municipios de Pitalito, San Agustín, La Plata, Garzón, entre otros y el otro 50% corresponde a los Municipios que se encuentran debajo de la media como son Oparapa, Palermo, Yaguará, Colombia.

Cabe destacar que en este indicador el área de la zona influye drásticamente en el resultado, teniendo en cuenta que un Municipio puede no tener una red de infraestructura de transporte robusta, pero área pequeña lo que le hace obtener al Municipio una puntuación alta.

5.3. INDICADOR FACTOR DE RUTA INTEGRAL

El índice factor de ruta, de acuerdo a la definición de (Rodriguez et al., 2018), permite analizar la calidad y eficiencia del trazado de la red de infraestructura de transporte, mediante la relación del trazado real de la red y el trazado ideal (línea recta). Entre más se asemeje el trazado real al ideal, se tendrá mayor calidad y eficiencia. Para la modelación del indicador se crearon dos matrices origen – destino de distancias, una de distancias en red (trazado real) y otra de distancia en línea recta (trazado ideal) entre los nodos en este caso cabeceras Municipales de análisis. Los resultados obtenidos en el indicador para cada uno de los Municipios se presenta en la **tabla 8**. Con los resultados obtenidos de igual forma que el caso de los otros indicadores, se generó un modelo de superficie continua mediante el método de interpolación IDW, curvas de iso accesibilidad y modelo 3D, productos que se muestran en la **figura 20 y 21**. Los resultados fueron clasificados mediante una paleta de colores que va desde los rojos (baja accesibilidad) a verdes (alta accesibilidad).

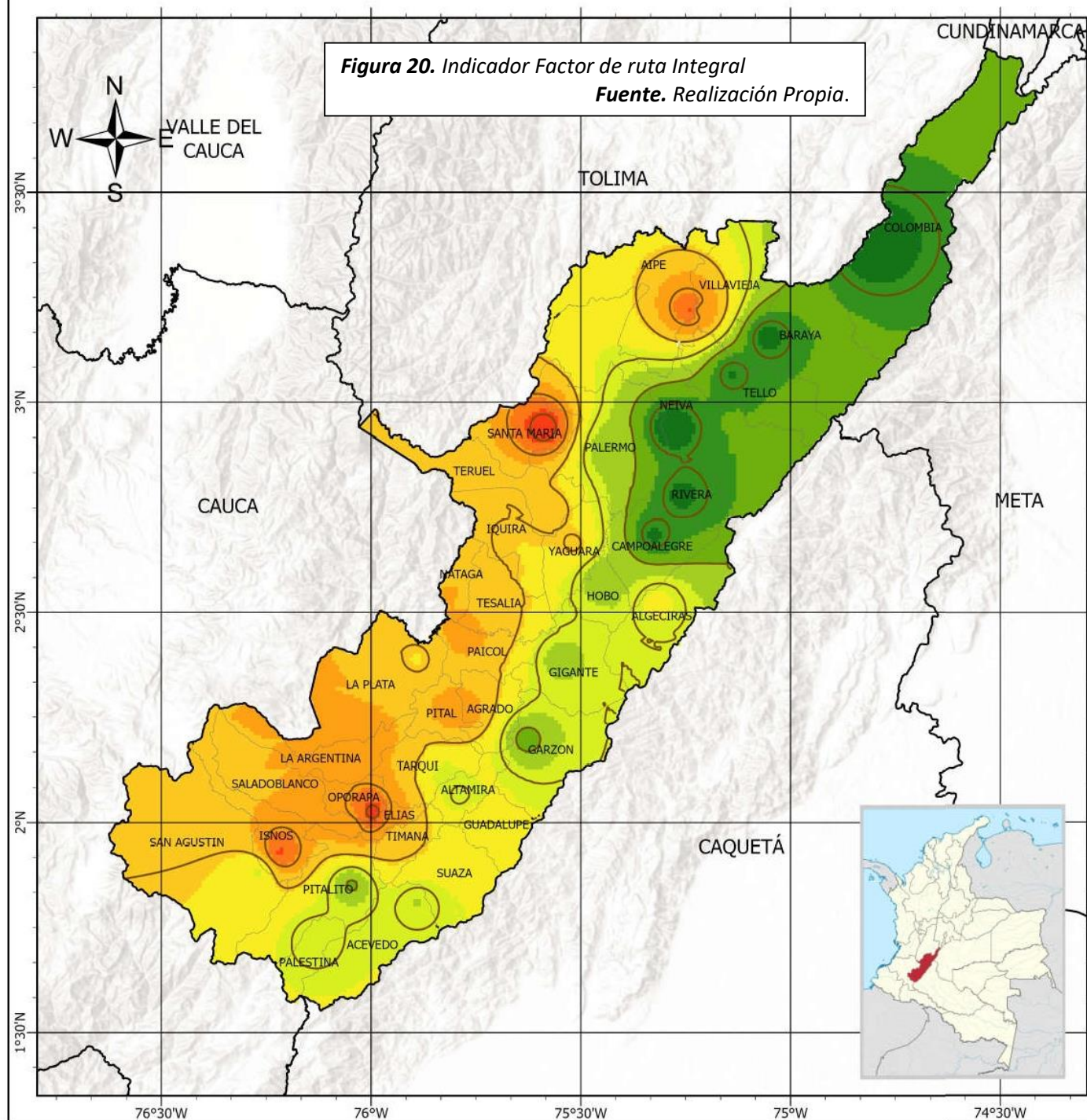
N	MUNICIPIO	FACTOR DE RUTA
1	NEIVA	1.3137
2	GIGANTE	1.5288
3	GUADALUPE	1.633
4	HOBO	1.5049
5	IQUIRA	1.6896
6	ISNOS	1.8837
7	LA ARGENTINA	1.7664
8	LA PLATA	1.6877
9	NATAGA	1.7542
10	OPORAPA	1.9359
11	PAICOL	1.793
12	PALERMO	1.5226
13	PALESTINA	1.5653
14	PITAL	1.7874
15	PITALITO	1.4886
16	RIVERA	1.3569
17	SALADOBLANCO	1.7874
18	SAN AGUSTIN	1.6228
19	SANTA MARIA	1.9405
20	SUAZA	1.6564

N	MUNICIPIO	FACTOR DE RUTA
21	TARQUI	1.6005
22	TESALIA	1.7481
23	TELLO	1.3746
24	TERUEL	1.7305
25	TIMANA	1.7143
26	VILLAVIEJA	1.7838
27	YAGUARA	1.7117
28	GARZON	1.4675
29	ELIAS	1.7958
30	COLOMBIA	1.3263
31	CAMPOALEGRE	1.3664
32	BARAYA	1.3567
33	ALTAMIRA	1.5754
34	ALGECIRAS	1.6517
35	AIPE	1.8816
36	AGRADO	1.786
37	ACEVEDO	1.5625

Tabla 9. Resultados Indicador Factor de ruta – Departamento del Huila

Fuente. Elaboración Propia

Figura 20. Indicador Factor de ruta Integral
Fuente. Realización Propia.



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACTOR DE RUTA

Valoración



□ Limite Departamental

— Líneas de Contorno Índice

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
 WKID 4326 Authority EPSG

Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
 Prime Meridian: Greenwich (0.0)
 Datum: D_WGS_1984
 Spheroid: WGS_1984
 Semimajor Axis: 6378137.0
 Semiminor Axis: 6356752.314245179
 Inverse Flattening: 298.257223563

ESCALA: 1: 1.500.000

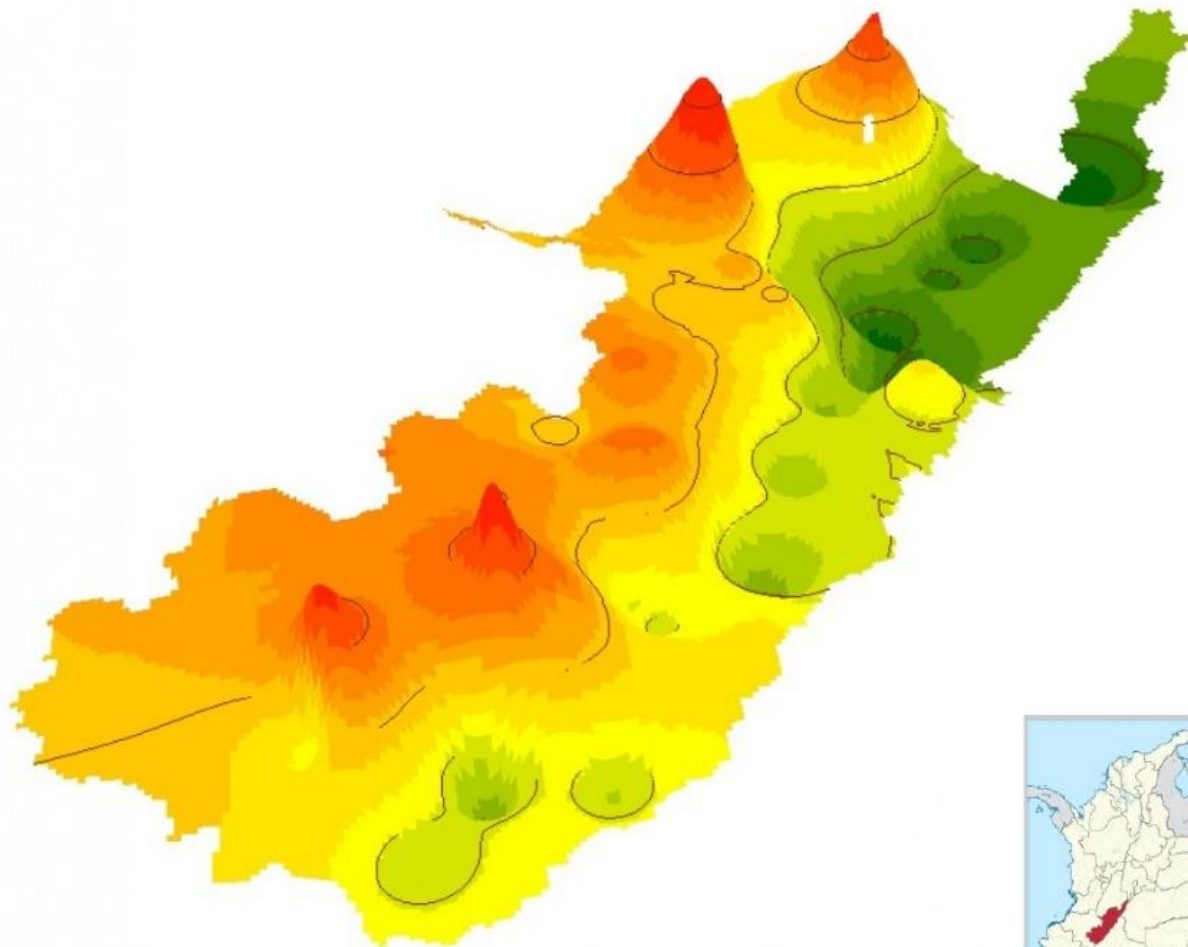


ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA



Figura 21. Indicador Factor de ruta Integral 3D
Fuente. Realización Propia.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACTOR DE RUTA

Valoración

1.314 - 1.377
1.377 - 1.439
1.439 - 1.502
1.502 - 1.565
1.565 - 1.627
1.627 - 1.689
1.689 - 1.752
1.752 - 1.815
1.815 - 1.877
1.877 - 1.940

— Líneas de Contorno Índice

SISTEMA DE COORDENADAS:

Geographic Coordinate System: WGS 1984
WKID 4326 Authority EPSG

Angular Unit: Degree (0.0174532925199433)
Prime Meridian: Greenwich (0.0)
Datum: D_WGS_1984
Spheroid: WGS_1984
Semimajor Axis: 6378137.0
Semiminor Axis: 6356752.314245179
Inverse Flattening: 298.257223563

ELABORADO POR:

DIEGO MAURICIO OCHOA

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede evidenciar que la zona Nor – Oriente es la que presenta los valores más bajos en este indicador, teniendo en cuenta que para este caso específico valores bajos se traduce en mejores condiciones de accesibilidad y valores altos condiciones desfavorables de acceso. La teoría nos dice que entre más rectilíneo sea el recorrido mejor accesibilidad, es decir valores cercanos a 1, por el contrario, si vemos que el recorrido es alejado a esta línea recta tendrá valores mayores a 1 y por lo tanto será más tortuosos o menos accesible. Al interpretar los mapas obtenidos se encontró que los Municipios que se encuentran en zonas montañosas son los que obtienen un factor de ruta más alto, cuyo trazado vial está dado por la topografía de la zona, lo cual nos permite indicar que estos Municipios son los que poseen menos accesibilidad. De igual forma mediante un análisis estadístico descriptivo **figura 22**, se pudo observar que los valores para este indicador oscilan entre 1.31 a 1.94 , donde de acuerdo a la categorización presentada en la **tabla 1** , la red vial se encuentra categorizada en red irregular y tortuosa, presentando un trazado vial curvo o complicado, lo que significa bajos niveles de accesibilidad para el Departamento.

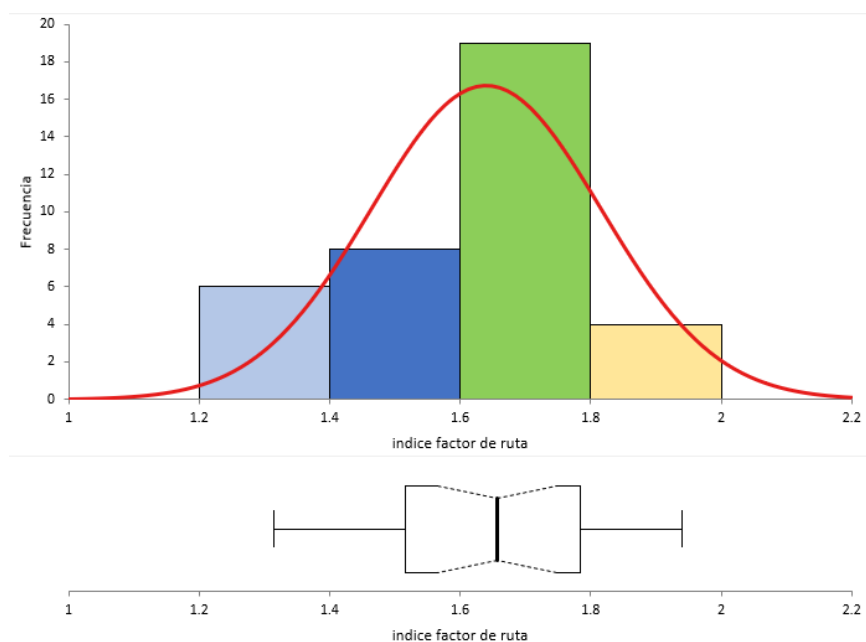


Figura 16. Diagrama de frecuencia, Indicador factor de ruta – Departamento del Huila

Fuente. Elaboración Propia

Se obtuvo una media de los datos de 1.64 , con el valor del primer cuartil de 1.52 , el tercer cuartil de 1.78 y una curtosis de -0.79 , donde se puede deducir que el 62% de los Municipios se encuentra por encima del valor medio, dando así una curtosis muy pronunciada con tendencia hacia la derecha de la media donde Municipios como Santa María, Oporapa, Isnos, Aipe, Elías, Paicol entre otros, son los que presentan mayor índice factor de ruta, de igual manera se tiene que el 38% de los municipios como Neiva, Colombia, Baraya, Rivera, Campoalegre, Garzón entre otros, son los municipios que se encuentran por debajo de la media presentando un mejor índice factor de ruta, lo que traduce que presentan una mayor calidad y eficiencia en el trazado de la red de infraestructura de transporte que el resto de los Municipios.

5.4. CORRELACIÓN DE VARIABLES

Se realizó un análisis estadístico espacial de las diferentes variables contempladas en este estudio como variables socioeconómicas y demográficas y los indicadores calculados permitiéndonos conocer su comportamiento, relación entre ellas desde el punto de vista estadístico, mediante métodos de correlación. La comparación entre las variables se realizó con todos los datos (37 por variable). En la **tabla 10** se muestran las correlaciones por rango de Spearman, donde el valor 1 nos muestra el nivel de correlación, el valor 2 el tamaño de la muestra y el valor 3 el valor p entre cada par de variables.

Correlación Ordinal de Spearman

	DENSIDAD	FACTOR_DE_RUTA	CONECTIVIDAD	POBLACIÓN	V_A_2018
DENSIDAD		0.0299	0.2752	0.2255	0.2416
		(37)	(37)	(37)	(37)
		0.8578	0.0987	0.1761	0.1472
FACTOR_DE_RUTA	0.0299		0.1341	0.3578	0.3606
	(37)		(37)	(37)	(37)
	0.8578		0.4212	0.0318	0.0305
CONECTIVIDAD	0.2752	0.1341		0.5401	0.3764
	(37)	(37)		(37)	(37)
	0.0987	0.4212		0.0012	0.0239
POBLACIÓN	0.2255	0.3578	0.5401		0.8696
	(37)	(37)	(37)		(37)
	0.1761	0.0318	0.0012		0.0000
V_A_2018	0.2416	0.3606	0.3764	0.8696	
	(37)	(37)	(37)	(37)	
	0.1472	0.0305	0.0239	0.0000	

Tabla 10. Correlación de variables – método de Spearman

Fuente. Elaboración Propia

El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a + 1 y miden la fuerza de la asociación entre ellas. El valor-P prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. De acuerdo a lo anterior se puede observar inicialmente para el indicador de Densidad, la relación que se presenta con mayor fuerza es con el indicador conectividad, seguidamente con Valor agregado, población municipal y factor de ruta, obteniendo correlaciones positivas débiles. se entiende que entre mayor densidad vial en el Municipio, se tiene mayor número de enlaces, pero esto no es tan concluyente ya que es una correlación débil del 27%. Por otro lado el indicador factor de ruta la relación que presenta con mayor fuerza es con el Valor agregado, seguido por la población, conectividad y el indicador de Densidad presentando correlaciones positivas. Con este análisis se entiende que a mayor calidad y eficiencia de la red, se tiene un mayor valor agregado Municipal al tener una correlación del 36%. Con respecto al indicador de conectividad encontramos una de las correlaciones más fuertes y de significancia con la variable población con un 54%, entendiéndose que los Municipios que cuentan con mayor de población, cuentan con mayor número de conexiones de red, representadas en entradas y salidas para el Municipio. Cabe destacar la correlación más fuerte y con mayor significancia está dada por la población y valor agregado con un 86. Se puede observar que las correlaciones obtenidas entre las diferentes variables son positivas, no hay presencia de correlaciones negativas o inversamente proporcionales.

6. EJEMPLO PRÁCTICO INDICADORES CALCULADOS EN LA TOMA DE DECISIONES

Como se mencionó anteriormente el indicador de factor de ruta mide la calidad y eficiencia del trazado de la red de infraestructura de transporte. Mediante este indicador fue posible determinar los Municipios que cuentan con ventajas y desventajas referente a la accesibilidad espacial geográfica, insumo para los planificadores del territorio y encargados de la toma de decisiones para el mejoramiento de la red existente mediante la implementación de nuevos proyectos de infraestructura. El resultado del indicador nos muestra que cuando los valores son mayores a 2 corresponde de acuerdo a su clasificación

a una red tortuosa, lo que se traduce en un trazado caracterizado por la presencia de curvas, distinto a parecerse a una línea recta, considerada como la ideal. Se debe tener en cuenta que entre más tortuoso es el trazado entre dos nodos, mayores son los tiempos de viaje que se deben recorrer, existiendo limitaciones de velocidad de acuerdo al tipo de curva, entre más cerrada sea se tienen menores velocidades. Se puede identificar una relación directa entre un trazado tortuoso con mayores distancias y tiempos a recorrer (bajas velocidades – curvas pronunciadas).

Es importante que un planificador tenga en cuenta que una red tortuosa de acuerdo a (Verjan, 2015) corresponde a zona de montaña, que de acuerdo al Manual de diseño geométrico de vías (Invias, 2018) para la implementación de proyectos de infraestructura en estas zonas, se debe tener en cuenta que se encuentran caracterizadas por tener pendientes transversales al eje de la vía entre trece y cuarenta grados (13° - 40°). Generalmente requiere grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presenta dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre seis y ocho por ciento (6% - 8%). Conceptualmente, este tipo de carreteras se definen como la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas en rampa durante distancias considerables y en oportunidades frecuentes.

Los resultados de este indicador, ayudan a los planificadores a identificar los Municipios que cuentan con mayores desventajas en cuanto a la calidad del trazado de la red y puedan proponer un rediseño del trazado existente o construcción de nuevos tramos con la intención de disminuir los valores del indicador y con ello mejorar las condiciones de

acceso. Podemos mencionar varios ejemplos con los que se podría mejorar este indicador como: la adquisición de nuevos predios que permitan mejorar el trazado o poder construir nuevos tramos de la red para la conexión entre nodos, también la construcción de viaductos, puentes y túneles.

Es muy Importante tener en cuenta que la construcción de nuevas carreteras bien sea primarias o secundarias obedece a la necesidad de complementar la malla vial existente para disminuir costos de transporte, la cual requiere una inversión importante, por las altas especificaciones geométricas necesarias para ofrecer el adecuado nivel de servicio al tránsito que haría uso de dicha carretera. La construcción de carreteras terciarias pretende básicamente desarrollar zonas potencialmente productivas u ofrecer posibilidades de bienestar a núcleos de población atrasados por la carencia de una vía de comunicación terrestre.

Es indispensable que la decisión de construir nuevos tramos de red sea tomada con cautela, razón por la cuál es de vital importancia considerar este tipo de indicadores antes de tomar la decisión. Cabe destacar que el indicador muestra al tomador de decisiones un diagnóstico del estado actual de la red de infraestructura de transporte, identificando que Municipios se deben intervenir, más no el método de intervención.

Para determinar cuál alternativa de mejoramiento escoger, se debe realizar un análisis mucho más riguroso, analizando tramos o secciones puntuales del trazado existente en los Municipios con bajas condiciones de acceso. Tomando como ejemplo los resultados obtenidos dentro de esta investigación para este indicador, los Municipios que cuentan con

los valores más altos (baja accesibilidad) son Santa María, Oporapa, Isnos, Aipe, Elías, Paicol, Salado Blanco, Pital, Agrado, los cuales se muestran en la **figura 17**.

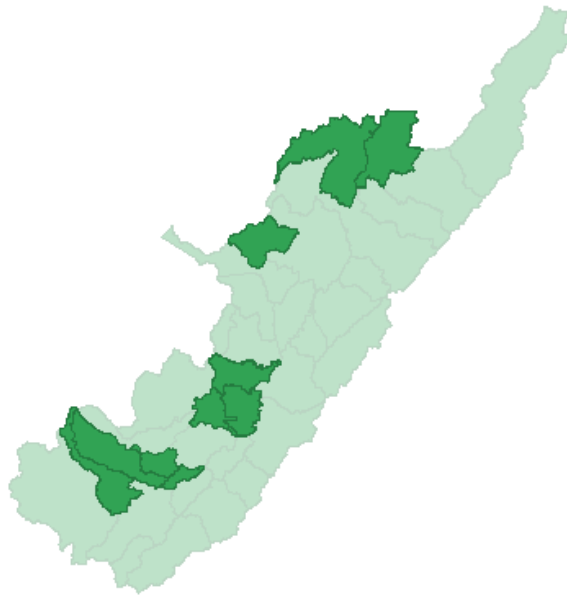


Figura 17. Municipios con los más bajos niveles de accesibilidad indicador factor de ruta.

Fuente: Realización Propia

La gran irregularidad topográfica del Departamento, hace necesaria la implementación de nuevos proyectos constructivos como puentes y viaductos. Por lo general, el término puente se utiliza para describir a las estructuras viales, con trazado por encima de la superficie, que permiten vencer obstáculos naturales como ríos, quebradas, hondonadas, canales, entrantes de mar, estrechos de mar, lagos, etc. Un viaducto generalmente se refiere a puentes largos o series de puentes conectados entre sí por estructuras de puentes en arco que llevan una carretera a través de un valle o un desfiladero. Para determinar si es posible la implementación de una obra de arte de esta magnitud, es importante también contar con información de modelos digitales de elevación de los sitios identificados con bajas condiciones de acceso.

Por otro lado el indicador de densidad nos muestra un diagnóstico del desarrollo de la configuración vial existente en el Departamento, relacionado con las formas y los niveles de calidad de vida de la población en los Municipios, lo que se asocia a su vez con los diferentes usos del suelo, en la medida que la red vial se constituye en un medio económico de comunicación y de circulación de mercancías, personas, servicios e información que sirven como parámetros para la toma de decisión de inversión. Para los planificadores y encargados de la toma de decisiones implementar este tipo de indicadores es muy importante para el análisis, planificación y organización de un territorio, ya que las redes de transporte constituye el elemento articulador, integrador y estructurante dentro de una región. En esta dirección, el cálculo del indicador aporta información para identificar desarmonías en los niveles de accesibilidad y movilidad. Mediante este indicador se identificaron cuáles son los municipios que cuentan con menor densidad vial siendo Iquirá, Saladoblanco, Teruel, San Agustín, Colombia, La Argentina, Baraya, Elías, Tesalia los que cuentan con bajos niveles de accesibilidad y necesitan intervención **figura 18**.

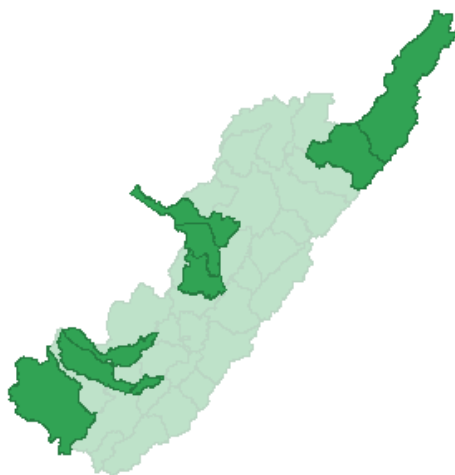


Figura 18. Municipios con los más bajos niveles de accesibilidad indicador de densidad.

Cabe mencionar que para un planificador o encargado de tomar decisiones, resulta muy enriquecedor poder realizar comparaciones, como por ejemplo la comparación de la densidad vial con aquellos indicadores que revelan el estado y la dinámica de los recursos naturales renovables y el medio ambiente, eventualmente permitiría evidenciar la existencia de correspondencias, que a su vez sirvieran de soporte para la formulación de políticas y medidas de acción encaminadas al desarrollo sostenible.

Con respecto a la conectividad vial, este es un indicador que permite identificar que tan fácil es realizar la entrada o salida de una determinada zona, siendo un indicador bastante útil para los planificadores del territorio, para saber cuáles zonas cuentan con mayores dificultades de acceso que en algunos casos debido a su topografía es difícil tomar medidas correctivas. Se identificaron de igual manera los municipios que presentan bajas condiciones de acceso los cuales son: Oporapa, Palermo, Yaguara, Colombia, Baraya, los cuales se muestran en la **figura 19**.

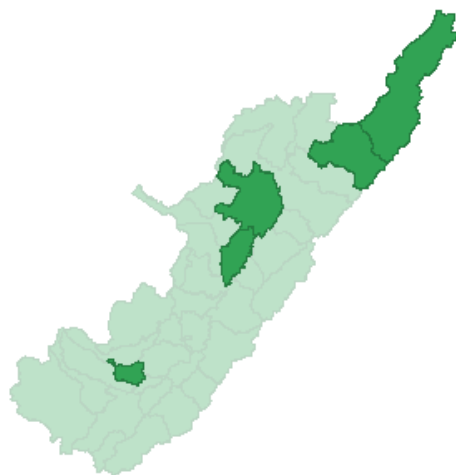


Figura 19. Municipios con los más bajos niveles de accesibilidad indicador de densidad.

Con toda esta información los encargados de toma de decisiones tienen 3 insumos de diagnóstico de la línea base, que corresponden a la red de infraestructura de transporte existente desde tres perspectivas diferentes, la conectividad, el desarrollo de la configuración de la red y la calidad y eficiencia del trazado de red, con el objeto de poder proponer proyectos en estas zonas en desventaja frente a las otras o jerarquizar zonas de intervención. Para un análisis más detallado el planificador podría realizar un análisis mediante cruces de variables, por ejemplo identificar los Municipios que cuentan con un bajo desarrollo de infraestructura de transporte y un trazado de red deficiente, esto mediante un análisis de distribución normal estandarizada de variables. En el caso de esta investigación los Municipios que cuentan con estas características son: Iquira, Salado blanco, Teruel, La Argentina, Elías, Tesalia, Algeciras, Suaza, Santa Maria, Oporapa, Yaguará, Los cuales se muestran en la **figura 20**.

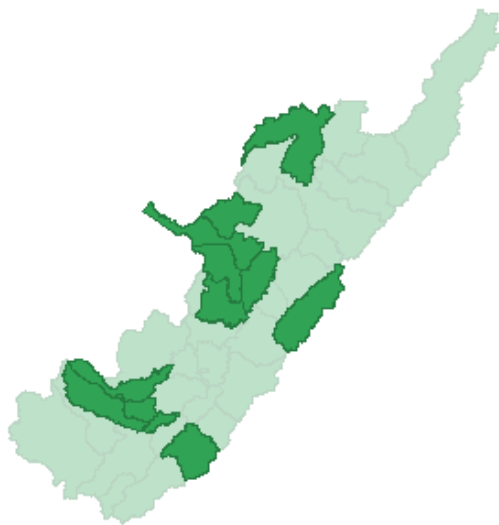


Figura 20. Municipios con bajo desarrollo de infraestructura de transporte y baja calidad del trazado de la red.

PROPUESTA DE ALTERNATIVA SOSTENIBLE

Teniendo en cuenta que todo proyecto público – privado, actualmente debe integrar criterios de sostenibilidad y sobre todo que ser respetuosos con el medio ambiente, se propone a continuación la alternativa para tener en cuenta en este tipo de estudios.

Gestión y planificación para la construcción de nuevos segmentos de red (vías sostenibles)

Después de la evaluación de los diferentes niveles de accesibilidad a nivel Municipal, es conveniente identificar aquellos municipios que cuentan con desventajas a comparación con los demás, específicamente desventajas en el desarrollo de la infraestructura de transporte, para poder planificar y gestionar proyectos constructivos de vías sostenibles de inversión pública. De acuerdo a (Jaramillo, 2022), las vías sostenibles hacen un uso eficiente de los recursos naturales y respetan el medio ambiente durante todo su ciclo de vida, también mejoran el servicio de transporte para las comunidades y entregan un servicio a la sociedad en términos de movilidad, seguridad y confort mediante la elección juiciosa de materiales y métodos de diseño, construcción, mantenimiento y demolición. El pavimento en concreto es una alternativa sostenible desde tres perspectivas: económica, referente a que los costos iniciales de construcción de una vía en concreto no superan los costos iniciales de construcción con materiales asfálticos tradicionales.

Económicamente es sostenible porque en el largo plazo los pavimentos de concreto son más durables y generan menores requerimientos de mantenimiento, que de acuerdo a estudios de análisis de ciclo financiero completo de la obra, el valor presente neto de las vías de concreto es un 30 o un 40% más económico y desde el aspecto ambiental una estructura de concreto tiene entre 30 y 40 por ciento menos de grosor eso implica que los movimientos de tierra sean menores, por tanto menor el consumo de recursos naturales.

Esta alternativa no se refiere a cualquier tipo de concreto, si no al concreto sustentable que es aquel constituido por agregados de materiales reciclados, en sustitución parcial o total de los naturales, es decir, agregados procedentes de residuos o de

demoliciones que se someten a procesos de cribado, triturado y tratamiento para formar parte del nuevo concreto.

7. CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo de este estudio fue posible evaluar espacialmente los niveles de accesibilidad vial que presenta el Departamento del Huila, teniendo en cuenta la infraestructura de transporte existente. Los indicadores calculados y modelados cartográficamente hicieron posible identificar las zonas que presentan mejores y peores condiciones de acceso, mediante el análisis de densidad vial, donde se relaciona el kilometraje de la red y el área de cada uno de los Municipios. Así mismo se evaluó la conectividad vial de cada uno de los Municipios a partir de los enlaces existentes y finalmente la evaluación de la calidad y eficiencia del trazado de la red. La metodología empleada en este estudio, que va desde la selección de la información, así como los indicadores de accesibilidad, permitió dar cumplimiento satisfactoriamente a los objetivos planteados. Sin embargo, la literatura en este campo es amplia y se pueden desarrollar investigaciones relacionadas con otro tipo de variables e indicadores.

Cabe destacar que el análisis de varias medidas o indicadores, nos ayudan a comprender desde varias perspectivas la situación actual, referente a los niveles de accesibilidad del Departamento, por ejemplo si solamente se usara el indicador de conectividad, esta medida solamente mide la cantidad de conexiones del Municipio, donde no se tiene en cuenta el estado de la red, ni la calidad y eficiencia que tienen en cuenta otro tipo de indicadores.

El análisis de los indicadores de accesibilidad resulta ser una herramienta útil para medir las ventajas y desventajas que presenta la población de determinada zona de análisis en cuanto al desarrollo y calidad de la infraestructura de transporte, siendo una herramienta importante para la planificación, priorización y gestión de proyectos, siendo un instrumento para la organización, planeación y desarrollo de mejoras en pro del desarrollo de las regiones. Cabe destacar que mediante este tipo de estudios las entidades encargadas de generar políticas y planificar proyectos a nivel Departamental, dispondrán

de una herramienta que les permita identificar las zonas con menores y mayores posibilidades de movilidad.

Por otro lado al implementar y relacionar los indicadores mencionados, el planificador tiene en sus manos una potente herramienta para la toma de decisiones, que aporta a la jerarquización y priorización de proyectos de infraestructura, enfocado en los Municipios que cuentan con desventajas o bajas condiciones de accesibilidad desde diferentes puntos de vista como el desarrollo de la estructura de la red de transporte, la calidad del trazado y conectividad, que combinados nos muestran un diagnóstico robusto y detallado de la línea base o condiciones de la red de transporte existente. Así mismo es posible evaluar nuevos escenarios con la implementación de nuevos diseños en tramos o secciones específicas y ser validados con los indicadores, con el fin de establecer si efectivamente se pueden observar mejoras referente a la accesibilidad geográfica.

8.BIBLIOGRAFIA

- Arellano, F. M. H. (1970). El Concepto de Distancia y su Aplicación en Estadística Multivariada. *Amai, June*.
- Baradaran, S., & Ramjerdi, F. (2001). Performance of Accessibility Measures in Europe. *Journal of Transportation and Statistics*, 4(3), 31–48.
https://scholar.google.com.co/scholar?q=Performance+of+Accessibility+Measures+in+Europe+SIAMAK+BARADARAN+FARIDEH+RAMJERDI+Royal+Institute+of+Technology+ABSTRACT&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar
- Beltrán, M. V. (2019). Unidades De Tierras Departamento Del Huila. *Piso 1 Sec.Agricultura@huila.Gov.Co Teléfono, 8, 8671368*.
- Bono, L. M. (2014). *Los Proyectos de Infraestructura en la Región Sudamericana* [Universidad Nacional de la plata].
https://www.iri.edu.ar/images/Documentos/maestria/tesis/tesis_bono.pdf
- Cubukcu, K. M. (2021). Using circuitry as a network efficiency measure: the example of Paris. *Spatial Information Research*, 29(2), 163–172. <https://doi.org/10.1007/s41324-020-00342-w>
- Curtis, C., & Scheurer, J. (2010). Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. *Progress in Planning*, 74(2), 53–106.
<https://doi.org/10.1016/j.progress.2010.05.001>
- Esri. (2016). *La topología en ArcGIS— ArcGIS for Desktop*.
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/topologies/topology-in-arcgis.htm>
- ESRI. (2020a). *¿Qué es la geocodificación?*
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/geocoding/what-is-geocoding.htm#GUID-0686F98D-83EB-4083-8685-42F01E9A8B28>
- ESRI. (2020b). *Almacenamiento de geodatabase en bases de datos relacionales*.
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/gdb-architecture/geodatabase-storage-in-relational-databases.htm>
- 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>
- Gob.Huila. (2019). *Estructura Sociopolítico Administrativa Departamento del Huila*.
<https://www.huila.gov.co/loader.php?Servicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=36051>

- Gobernación_Huila. (2020). *PROYECTO PLAN DE DESARROLLO HUILA CRECE 2020- 2023*.
<https://www.huila.gov.co/documentos/1336/plan-de-desarrollo-2020-2023/>
- Gobernación.Huila. (2017). *Infraestructura vial*. <https://www.huila.gov.co/vias-e-infraestructura/publicaciones/6169/infraestructura-vial/>
- Gómez, E. L., & Parras, M. A. (2009). Teoría De Grafos Y Sistemas De Información Geográfica Aplicados Al Transporte Público De Pasajeros En Resistencia (Argentina). *Revista Transporte y Territorio*, 0(1), 89-111–111. <https://doi.org/10.34096/rtt.i1.223>
- Hare, T. S., & Barcus, H. R. (2007). Geographical accessibility and Kentucky's heart-related hospital services. *Applied Geography*, 27(3–4), 181–205.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.004>
- IGAC. (2016). *Cartografía básica de colombia*.
- IGAC. (2021). *SIG-OT 2018*. <http://sigotvg.igac.gov.co:8080/>
- Invias. (2018). *Manual de diseño Geométrico de Vías - Capitulo 1*.
<https://doi.org/10.2307/j.ctv1rcf0pn.11>
- Izquierdo, R. (1994). *Transportes un enfoque integral*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Año de publicación: 1994.
https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=21788212660&cm_sp=rec_-_pd_hw_i_1_-_bdp&reftag=pd_hw_i_1
- Muñoz, A. F., Escobar, D. A., & Arias, J. T. (2016). Análisis de accesibilidad territorial a nivel regional e impacto de las concesiones 4G. Proyecto autopistas para la prosperidad Pacífico 1, 2 y 3. *Espacios*, 37(31).
- OGC. (2021). *The Home of Location Technology Innovation and Collaboration | OGC*.
<https://www.ogc.org/>
- OsGeoLive. (2019). *OpenStreetMap — OSGeoLive 14.0 Documentation*.
https://live.osgeo.org/es/overview/osm_dataset_overview.html
- OSM. (2022). *open street maps*.
<https://www.google.com/search?q=open+street+maps&oq=open+estret&aqs=chrome.1.69i57j0i13i433j0i13l8.5008j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Pacheco Gago, J. A. (2003). *Evolución de indicadores asociados a la medición de la conectividad y utilidad de las redes de transporte*.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6345>
- Paredes, C. U., Salinas, W., Martinez, X., & Jiménez, S. (2013). Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación Evaluation and comparison of deterministic and

probabilistic interpolation methods for digital elevation model generation. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía UNAM*, 82(82), 118–130.
<https://doi.org/10.14350/rig.35906>

República, B. de la. (2021). *La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia 05 de octubre - Banco de la República (banco central de Colombia)*.
<https://www.banrep.gov.co/es/contenidos/publicacion/infraestructura-del-transporte-vial-y-movilizacion-carga-colombia-05-octubre>

Rodrigue, J. P. U., Comtois, C. of M., & Slack, B. U. (2006). *the geography of transport systems*.

Rodriguez, D., García, C., & Jaramillo, C. (2018). La accesibilidad terrestre a los puertos marítimos de Colombia. Una aproximación desde la equidad territorial. *Entorno Geográfico*, 15, 8–46.

Verjan, C. (2015). *ACCESIBILIDAD A LA FUTURA CIUDAD ADMINISTRATIVA DE DJIBLOHO A TRAVÉS DE LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO DE GUINEA ECUATORIAL - ÁFRICA CENTRAL*. UNIVERSIDAD DEL VALLE.

Yepes, T., Ospina, G., Aguilar, J., Calderon, L., Concha, T., Junca, J., & Martínez, S. (2013). Indicadores del sector transporte en Colombia. *FEDESARROLLO Centro de Investigación Económica y Social*, 26(4), 1–37. <https://bit.ly/31Lr8Jn>

Zuluaga, J. D., & Escobar, D. A. (2017). Análisis de accesibilidad territorial de la región noroccidente de Colombia. *Espacios*, 38(6).