



**ALGORITMO DE ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA URBANA PARA  
IMPLEMENTACIÓN EFICIENTE DE RED DE FIBRA ÓPTICA EN EL  
MUNICIPIO DE BARBOSA, SANTANDER BASADO EN UNIDADES  
HABITACIONALES**

**ALEX STEWARD CAMELO ROJAS**

Código: 11792224737

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ, D. C.**

**2023**

**ALGORITMO DE ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA URBANA PARA  
IMPLEMENTACIÓN EFICIENTE DE RED DE FIBRA ÓPTICA EN EL  
MUNICIPIO DE BARBOSA, SANTANDER BASADO EN UNIDADES  
HABITACIONALES**

**ALEX STEWARD CAMELO ROJAS**

Código: 11792224737

Trabajo de grado para optar al título de  
**Especialista en Sistemas de Información Geográfica**

Director

MSc. WILMAR JAIR GÓMEZ RÍOS

Ingeniero civil

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y CIVIL  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ, D. C.

2023

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, 03 junio de 2023

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a todas las personas que fueron partícipes en mi formación, principalmente:

A Dios, por permitirme culminar esta etapa de mi vida profesional.

A mi madre Nilse Rojas Villamil, a mis hermanos Arley Steven y Laura Camelo, quienes me han brindado su aliento y respaldo en todo momento.

A mi esposa, Lina María Güiza Riaño, por su comprensión y amor.

*Dedico especialmente este trabajo a mi tío Pedro A. Rojas por su apoyo incondicional,  
a mi nonita Blanca Villamil, por ser mi ejemplo a seguir y finalmente,  
a Gabriel Fernando Araque, por ser mi mayor motivación.*

Alex Steward Camelo Rojas

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3. JUSTIFICACIÓN .....	3
4. OBJETIVOS .....	4
4.1. GENERAL.....	4
4.2. ESPECÍFICOS.....	4
5. MARCO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE.....	5
5.1. MARCO HISTÓRICO .....	5
5.1.1. Las telecomunicaciones en Colombia. ....	5
5.1.2. Desarrollo de las redes de fibra óptica.....	6
5.2. MARCO TEÓRICO Y/O CONCEPTUAL .....	7
5.2.1. Sistemas de Información Geográfica.....	7
5.2.2. Cartografía Básica Digital.....	7
5.2.3. Catastro Multipropósito .....	8
5.2.4. Algoritmos de clustering.....	9
5.2.5. Fibra óptica (FTTH) y diseño de Redes. ....	12
5.3. MARCO GEOGRÁFICO.....	16
5.3.1. Ubicación. ....	16
5.3.2. Relieve. ....	17
5.3.3. Clima.....	18
5.3.4. Demografía.....	18
5.3.5. Economía. ....	20
5.4. MARCO LEGAL .....	21
5.5. ESTADO DEL ARTE .....	22

6. METODOLOGÍA.....	28
6.1. REVISIÓN DE LITERATURA .....	28
6.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL.....	29
6.2.1. Predios. ....	29
6.2.2. Malla vial. ....	30
6.2.3. Unidades habitacionales. ....	31
6.2.4. Vías principales.....	32
6.2.5. Hidrografía.....	33
6.3. IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS DE GEOZONIFICACIÓN .....	34
6.3.1. Densidad de Unidades habitacionales. ....	34
6.3.2. Barreras Naturales y vías principales. ....	35
6.4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL ALGORITMO DE ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA URBANA .....	36
6.4.1. Herramientas SIG para Análisis Geoespacial. ....	36
6.4.2. Creación y diseño. ....	37
6.4.3. Ejecución.....	42
6.4.4. Documentación.....	44
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	45
7.1. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO DE ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA URBANA .....	49
7.2. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO EN LA PLANIFICACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA .....	50
8. CONCLUSIONES .....	52
9. RECOMENDACIONES .....	53
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ejemplo de despliegue de PON.....	10
Ilustración 2. Agrupamientos de K-means.....	11
Ilustración 3. Componentes de una fibra óptica .....	12
Ilustración 4. Estructura de la Red FTTH .....	13
Ilustración 5. Agrupación y conexión de puntos .....	15
Ilustración 6. Puntos de demanda Clasificados .....	15
Ilustración 7. Posición geográfica, Barbosa, Santander.....	16
Ilustración 8. Mapa topográfico, Barbosa, Santander.....	17
Ilustración 9. Clasificación climática, Departamento de Santander .....	18
Ilustración 10. Población desagregada por área .....	19
Ilustración 11. Sector Agro, Barbosa, Santander .....	20
Ilustración 12. Algoritmo basado en clustering k-means.....	22
Ilustración 13. Diagrama esquemático de la red AMI .....	23
Ilustración 14. Planificación de redes de fibra óptica.....	25
Ilustración 15. Arquitectura de red de acceso GPON FTTH .....	27
Ilustración 16. Predios de Barbosa, Santander .....	29
Ilustración 17. Malla vial de Barbosa, Santander .....	30
Ilustración 18. Unidades Habitacionales de Barbosa, Santander .....	31
Ilustración 19. Vías principales de Barbosa, Santander.....	32
Ilustración 20. Hidrografía en Barbosa, Santander.....	33
Ilustración 21. Unidades habitacionales en Barbosa, Santander .....	34
Ilustración 22. Información cartográfica para criterios de geozonificación .....	35
Ilustración 23. Imagen ArcGIS Pro .....	36
Ilustración 24. Declaración de Variables en Python (ArcGIS Pro).....	37
Ilustración 25. Funcion Feature to Polygon .....	38
Ilustración 26. Resultado Obtenido FeatureToPolygon.....	38
Ilustración 27. Funciones de código Python para Algoritmo.....	39
Ilustración 28. Resultado Obtenidode Dissolve .....	39

Ilustración 29. Cluster por polígonos.....	40
Ilustración 30. Sectorización por Barreras naturales y vías principales .....	41
Ilustración 31. Funciones de código Python para Algoritmo Clustering.....	42
Ilustración 32. Interfaz gráfica del Script.....	43
Ilustración 33. Geo-zonas Obtenidas .....	45
Ilustración 34. Cantidad de Unidades Habitacionales por geo-zona .....	46
Ilustración 35. Distribución de Unidades Habitacionales por Geo-Zona .....	48
Ilustración 36. Unidades Habitacionales por Geo-Zona .....	49
Ilustración 37. Implementación de Geo-Zona para Red hasta el Hogar (FTTH).....	50

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Cartografía Básica Digital .....	8
Tabla 2. Información general de Barbosa, Santander .....	19
Tabla 3. Normas y documentos de referencia del PETI .....	21
Tabla 4. Normativa ICONTEC.....	21
Tabla 5. Variables de Entrada .....	37
Tabla 6. Variables de Salida.....	37
Tabla 7. Documentación de Algoritmo.....	44
Tabla 8. Atributos de Geo-Zonas .....	47

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**ALGORITMO:** Conjunto de instrucciones que se utilizan para resolver un problema o realizar una tarea específica.

**ANÁLISIS ESPACIAL:** Técnica que permite analizar y entender la distribución de fenómenos geográficos en el espacio.

**ANÁLISIS MULTICRITERIO:** Técnica que permite tomar decisiones a partir del análisis de múltiples criterios o factores.

**ARCPY:** Módulo de Python que permite trabajar con datos geoespaciales, específicamente con la herramienta ArcGIS de Esri.

**CARTOGRAFÍA:** Técnica que se encarga de la elaboración de mapas, planos y otros tipos de representaciones gráficas de la superficie terrestre o de otros objetos y fenómenos geográficos.

**CLUSTERING:** Técnica de análisis de datos que se utiliza para identificar patrones y estructuras en grandes conjuntos de datos. Consiste en agrupar objetos similares en conjuntos llamados clusters, de tal manera que los objetos dentro de un mismo cluster sean más similares entre sí que con los objetos de otros clusters.

**FTTH:** Siglas en inglés de "Fiber To The Home", que significa "Fibra Óptica hasta el hogar". Es una tecnología de telecomunicaciones que permite llevar una conexión de Internet de alta velocidad mediante fibra óptica hasta la casa de los usuarios.

**GEORREFERENCIACIÓN:** Técnica que consiste en asignar coordenadas geográficas (latitud y longitud) a objetos, lugares o eventos en la Tierra.

**K-MEANS:** Algoritmo de clustering que agrupa los objetos en k clusters basados en la similitud de sus características.

**PYTHON:** Lenguaje de programación de alto nivel utilizado en la gestión y análisis de datos geoespaciales mediante herramientas como ArcPy.

**RED DE ACCESO:** Parte de la red de telecomunicaciones que conecta el usuario final con la central telefónica o nodo de red.

**SIG (Sistema de Información Geográfica):** Conjunto de herramientas que permiten gestionar, analizar y visualizar información geográfica.

**UNIDAD HABITACIONAL:** Es un espacio diseñado y construido para ser habitado por una o varias personas. Pueden variar en tamaño y características, como casas, departamentos, condominios, albergues, entre otros.

**VECTORIAL:** Formato de archivo que representa la información geográfica mediante la geometría de puntos, líneas y polígonos.

**ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA:** Técnica que divide el territorio en zonas geográficas para una mejor gestión y análisis de la información.

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

CNT: Comisión Nacional de Telecomunicaciones

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

FTTH: Fiber To The Home - Fibra Óptica Hasta el Hogar

GA: Algoritmo Genético

GIS: Geographic Information System (Sistemas de Información Geográfica)

GPON: Gigabit-capable Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva Gigabit-capable)

IDE: Infraestructura de Datos Espaciales

IDW: Inverse Distance Weighting

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

KPI: Key Performance Indicator (Indicador Clave de Rendimiento)

NITS: Número de Identificación Tributaria

MinTIC: Ministerio de las Tecnologías de la información y las Comunicaciones

OGC: Open Geospatial Consortium

ONU: Optical Network Unit (Unidad Óptica de Red)

OLT: Optical Line Termina (Terminal Óptica de Línea)

PNFO: Proyecto Nacional de Fibra Óptica

PON: Passive Optical Network (Red Óptica Pasiva)

RENURE: Registro Único Nacional de Catastro

SIGOT: Sistema de Información Geográfica de Ordenamiento Territorial

SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas

SNIT: Sistema Nacional de Información Territorial

WGS 84: World Geodetic System 1984

## RESUMEN

En este trabajo se propuso una metodología basada en algoritmos de clustering para crear una zonificación geográfica urbana en el municipio de Barbosa, Santander, con el objetivo de implementar de manera eficiente una red de fibra óptica. Se enfocó en las unidades habitacionales, barreras naturales y las vías principales del municipio, y se utilizó un diseño de investigación cuasi-experimental en dos grupos, control e intervención. Se recopiló información a través de cartografía básica urbana y una base de datos con las unidades habitacionales del municipio. Esta metodología constó de seis fases, desde la recolección de información hasta la definición de las zonas de intervención.

Como resultado se crearon y diseñaron 18 geo-zonas homogéneamente distribuidas en el municipio, respetando las variables independientes establecidas. Se espera que la optimización del diseño de las geo-zonas permita reducir el tiempo y los recursos necesarios para su implementación, así como aumentar la rentabilidad y la proximidad de las instalaciones de redes de fibra óptica FTTH mejorando así la calidad de los servicios de telecomunicaciones en las zonas urbanas.

### PALABRAS CLAVE:

Zonificación geográfica, cartografía urbana, clustering, red de fibra óptica, densidad poblacional, SIG, algoritmo, WGS 84, ArcPy, Barbosa, Santander, catastro multipropósito, tecnología FTTH, planificación de redes, Georreferenciación, Análisis espacial.

## **ABSTRACT**

In this study, a methodology based on clustering algorithms was proposed for urban geographic zoning in the municipality of Barbosa, Santander, with the aim of efficiently implementing a fiber optic network. It focused on residential units, natural barriers, and the main roads of the municipality, and used a quasi-experimental research design with two groups, control and intervention. Information was collected through basic urban cartography and a database of residential units in the municipality, and the methodology consisted of six phases, from data collection to defining the intervention zones.

As a result, 18 geo-zones were created and designed, homogeneously distributed in the municipality while respecting the established independent variables. It is expected that optimizing the design of the geo-zones will reduce the time and resources needed for implementation, as well as increase the profitability and proximity of FTTH installations in the municipality, improving the quality of telecommunication services in urban areas.

### **KEYWORDS:**

Geographic zoning, Urban cartography, Clustering, Fiber optic network, population density, algorithm , GIS, WGS 84, ArcPy, Barbosa, Santander, multipurpose cadastre, FTTH technology, network planning, georeferencing, spatial analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de aumentar la cobertura y mejorar las condiciones técnicas y económicas de los servicios de comunicación, el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, a través del Proyecto Nacional de Fibra Óptica, se enfocará en fomentar la expansión de la infraestructura de fibra óptica en todo el país. De esta manera, se pretende llegar a un mayor número de ciudadanos colombianos y ofrecerles servicios de mayor calidad (Valencia, 2015). En el municipio de Barbosa, Santander, se hace necesario la evaluación y estudio de factores geográficos, demográficos y económicos para implementación de redes de fibra óptica. La falta de información geográfica detallada y de una metodología adecuada para la planificación de la red de fibra óptica se convierte en un obstáculo para la implementación de dicha infraestructura. “Los nuevos implementadores de FTTH (Fibra óptica hasta el hogar) deben identificar los segmentos de mercado, los cuales puede ser residencial o empresarial”(Tafurt, 2013).

Por ello, cabe resaltar que se debe conocer los diferentes aspectos geográficos para obtener mejores y eficientes resultados, sean barreras naturales o vías principales del municipio. “Sin embargo, se ha prestado menor atención a los factores geográficos que explican el despliegue de redes basadas en fibra de muy alta calidad. El propósito de este documento es examinar estos efectos geográficos del despliegue de estas redes mediante la utilización de técnicas básicas de extracción de datos, junto con el análisis exploratorio de datos espaciales” (Sahebali et al., 2021) .

Este trabajo permite desarrollar un algoritmo que diseña una zonificación geográfica urbana para la implementación eficiente de redes FTTH basado en las unidades habitacionales y variables independientes como hidrografía y vías principales. El escenario utilizado para probar este algoritmo fue el municipio de Barbosa, Santander, abarcando un área de 25 km<sup>2</sup> aproximadamente y 13.614 unidades habitacionales donde se logra el diseño de 18 geo-zonas en el casco urbano del municipio.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la implementación de redes de fibra óptica para ofrecer servicios de alta velocidad a los usuarios es un aspecto fundamental en la planificación de infraestructuras en ciudades y zonas urbanas. Conforme evolucionan las necesidades de velocidad y capacidad de los usuarios, se vuelve imperativo el desarrollo de nuevas tecnologías de transmisión de datos que respalden la provisión de dichos servicios (Tafurt, 2013).

En los últimos años, el gobierno colombiano ha estado trabajando en la expansión de la infraestructura de fibra óptica en todo el país, incluyendo áreas rurales y pequeñas ciudades, para mejorar la conectividad y reducir la brecha digital. Según (Tafurt, 2013), en Colombia, la implementación de redes FTTH ha sido limitada, abarcando principalmente grandes y medianas empresas, y algunas pequeñas empresas, es por ello, que una implementación de red de fibra óptica eficiente, puede mejorar la calidad de vida cerca de los 22.506 ciudadanos que habitan en la zona urbana del municipio, y a su vez impulsa el desarrollo económico y social de la región al fomentar la creación de nuevas empresas y oportunidades de empleo en el municipio. Con base en estos referentes, el desarrollo de este proyecto de investigación está encaminado a dar respuesta a la pregunta planteada.

¿Cómo desarrollar un algoritmo de zonificación geográfica que optimice la implementación de redes de fibra óptica en el municipio de Barbosa, Santander, considerando unidades habitacionales, barreras naturales y vías principales?

### 3. JUSTIFICACIÓN

La zonificación geográfica urbana resulta ser una herramienta importante para la identificación de áreas con alta demanda y necesidad de servicio, y que al mismo tiempo permita una implementación eficiente y rentable de la red de fibra óptica. Según (Tafurt, 2013). "Las áreas urbanas que comprenden multifamiliares tienen un costo más bajo en el despliegue de red FTTH y una mayor cantidad de suscriptores potenciales." Por lo tanto, la zonificación geográfica puede ser útil para identificar estas áreas urbanas con multifamiliares y priorizar su implementación en el plan de despliegue de la red de fibra óptica.

La creación de geo-zonas en un diseño de red de fibra óptica es fundamental para una planificación efectiva y una asignación adecuada de recursos, ya que permite identificar áreas con alta demanda y posibles barreras naturales que podrían dificultar la instalación de la red FTTH. De acuerdo con (Gallardo et al., 2021), "se deben tener en cuenta muchas consideraciones al diseñar la red, como las limitaciones del terreno, las áreas densas y el difícil acceso para instalar los nodos". La implementación de geo-zonas mejora la eficiencia de la red y su capacidad de respuesta, permitiendo una mejor gestión de recursos y una mayor satisfacción del usuario final.

Este trabajo de grado es importante para mi formación profesional, ya que me permitió aplicar mis conocimientos en SIG en un proyecto real y adquirir nuevas habilidades en la recopilación y análisis de datos geoespaciales, generando impacto social en miles de personas que pueden mejorar su calidad de vida.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. GENERAL**

Crear un algoritmo de zonificación geográfica urbana basado en análisis espacial y SIG para facilitar la planificación del diseño de redes de fibra óptica en el municipio de Barbosa, Santander, considerando las unidades habitacionales, barreras naturales y vías principales en el área de estudio para el periodo 2023.

### **4.2. ESPECÍFICOS**

- Analizar información geoespacial sobre unidades habitacionales, barreras naturales y vías principales en el municipio de Barbosa, Santander, utilizando herramientas SIG.
- Diseñar un algoritmo de zonificación geográfica urbana basado en análisis geoespacial que integre los criterios identificados en el entorno urbano para optimizar la planificación y diseño de redes de fibra óptica.
- Evaluar la efectividad del algoritmo de zonificación geográfica propuesto mediante la aplicación de métricas espaciales cuantitativas y cualitativas a los resultados obtenidos y la distribución real de las unidades habitacionales en el municipio.

## **5. MARCO REFERENCIAL Y ESTADO DEL ARTE**

### **5.1. MARCO HISTÓRICO**

#### **5.1.1. Las telecomunicaciones en Colombia.**

La historia de las telecomunicaciones en Colombia ha sido larga y compleja, con muchos avances y retrocesos a lo largo del tiempo. En los últimos años, el sector de las telecomunicaciones ha enfrentado importantes desafíos debido al constante avance de las tecnologías de la información. (Montoya Isaza, Andrés; Olarte Cadavid, 2005). A partir de la década de 1990, Colombia inició un proceso de liberalización del mercado de las telecomunicaciones, que permitió la entrada de nuevos operadores y la expansión de los servicios de telecomunicaciones en todo el país. En 1994, se creó la Comisión Nacional de Telecomunicaciones como organismo regulador del sector (CNT, 2009).

En 2007, el sector de las telecomunicaciones experimentó un nuevo ciclo a nivel internacional, impulsado por la liberalización y privatización de los monopolios estatales en la década anterior, (Guerra de la Espriella y Oviedo, 2011). En la primera etapa, se promovió la introducción de tecnologías avanzadas y la mejora de la calidad de los servicios de telecomunicaciones en el país, como resultado de la apertura del mercado y la competencia entre operadores. En la segunda etapa, se produjo un rápido avance en las tecnologías de la información y la comunicación, lo que impulsó la creación de nuevos servicios y la transformación digital de la sociedad colombiana.

### 5.1.2. Desarrollo de las redes de fibra óptica.

En Colombia, el desarrollo de las redes de fibra óptica ha sido clave para la expansión y mejora de los servicios de telecomunicaciones en todo el país. A lo largo de su historia, Internet ha evolucionado desde sus inicios en los años 60 hasta convertirse en una adopción global en los 90 y una masificación de servicios en la actualidad. Esta evolución ha dado lugar a servicios innovadores de alta calidad, como HDTV y video bajo demanda. (Tafurt, 2013). En las últimas décadas, se ha producido una importante inversión en la construcción de redes de fibra óptica por parte de operadores de telecomunicaciones y empresas del sector público. De acuerdo a (Valencia, 2015) en la década de 1840, John Tyndall descubrió la capacidad de la luz para viajar dentro del agua mediante reflexión interna. Más tarde, en 1880, Alexander Graham Bell utilizó la luz como medio de transmisión y observó que las señales se debilitaban en la atmósfera debido a partículas de aire y vapor de agua.

En 2008, el Gobierno de Colombia lanzó el Proyecto Nacional de Fibra Óptica (PNFO), con el objetivo de construir una red de fibra óptica de alta velocidad que llegara a todas las regiones del país. El gobierno colombiano implementó el Proyecto Nacional de Fibra Óptica (PNFO) con el objetivo de brindar acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones en las zonas más alejadas del país. A lo largo de dos años, el PNFO benefició a 753 municipios en cuatro etapas de implementación. (González, 2018).

Este programa ha permitido la construcción de más de 30.000 kilómetros de redes de fibra óptica a nivel nacional, lo que ha mejorado significativamente la calidad y velocidad de los servicios de internet en todo el territorio.

## **5.2. MARCO TEÓRICO Y/O CONCEPTUAL**

### **5.2.1. Sistemas de Información Geográfica.**

De acuerdo con (Tomlinson, 2018), los SIG (Sistemas de Información Geográfica) son una tecnología versátil que encuentra aplicaciones en diversos campos industriales y académicos. Debido a su amplio alcance, es difícil definirlo de manera simplista, sin embargo, es fundamental contar con una comprensión común al referirnos a un SIG. Una definición simple no basta para abarcar su complejidad y potencial.

La implementación de un catálogo de objetos geográficos en un proyecto de SIG puede tener múltiples beneficios, como la mejora en la calidad y precisión de la información, la facilitación de la integración de diferentes fuentes de datos, la estandarización en la clasificación de elementos y la optimización del proceso de análisis espacial.

### **5.2.2. Cartografía Básica Digital.**

La cartografía urbana se refiere al conjunto de técnicas y metodologías que se emplean para representar gráficamente el territorio y la información geográfica relacionada con él. El IGAC es la máxima autoridad en Colombia en temas geoespaciales, encargado de la producción y actualización de la cartografía básica oficial del país en diferentes escalas, a través de su Subdirección de Cartografía y Geodesia. (IGAC v2.2, 2021). Reconociendo el valor de la cartografía como una forma resumida de reflejar la realidad, es imprescindible la creación de un índice que disponga de manera ordenada los elementos geográficos que conforman un primer nivel de abstracción, junto con sus características y relaciones. Para ello la importancia de estructurar la información geográfica de acuerdo a un estándar nacional. Ahora bien, se comparte la información cartográfica estructurada.

**Tabla 1. Cartografía Básica Digital**

<b>Nombre de la Capa</b>	<b>Tipo de geometría</b>	<b>Descripción</b>
Barrios	Polígono	Contiene información sobre las edificaciones y estructuras horizontales presentes en la zona de estudio, como conjuntos residenciales y comerciales
Manzanas	Polígono	Esta capa contiene información sobre la delimitación de las manzanas de la zona de estudio.
Urbanizaciones	Polígono	Capa que muestra la ubicación y delimitación de las diferentes urbanizaciones presentes en la zona de estudio.
Parques	Polígono	Capa que muestra la ubicación y delimitación de los parques y áreas verdes presentes en la zona de estudio.
Predios	Polígono	Capa que contiene información sobre los límites y ubicación de los predios presentes en la zona de estudio.
Vías Principales	Línea	, Esta capa contiene información sobre las vías de la zona de estudio, como carreteras, avenidas, calles, entre otras.
Malla Vial	Línea	Capa que representa la malla urbana de la zona de estudio, indicando la ubicación de las calles y las manzanas.
Hidrografía	Línea	Esta capa incluye la información relacionada con la red hidrográfica, como ríos, quebradas y arroyos presentes en la zona de estudio.
Unidades Habitacionales	Punto	Contiene información sobre las edificaciones y estructuras horizontales presentes en la zona de estudio, como conjuntos residenciales y comerciales
Sitios de Interés	Punto	Esta capa incluye información sobre los sitios de interés presentes en la zona de estudio, como centros educativos, de salud, comerciales, entre otros.

Nota: (Servinformacion, 2023)

De acuerdo con (IGAC v2.2, 2021), se establece que un catálogo de objetos se crea siguiendo las directrices de la norma ISO 19110:2016, que forma parte de la directiva nacional CONPES 3585. Esta directiva tiene como objetivo consolidar la Política Nacional de Información Geográfica y la Infraestructura de Datos Espaciales (ICDE). El propósito fundamental del catálogo es documentar y estandarizar la información cartográfica producida por el IGAC, con el fin de maximizar su utilidad para los usuarios finales.

### 5.2.3. Catastro Multipropósito

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) es una de las entidades encargadas de llevar a cabo el Catastro Multipropósito, que consiste en la producción, actualización y gestión de información geoespacial y catastral. Según (IGAC, 2021), es “información veraz para la toma de decisiones”, por lo tanto, es de gran importancia para el diseño de redes de fibra óptica, ya que permite la identificación precisa de la ubicación geográfica de los hogares y las barreras naturales en un municipio.

El propósito es realizar la planificación, implementación y supervisión de los procesos catastrales para mantener la información física, jurídica y económica de la entidad territorial actualizada y disponible, de acuerdo con las regulaciones vigentes.(IGAC, 2021). Con esta información se pueden identificar las áreas con mayor densidad poblacional, lo que a su vez puede ser utilizado para determinar la ubicación óptima de los nodos de la red de fibra óptica, así como para definir la cantidad de hogares que serán atendidos por cada nodo.

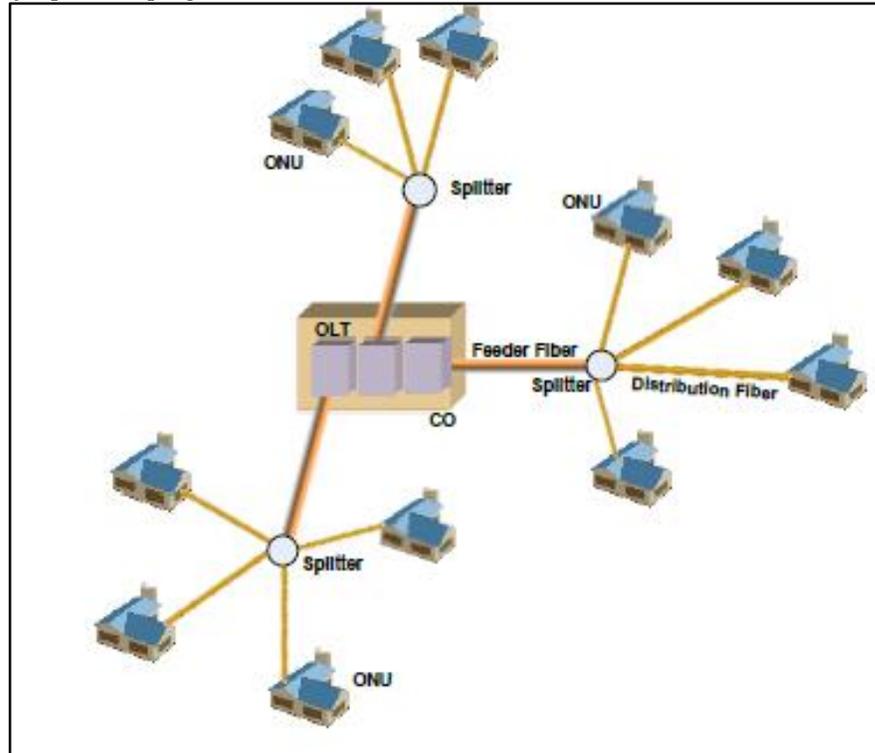
#### 5.2.4. Algoritmos de clustering.

Los algoritmos de agrupamiento (clustering) son métodos de análisis de datos que se emplean para detectar patrones o grupos dentro de un conjunto de datos. “Los últimos años han sido testigos del amplio despliegue de FTTx en todo el mundo debido a sus ventajas inherentes de gran ancho de banda, bajo costo, etc. Dado que habrá un enorme aumento en el número de nuevos clientes de FTTx en los próximos años, es vital contar con una implementación económica de PON para minimizar el costo total de implementación” (H. Chen et al., 2015).

De acuerdo a la literatura, según (H. Chen et al., 2015), proponen un nuevo algoritmo de planificación PON basado en agrupamiento de K- means que puede realizar diseños más eficientes en términos de costo total que los otros enfoques en la literatura. El algoritmo decide una ubicación óptima para cada divisor óptico con el fin de reducir al mínimo el costo de apertura de zanjas y tendido de fibras. Además, con el fin de lograr un uso más eficiente de los conductos de cable de fibra, también proponen permitir que varias fibras alimentadoras compartan conductos comunes, lo que puede reducir aún más el costo total de implementación.

*FTTx: Acrónimo para referirse a cualquier tipo de conexión que utiliza fibra óptica.*

**Ilustración 1.** *Ejemplo de despliegue de PON*

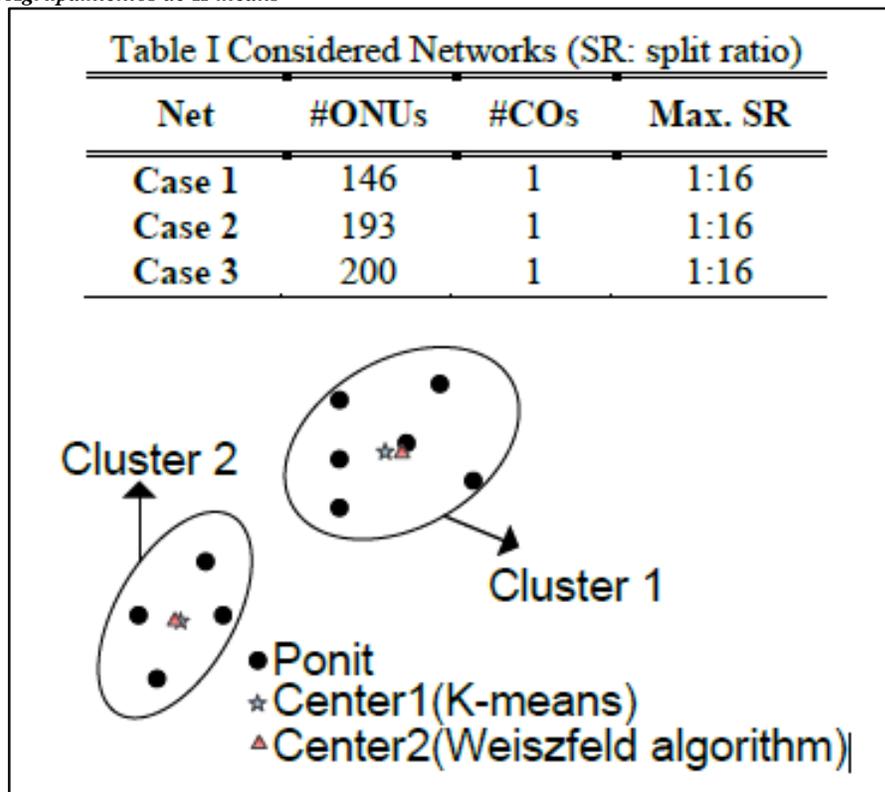


Tomado de: (H. Chen et al., 2015)

La **Ilustración 1**, representa un ejemplo de PON, que consta de unidades de red óptica dispersas (ONU) y una oficina central (CO). Cada ONU se puede ubicar en un hogar o conectarse a una estación base inalámbrica (BS). La (CO) admite múltiples terminales de línea óptica (OLT) que están conectados a las ONU a través de redes ópticas distribuidas. Los estudios de simulación mostraron que, en comparación con la solución de sectorización de corte aleatorio de referencia, los enfoques de agrupamiento de K-means propuestos son efectivos para reducir significativamente el costo total de implementación hasta en un 50 %. También se encontró que el esfuerzo de compartir conductos es efectivo para disminuir aún más el costo total de implementación (H. Chen et al., 2015).

Continuando con la investigación literaria, otro tipo agrupamiento importante es (IDW) Inverse Distance Weighted, traducido como “Interpolación de Inversa de Distancia Ponderada” es un método de interpolación espacial determinista, que asume que los puntos cercanos entre sí son más parecidos que los que están más alejados. Por lo tanto, la concentración de una ubicación se predice sumando las concentraciones ponderadas de otros puntos conocidos.

Ilustración 2. Agrupamientos de K-means



Tomado de: (H. Chen et al., 2015)

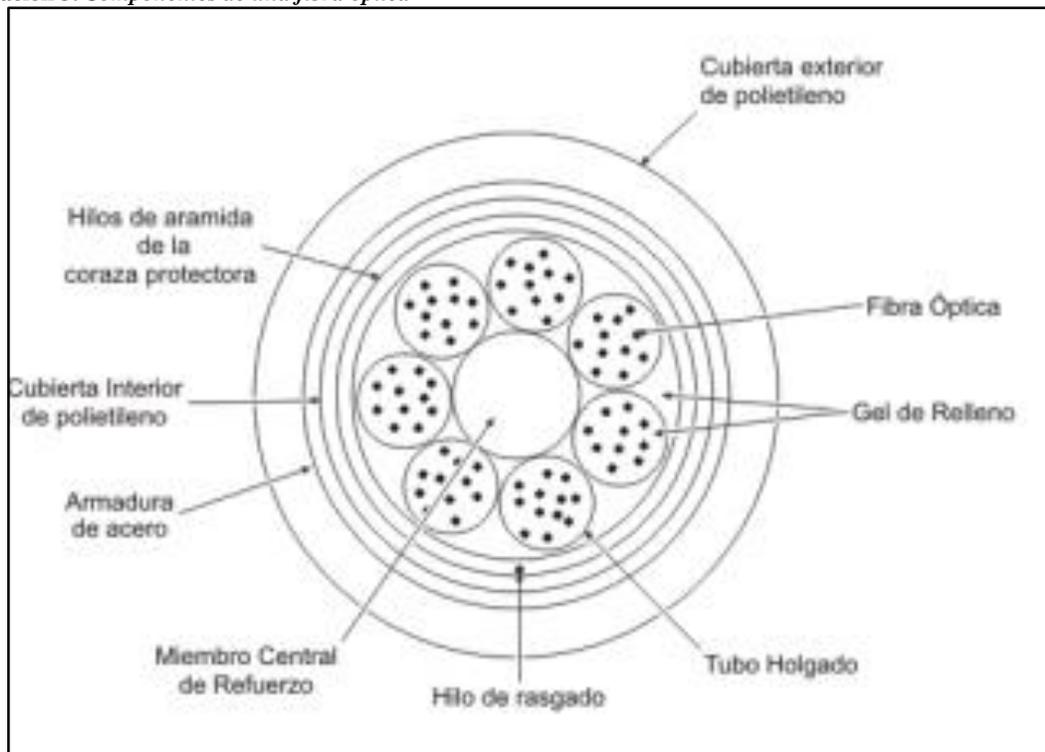
“Los pesos en los puntos circundantes son el inverso de las distancias al cuadrado. Se asumió que la precisión del enfoque IDW podría mejorarse si excluyéramos los datos atípicos de las estaciones de monitoreo, cuyas concentraciones registradas estaban menos correlacionadas con la concentración del lugar de exposición. Por lo tanto, los puntos de datos que podrían haber sesgado la estimación se eliminaron durante el procesamiento de datos de este enfoque.” (P. C. Chen & Lin, 2022).

El método ponderado de distancia inversa (IDW), una de las técnicas de interpolación geoestadística y matemática más utilizadas, se ha aplicado para predecir los parámetros objetivo en el campo de la ciencia de la hidrología “En este estudio, se utilizó el método IDW para interpolar la distribución espacial de los puntajes de calidad del agua e identificar áreas reguladoras clave del río Xin'anjiang” (Yang et al., 2020).

### 5.2.5. Fibra óptica (FTTH) y diseño de Redes.

La fibra óptica FTTH (Fiber to the Home), en español “Fibra hasta el Hogar” es una tecnología de comunicaciones que permite el acceso a Internet de alta velocidad y otros servicios de telecomunicaciones directamente desde la fibra óptica que se encuentra en el hogar del usuario. En la **Ilustración 3**, podemos ver los componentes de una fibra óptica.

**Ilustración 3.** Componentes de una fibra óptica

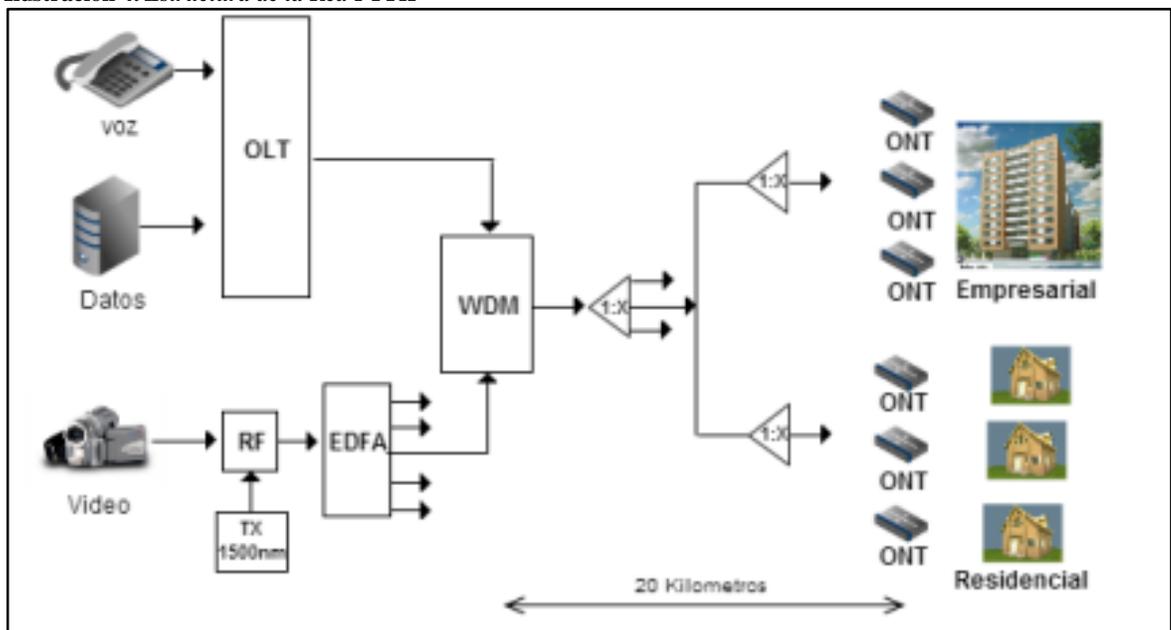


Tomado de: (Valencia, 2015)

La fibra óptica está compuesta por filamentos de vidrio que permiten transmitir información mediante haces de luz que viajan a través de ella. Es el medio de transmisión más utilizado debido a su alta capacidad para enviar información, ya que un solo hilo de fibra óptica puede transmitir millones de bits por segundo (bps). Además, permite el acceso simultáneo a servicios con alta velocidad y calidad (Valencia, 2015).

De acuerdo con (Tafurt, 2013), “Una red óptica pasiva está formada básicamente por una OLT (Línea Terminal Óptica), ubicada en la central de los operadores, y es un interruptor usado en PON que maneja las conexiones compartidas. Y las ONT o ONU (Terminal Óptico de Red o Unidad Óptica de Red) que es un dispositivo que convierte señales ópticas a señales eléctricas, situado en el domicilio del usuario de FTTH.”, ver **Ilustración 4**.

**Ilustración 4. Estructura de la Red FTTH**



Tomado de:(Tafurt, 2013)

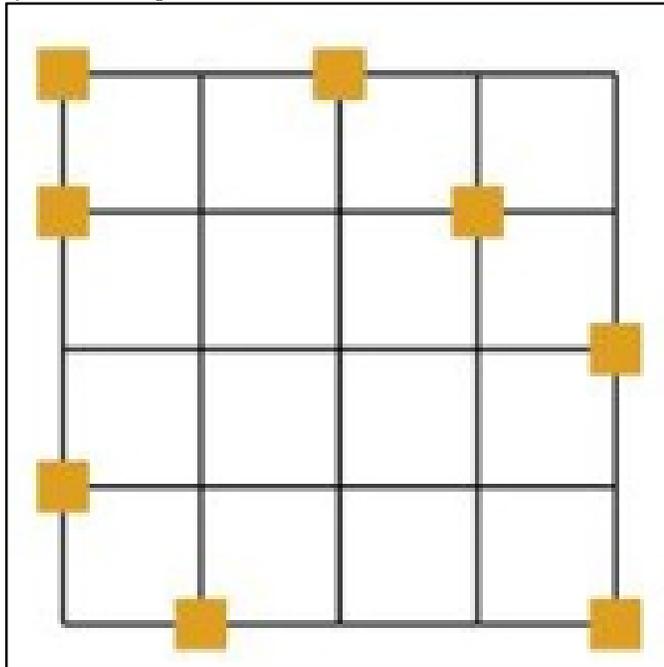
A diferencia de otras tecnologías, como el ADSL o el cable coaxial, que utilizan cables de cobre para transmitir señales, la fibra óptica FTTH utiliza cables de fibra óptica que son capaces de transmitir grandes cantidades de datos a velocidades muy altas.

La adopción de la tecnología de fibra óptica FTTH en las viviendas ha experimentado un incremento sostenido en los años recientes, impulsada por las necesidades crecientes de ancho de banda para la utilización de aplicaciones en línea y la demanda de una conexión a Internet de mayor rapidez y calidad. A través de la fibra óptica FTTH, los usuarios tienen la oportunidad de gozar de una navegación por Internet más estable y fluida, facilitándoles el acceso a aplicaciones y servicios en línea que las tecnologías más antiguas no permitían.

“A diferencia de otras tecnologías, en FTTH el flujo de datos digitales se transmite a través del medio óptico directamente al terminal del suscriptor. Gracias a este enfoque, FTTH permite la transmisión de datos con mayor velocidad y mejor calidad que otras redes basadas en tecnologías mixtas de radio, cobre, coaxial y óptico-coaxial. Además, FTTH está preparado para el futuro: una mayor velocidad de transmisión solo requiere terminales y enrutadores más rápidos, y las fibras permanecen sin cambios” (Le, 2014). El precio al consumidor juega un papel importante, teniendo en cuenta En el transcurso del último año, se ha observado una disminución del 50% en los precios por mega bits por segundo (Mbps) en los servicios de Internet Protocol (IP). Asimismo, la llegada de cables submarinos de distintas compañías representa un riesgo continuo para la estabilidad de los precios en el mercado. (García Rendon & Posada Aparicio, 2017)

De acuerdo con la metodología planteada por (Den Eynde et al., 2022), el diseño de una red FTTH se realiza de abajo hacia arriba, es decir, comienza con la agrupación de puntos de demanda en grupos, se asigna un gabinete de fibra a cada grupo y se conectan los clientes a los gabinetes de fibra correspondientes. Los costos de diseño se evalúan sumando los costos de fibra, zanja y cluster. A continuación, en las Figuras siguientes, se evidencia la manera gráfica de la clasificación y agrupación de los puntos de demanda. Ver **Ilustración 5**.

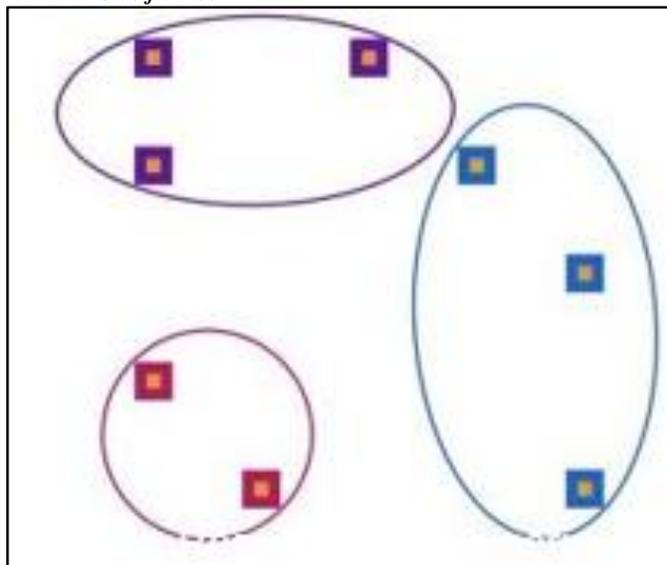
**Ilustración 5. Agrupación y conexión de puntos**



Tomado de: (Den Eynde et al., 2022)

Seguidamente realiza el agrupamiento de los puntos, ver **Ilustración 6**.

**Ilustración 6. Puntos de demanda Clasificados**



Tomado de: (Den Eynde et al., 2022)

Para finalmente obtener soluciones adaptadas a la iteración y categorización de los puntos, esta implementación logra una reducción de costos de hasta el 2 % y a su vez un rendimiento de tiempo del 20%, así mismo reduce los problemas de diseño de red que puedan presentarse. “Las tecnologías (4G) solo se consideran un sustituto si no existen alternativas de banda ancha fija de alta capacidad debido a los altos costos y las limitaciones en la capacidad disponible para los consumidores. Sin embargo, esto podría cambiar con la aparición de las tecnologías 5G” (Sahebali et al., 2021).

### 5.3. MARCO GEOGRÁFICO

#### 5.3.1. Ubicación.

Barbosa es un municipio establecido en 1940, se localiza en el extremo sur del departamento de Santander, en los límites con Boyacá. Pertenece a las provincias de Vélez y está asentado a lo largo del río Suárez, rodeado por las montañas de la cordillera Oriental. La distancia desde la capital del país es de 190 km, mientras que desde Bucaramanga es de 214 km (Camargo, 2020).

**Ilustración 7.** Posición geográfica, Barbosa, Santander



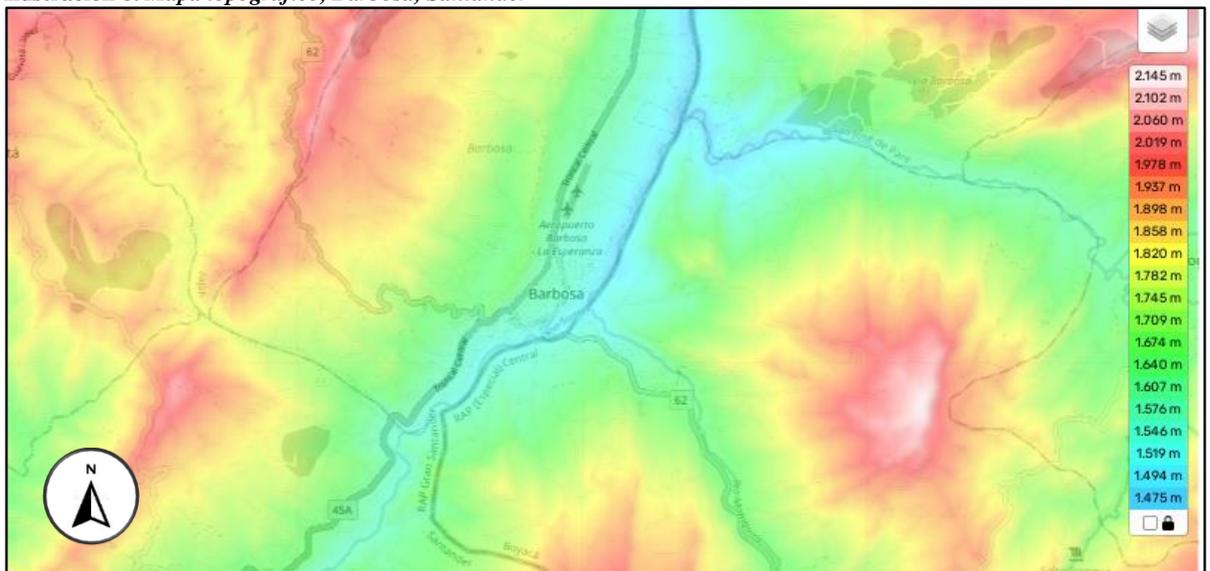
Tomado de: (Camargo, 2020)

El municipio de Barbosa se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Suárez, en las coordenadas 05° 55' 57" de latitud norte y 73° 37' 16" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. El área total del municipio abarca 57 km<sup>2</sup>, con altitudes que varían desde los 1.588 metros sobre el nivel del mar (msnm) en el extremo norte del territorio, a lo largo del río Suárez, hasta los 2.050 msnm en los límites con Vélez y Güepesa (Camargo, 2020).

### 5.3.2. Relieve.

El área de Barbosa se encuentra en un entorno geológico compuesto por rocas duras alternantes, como calizas y areniscas, junto con lutitas más blandas. Esto da lugar a un relieve con pendientes y escarpes escalonados, así como a depósitos aluviales en forma de terrazas y planicies. Estas características geológicas están influenciadas por la falla del Suárez (PEÑA et al., 2014).

**Ilustración 8. Mapa topográfico, Barbosa, Santander**

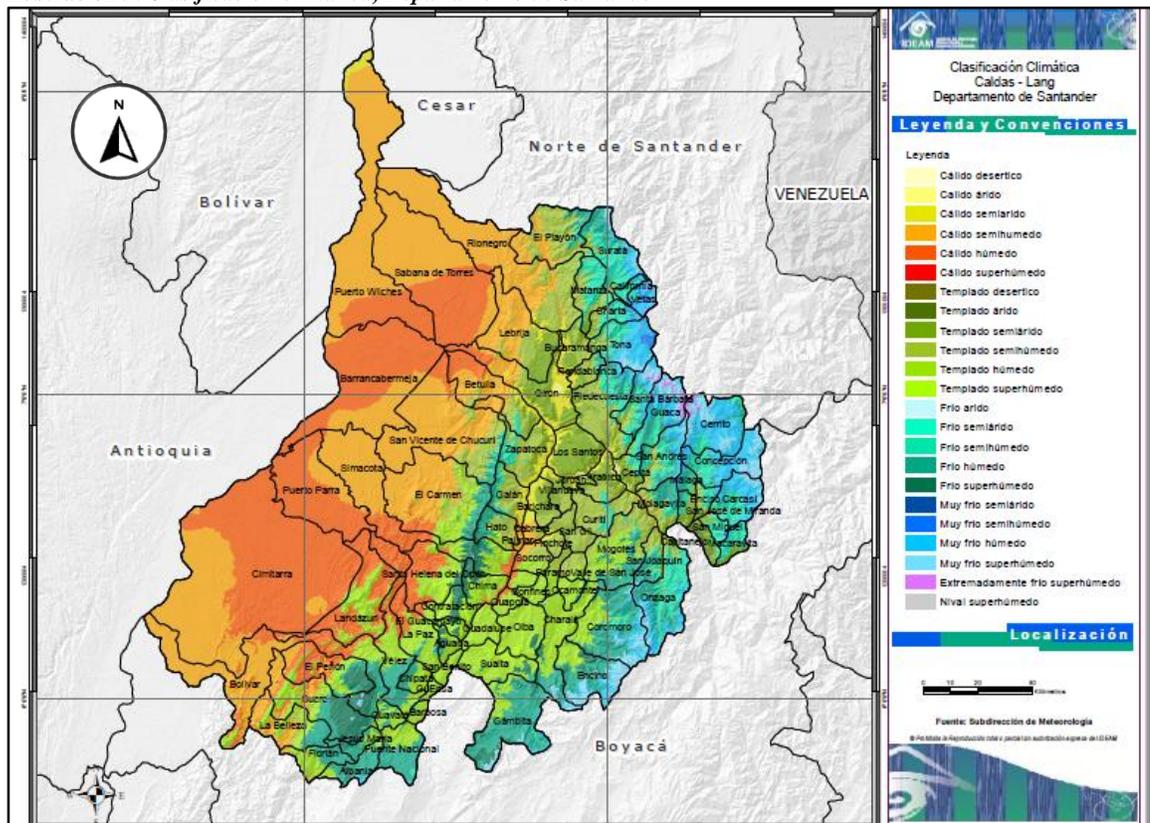


Tomado de: <https://es-co.topographic-map.com/map-bplmt/Barbosa/>

### 5.3.3. Clima.

El municipio de Barbosa, Santander cuenta con un clima cálido y seco, con temperaturas que oscilan entre los 23 y los 32 grados Celsius. La temporada seca se extiende desde diciembre hasta marzo, mientras que la temporada de lluvias se presenta entre abril y noviembre.

**Ilustración 9. Clasificación climática, Departamento de Santander**



Tomado de: (IDEAM, 2020)

### 5.3.4. Demografía.

La categoría de este municipio, según la Ley 617 de 2000, es de nivel 6, lo que tiene implicaciones en términos de responsabilidades y competencias administrativas. La población de Barbosa asciende a 33,510 habitantes, lo que representa una densidad poblacional de 587.89 habitantes por kilómetro cuadrado (Terridata, 2023).

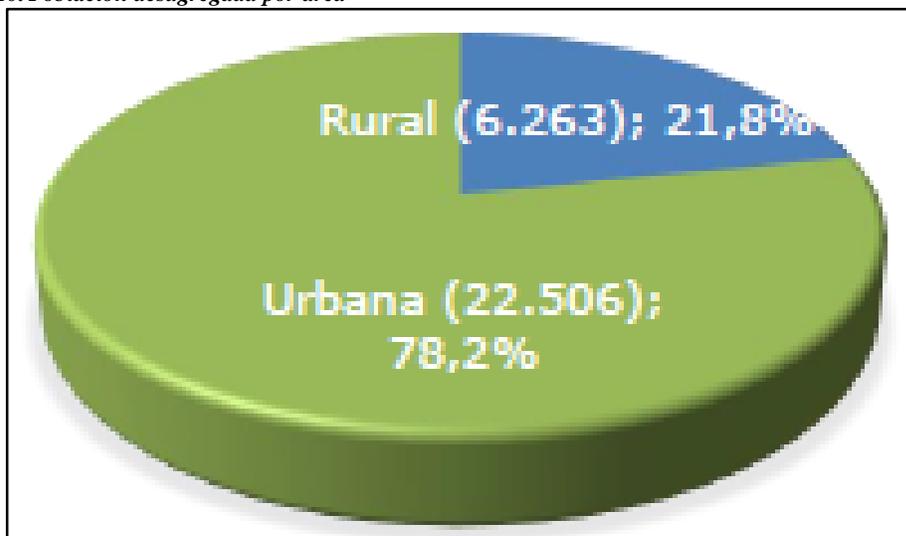
**Tabla 2. Información general de Barbosa, Santander**

<b>Barbosa, Santander</b>	
Código DANE: 68077	Región: Centro Oriente
Subregión (SGR): Vélez Entorno de Desarrollo	(DNP): Intermedio
Categoría Ley 617 de 2000: 6	Categoría Ley 617 de 2000: 6
Población: 33.510 Habitantes	Densidad Poblacional: 587,89 Hab / Km2

Tomado de: (Terridata, 2023)

Estos datos demográficos son esenciales para comprender las necesidades y desafíos que enfrenta Barbosa en áreas como la planificación urbana, la provisión de servicios públicos y la implementación de infraestructuras como las redes de fibra óptica. El municipio cuenta con una población de 22,506 habitantes en su zona urbana y 6,263 habitantes en su zona rural, lo que representa un 78,2% de la población concentrada en el área urbana y un 21,8% en el área rural. Además, cuenta con 8 veredas y un corregimiento (Terridata, 2023)

**Ilustración 10. Población desagregada por área**



Tomado de: (Terridata, 2023)

### 5.3.5. Economía.

En la actualidad, Barbosa, Santander se destaca por su industria, con la presencia de 80 grandes empresas en sectores como manufacturas, cartón, papeles finos, textiles, químicos, alimentos y confecciones. Además, se considera un polo de desarrollo regional en términos de sector financiero, transporte y comercio. Barbosa también cumple un papel importante como centro de abastecimiento de alimentos para los municipios cercanos con su plaza de mercado campesina como punto de venta de productos locales (Min Trabajo, 2013).

**Ilustración 11. Sector Agro, Barbosa, Santander**



Tomado de: <https://www.barbosa.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

En Barbosa, la economía se dinamiza gracias a la presencia de comerciantes de otros municipios y la producción de cultivos como caña, café, panela y bocadillo. El intercambio cultural ha generado una mezcla de costumbres de diferentes regiones. La amabilidad y calidez de su gente le ha valido el título de "capital del color y la alegría". Según el Censo de Población y Vivienda 2018, el índice de pobreza multidimensional en Barbosa es del 21,6%, por encima del promedio nacional (19,6%) y departamental (12,9%), especialmente en el sector rural (Camargo, 2020).

## 5.4. MARCO LEGAL

De acuerdo con (Valencia, 2015), en el contexto de las redes de fibra óptica, el Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones es la entidad responsable de regular y establecer normas en Colombia. Su objetivo es difundir la normativa vigente a nivel nacional e internacional, así como las realidades relacionadas con las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC).

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 se destaca la relevancia de la democratización de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para fomentar una sociedad del conocimiento y la tecnología. Esto implica una conectividad que permita la participación en los circuitos globales y el acceso al saber".(MINTIC, 2022).

**Tabla 3. Normas y documentos de referencia del PETI**

<b>Numero</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
Norma Técnica ISO 27001	2022	Norma técnica de Seguridad de la Información.
Documento CONPES 3854	2016	Política Nacional de Seguridad Digital.

Tomado de: (MINTIC, 2022)

De acuerdo a (Icontec, 2010), esta norma técnica describe la metodología utilizada para establecer la estructura de organización de los diferentes tipos de objetos geográficos, incluyendo sus definiciones y características.

**Tabla 4. Normativa ICONTEC**

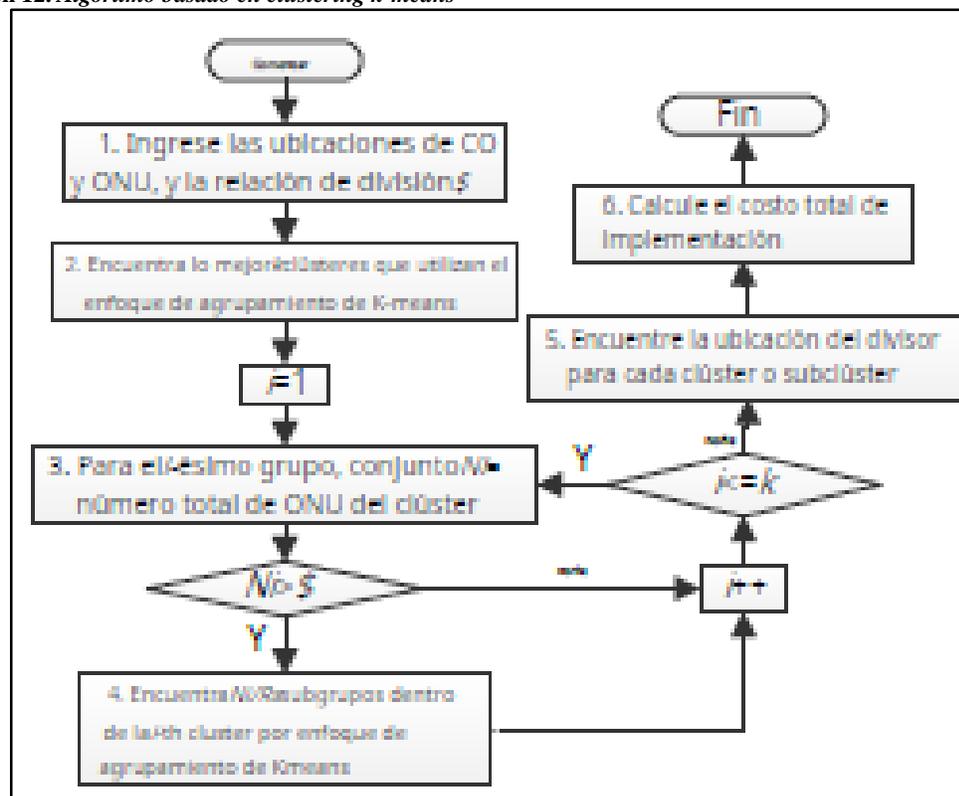
<b>Numero</b>	<b>Año</b>	<b>Descripción</b>
NTC 5661	2010	Metodología para la Catalogación de Objetos Geográficos.

Tomado de: (Icontec, 2010)

## 5.5. ESTADO DEL ARTE

De acuerdo a la metodología utilizada en esta investigación basada en algoritmos, se trae al escenario a los autores (AKAR & UYMAZ, 2022), su estudio se centra en la agrupación de los 167 barrios centrales de Konya en términos de funciones urbanas y revela las similitudes o diferencias en el estado de desarrollo de estos barrios. Se utilizaron análisis de agrupamiento de K-means, este es un modelo de aprendizaje no supervisado. Se determinaron 18 características relacionadas con funciones urbanas como parámetros de entrada en los análisis de agrupamiento. Se aplicaron procesos de agrupamiento para el área de estudio, teniendo en cuenta diversas características según el estado de desarrollo urbano de los barrios.

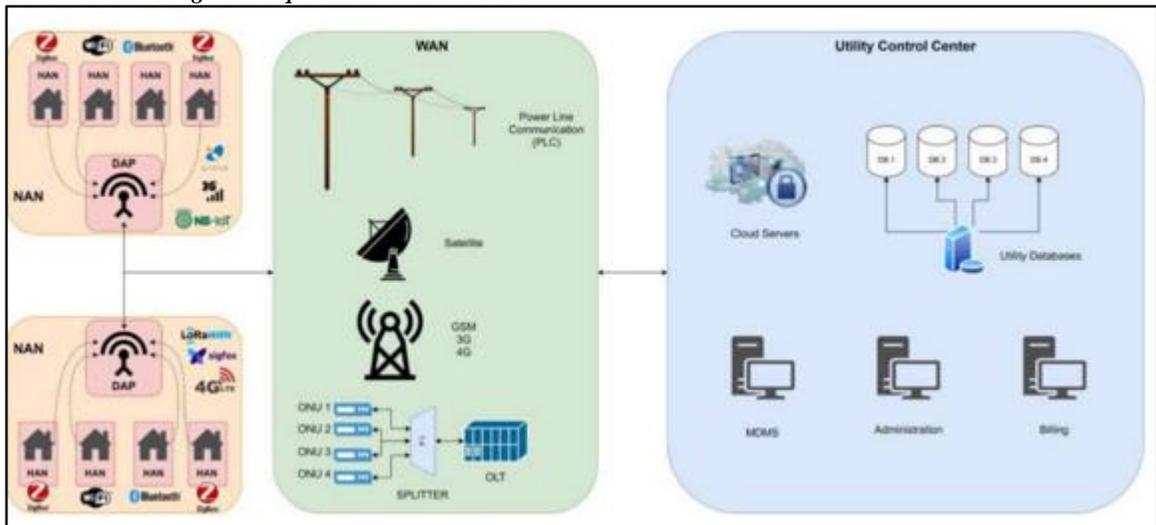
Ilustración 12. Algoritmo basado en clustering k-means



Tomado de: (H. Chen et al., 2015)

Los resultados mostraron que el análisis de conglomerados se puede utilizar en tales estudios. En cuanto a trabajos relacionados con algoritmos encontramos a los autores (H. Chen et al., 2015). proponen un nuevo algoritmo de planificación PON basado en agrupamiento de K-means que puede realizar diseños más eficientes en términos de costo total que los otros enfoques en la literatura. El algoritmo decide una ubicación óptima para cada divisor óptico con el fin de reducir al mínimo el costo de apertura de zanjas y tendido de fibras. Además, con el fin de hacer un uso más eficiente de los conductos de cables de fibra, también proponen permitir que varias fibras alimentadoras compartan conductos comunes, lo que puede reducir aún más el costo total de implementación (H. Chen et al., 2015).

**Ilustración 13. Diagrama esquemático de la red AMI**



Tomado de: (Gallardo et al., 2021)

De acuerdo a trabajos realizados sobre algoritmos, apoyamos la investigación con los autores. Su trabajo tiene como objetivo llenar el vacío con respecto al problema de ubicación de DAP en la red AMI. Considerando la colocación de DAP como un problema de planificación de red, este trabajo propone un nuevo método de resolución considerando técnicas de agrupamiento utilizando aprendizaje automático. Propone una ubicación óptima de DAP para AMI basada en técnicas de agrupamiento de aprendizaje automático en redes residenciales.

Se introduce la partición de red para crear subredes y los algoritmos gráficos generan una topología de implementación dadas las restricciones de optimización. (Gallardo et al., 2021). Se considera una nueva métrica de medición llamada densidad de cobertura para indicar las zonas de redes de área vecinal (NAN) con la cobertura adecuada. Se consideran tres escenarios reales de NAN: urbano, suburbano y rural. El algoritmo propuesto se evalúa y compara con métodos de optimización heurística convencionales con respecto a la distancia promedio y máxima entre medidores inteligentes y DAP, densidad de cobertura y tiempo de ejecución.

En cuanto a la metodología para el diseño de redes de fibra óptica, encontramos a (Matrood et al., 2014). Las autoras proponen un método nuevo y sencillo para conseguir un despliegue óptimo de la colección de herramientas de diseño de redes basadas en SIG. Se ha desarrollado un sistema prototipo de los datos geográficos de la zona. El cual se trata de un enfoque sistemático para la planificación de infraestructuras de redes de acceso FTTH (fibra hasta el hogar). Se empleó una colección de datos SIG y un conjunto de algoritmos desarrollados para automatizar el proceso de planificación.

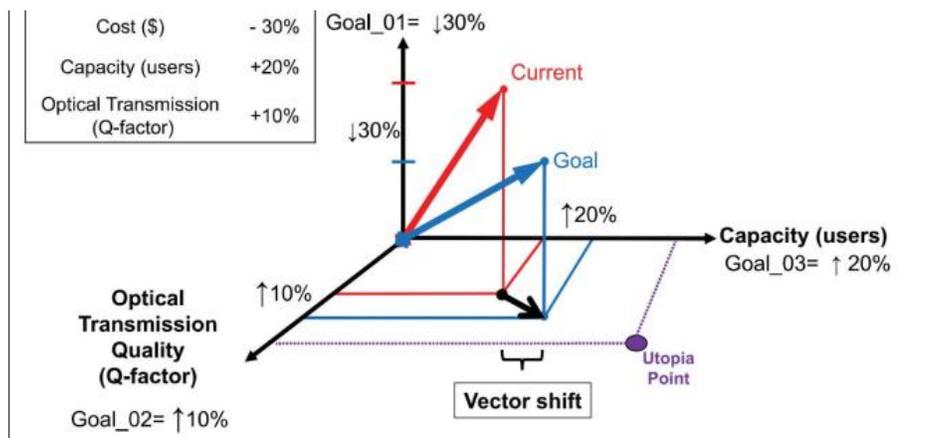
Los pasos del diseño tienen en cuenta el ancho de banda necesario en cada parte de la región, la cantidad de rondas de las calles de la región y las longitudes de los cables necesarias para cubrir la región y proporcionar acceso a todos los hogares. Así mismo el sistema proporciona la documentación necesaria para los resultados del diseño faciliten la tarea de implementación y permitan hacer seguimiento de los elementos de trabajo durante y después del establecimiento de la red (Matrood et al., 2014).

Para abordar el tema de la planificación de redes, se han consultado algunos autores relacionados con el tema. Según (Cortes, 2017), Se plantea que la planificación y diseño de redes FTTH, utilizando tecnología GPON, pueden optimizar el rendimiento de una red de fibra óptica, mejorando así la prestación de servicios y logrando mejoras continuas en el rendimiento de manera distribuida.

El objetivo de esta investigación es mejorar la comprensión en la planificación y diseño de redes FTTH y GPON. Se propone un escenario experimental que considera las redes de próxima generación, como FTTH, que cubren la demanda creciente de ancho de banda y servicios de los clientes. El autor destaca la importancia de un buen diseño de plano y una distribución equitativa de los splitters de primer y segundo nivel, junto con una colocación adecuada de los centros de distribución en las áreas residenciales para satisfacer las demandas de los clientes.

Continuando con aportes relacionados con la red de fibra óptica desde la academia, encontramos a (Suárez, 2019), el objetivo de esta tesis es hacer una contribución, estableciendo tecnología de hardware para futuros equipos de alto rendimiento considerando un nuevo enfoque multidisciplinario y de sistemas hacia el diseño de la red de interconexión de fibra óptica dentro de los centros de datos para los sistemas HPC para permitir el transporte de datos. Según el autor, los resultados demuestran que los costos del ciclo de vida del centro de datos son más sensibles a los costos de energía, la fibra óptica multimodal 10G OM4 es Pareto óptima para las necesidades de largo alcance y baja capacidad del usuario, y la fibra óptica multimodal 100G OM4 es Pareto óptima para el corto alcance y necesidades de alta capacidad de usuarios.

**Ilustración 14. Planificación de redes de fibra óptica**



Tomado de: (Polany et al., 2001)

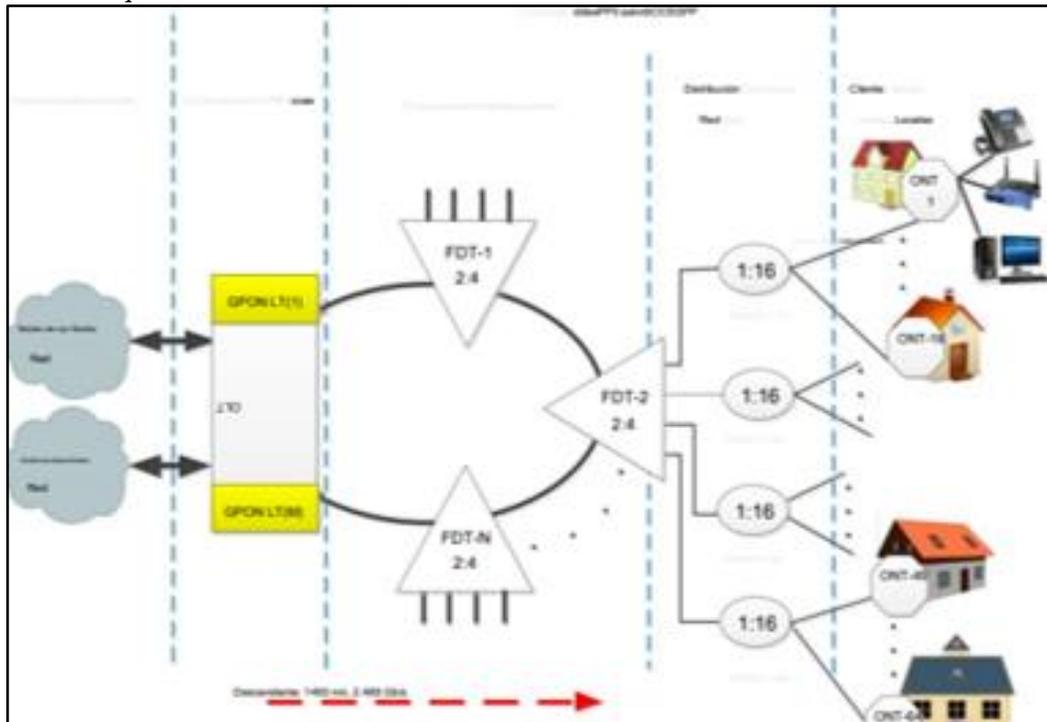
Continuando con los trabajos relacionados con la implementación de fibra óptica, se apoya este documento en el trabajo realizado por (Abdellaoui et al., 2021) que proponen un modelo de infraestructura óptica pasiva diseñada para un operador neutral que hace accesible su red de fibra óptica a los diversos operadores de cable y manipuladores del mercado. Consideran que, el modelo actual incluye el despliegue de WDM GPON comenzando con el intercambio local a diversas áreas en las que los usuarios finales disfrutarán de todos los servicios que solo una red de fibra óptica puede brindar. Para reducir costos, se implementa un GPON en el operador de telecomunicaciones. Uno de los muchos beneficios de esta tecnología es la capacidad de admitir "triple play" o voz, video y datos en una sola infraestructura de red. El triple play se logra fácilmente con la tecnología GPON debido a su alto ancho de banda, baja latencia, excelente soporte de calidad de servicio (QoS) y alta confiabilidad.

Este estudio puede extenderse a NG-PON2, un sistema PON multicanal, que no solo aumenta la capacidad disponible en la fibra por un factor de cuatro, sino que también mediante el soporte de la capacidad de ajuste de las ONU del cliente proporciona ventajas incomparables tanto para los operadores como para los usuarios. La distancia entre el divisor y la ONU es inferior a 2 km. Este trabajo presentó el rendimiento de transmisión descendente de una red GPON, múltiples clientes que están conectados al PON comparten los costos de OLT. Gracias a su excepcional ancho de banda presentado, GPON es una tecnología perfecta para aplicaciones FTTH a gran escala en las que muchos usuarios finales solicitan un ancho de banda cada vez mayor. Además, en las áreas ocupadas tanto por clientes residenciales como comerciales, GPON es la solución más rentable.

Según (Song et al., 2023), con el fin de mejorar la calidad de la comunicación móvil y encontrar una solución óptima para la planificación de los emplazamientos, este artículo utiliza el método de desviación estándar de 3 distribuciones normales, la distancia euclidiana y el modelo de selección de emplazamientos de planificación 0-1 para analizar las áreas de macro y micro estaciones base y dividir red, y utiliza además el modelo de análisis de acimut y el algoritmo de agrupación de K-means para optimizar la planificación de los emplazamientos y el área de cobertura. En cuanto a diseño e implementación de redes

encontramos a (M.Al-Quzwini, 2014), en su artículo de investigación presentan el diseño paso a paso y la implementación en campo de una red de acceso FTTH GPON protegida que da servicio a 1000 usuarios. Se muestran los componentes básicos de la red y se aborda la contribución de cada componente a la arquitectura de la red FTTH. El diseño incorpora protección Clase B, para brindar redundancia en el alimentador y puerto GPON, se enfatiza mucho la implementación práctica de una red FTTH protegida.

**Ilustración 15. Arquitectura de red de acceso GPON FTTH**

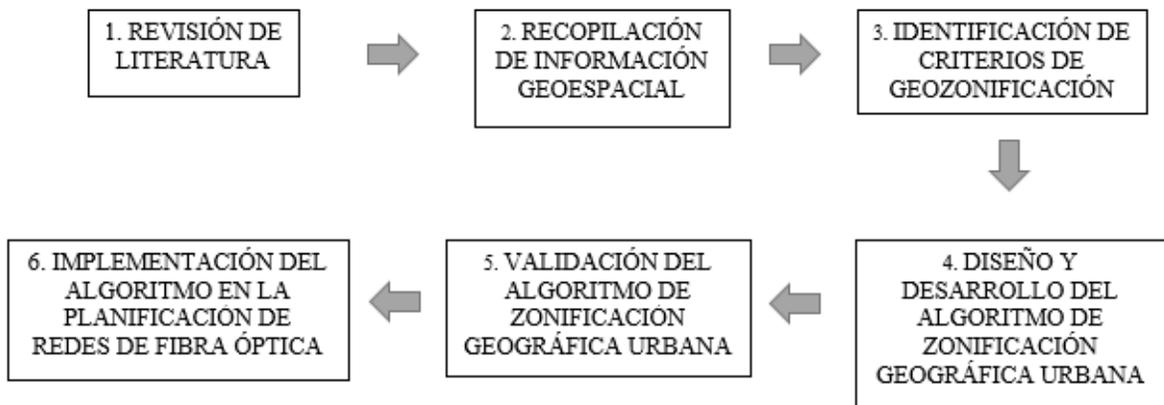


Tomado de: (M.Al-Quzwini, 2014)

## 6. METODOLOGÍA

La metodología propuesta en este trabajo de grado se basa en un enfoque que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para abordar los objetivos planteados. Consta de 6 fases fundamentales que permitieron crear una zonificación geográfica urbana para la implementación eficiente de una red de fibra óptica en el municipio de Barbosa, Santander, basado en las unidades habitacionales, barreras naturales y vías principales. Esta metodología se diseñó para ser implementada finalmente en un desarrollo de algoritmo mediante ArcGIS PRO, lo que permite la automatización de procesos y una mayor eficiencia en la gestión de la información geográfica

### Fases de la metodología



### 6.1. REVISIÓN DE LITERATURA

En esta fase se realizó una revisión bibliográfica sobre el diseño e implementación de redes de fibra óptica, zonificación geográfica urbana, y el uso de SIG en la planificación urbana. Asimismo, se revisaron los antecedentes y contribuciones relevantes, modelos y algoritmos de clustering con similitud a través del tiempo. Todo ello con el fin de utilizar “una metodología de planificación coherente” (Tomlinson, 2018) y fundamentada en la literatura especializada.

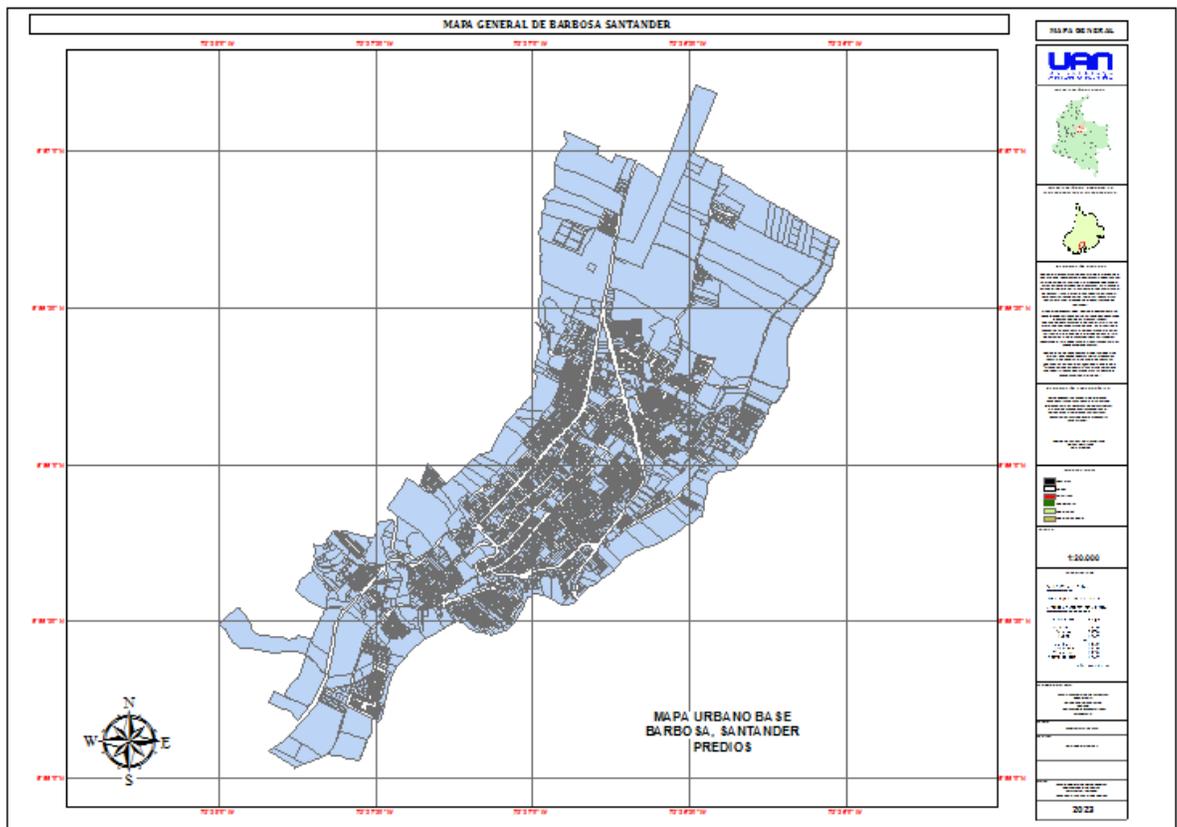
## 6.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL

En esta fase se llevó a cabo la recopilación de información geoespacial del municipio de Barbosa, Santander. “Este proceso garantiza que los datos cartográficos sean confiables y precisos, reduciendo los riesgos de errores y retrasos en la implementación y actualización de las localidades a nivel cartográfico” (Servinformacion, 2023).

### 6.2.1. Predios.

Un predio se refiere a una parcela de tierra delimitada, que no está separada por otra propiedad pública o privada, ya sea con o sin edificaciones, y puede pertenecer a personas físicas, jurídicas o al gobierno nacional (IGAC, 2016).

Ilustración 16. Predios de Barbosa, Santander

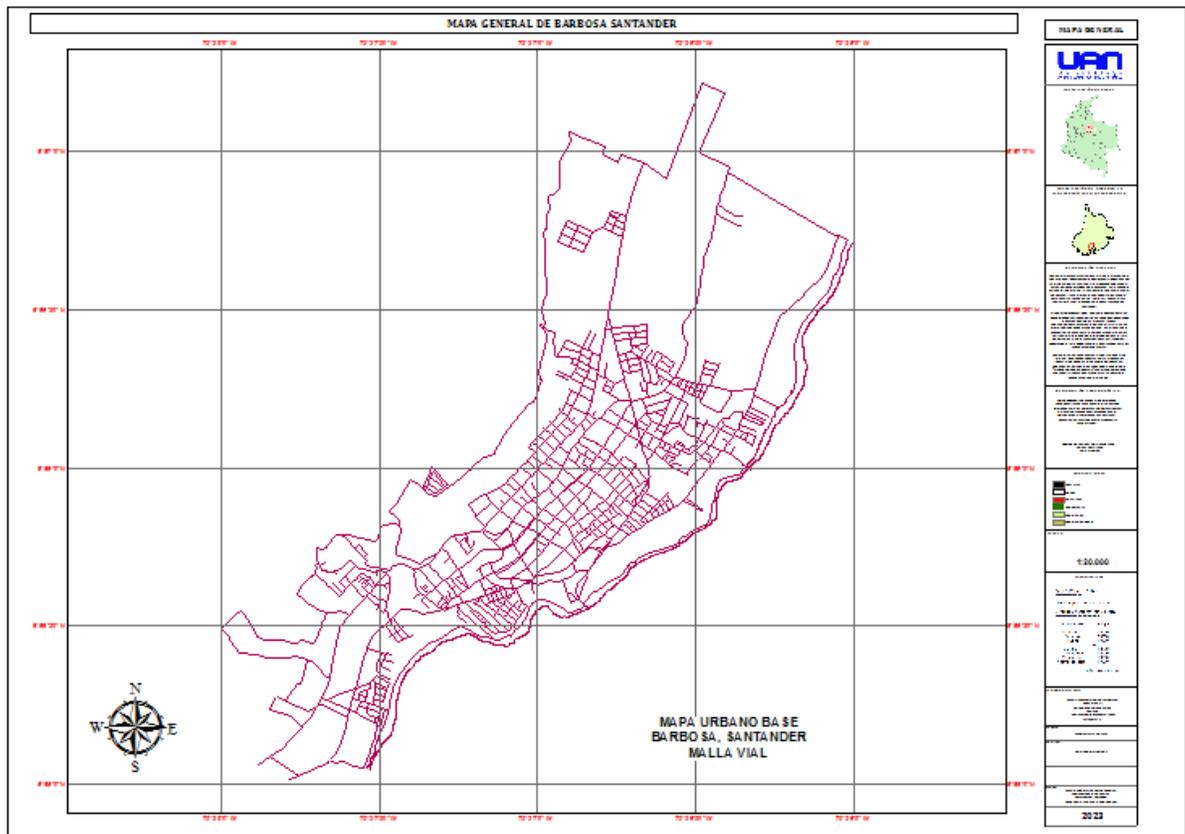


Tomado de: Servinformacion.com

### 6.2.2. Malla vial.

Esta capa corresponde al conjunto de vías, calles y carreteras que forman una red de transporte en una ciudad o región determinada. A partir de los atributos de la capa cartográfica, se obtuvieron 1.232 registros de malla vial estructurados acorde al catálogo de objetos geográficos.

**Ilustración 17. Malla vial de Barbosa, Santander**

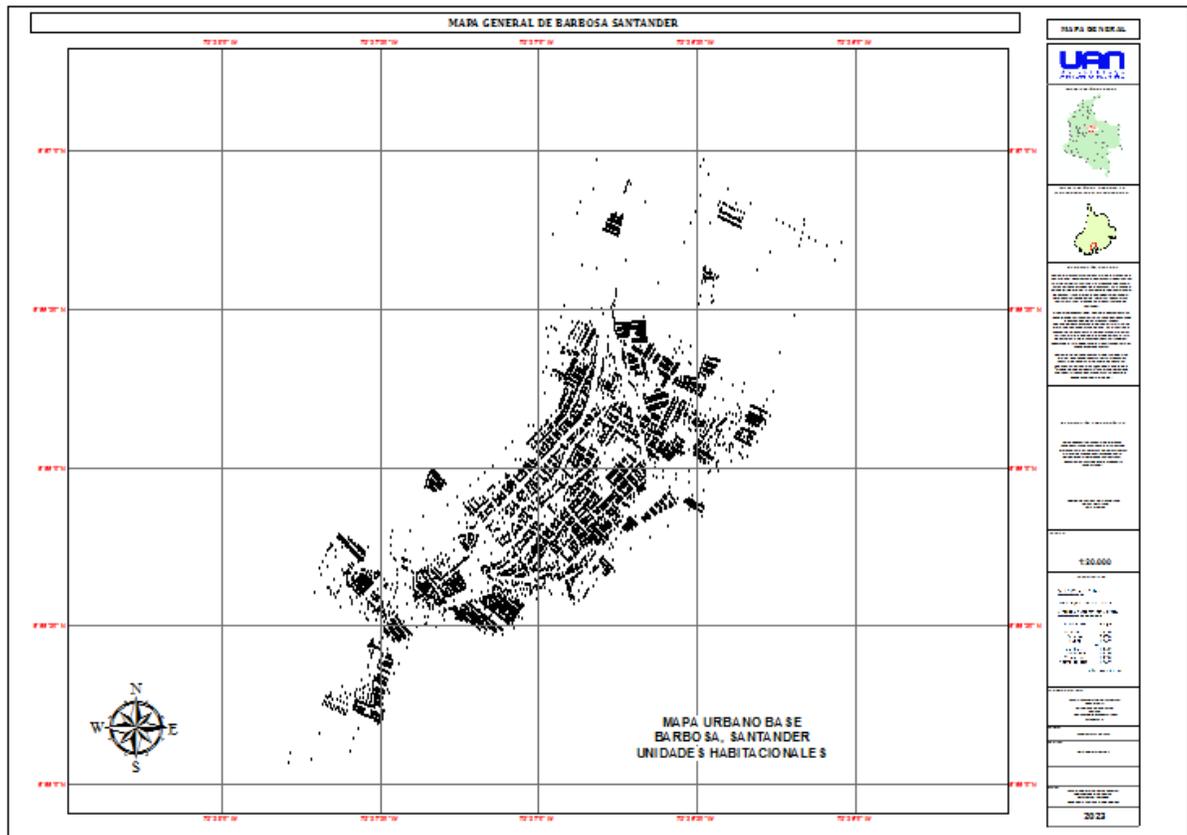


Tomado de: Servinformacion.com

### 6.2.3. Unidades habitacionales.

Esta capa corresponde a los puntos georreferenciados que tienen información referente a las unidades habitacionales del municipio. A partir de los atributos de la capa cartográfica, se obtuvieron 13.614 registros de unidades habitacionales estructurados acorde al catálogo de objetos geográficos.

**Ilustración 18. Unidades Habitacionales de Barbosa, Santander**

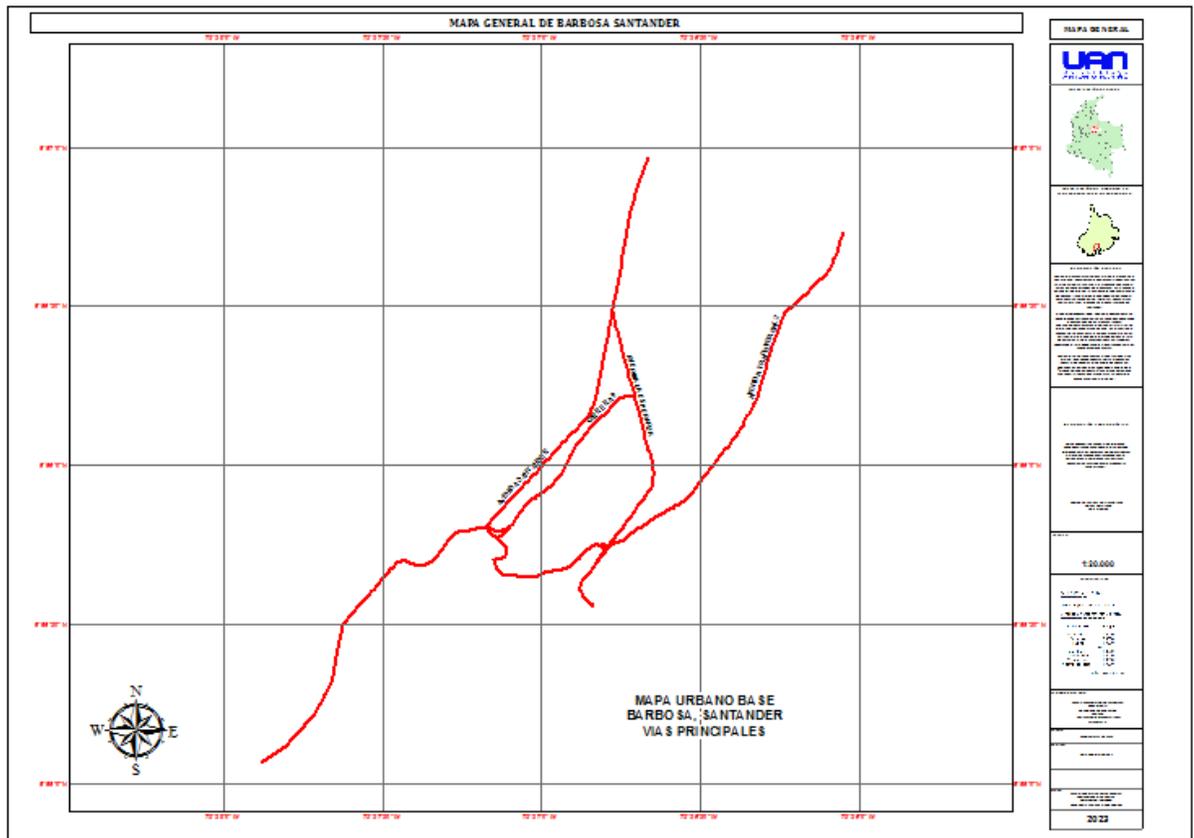


Tomado de: Servinformacion.com

#### 6.2.4. Vías principales

Son aquellas que tienen mayor importancia en una red vial, ya sea por su capacidad de transporte, su función de conexión entre ciudades o su importancia estratégica debido a su posición geográfica. A partir de los atributos de la capa cartográfica, se obtuvieron 5 registros de vías principales estructurados acorde al catálogo de objetos geográficos.

**Ilustración 19. Vías principales de Barbosa, Santander**

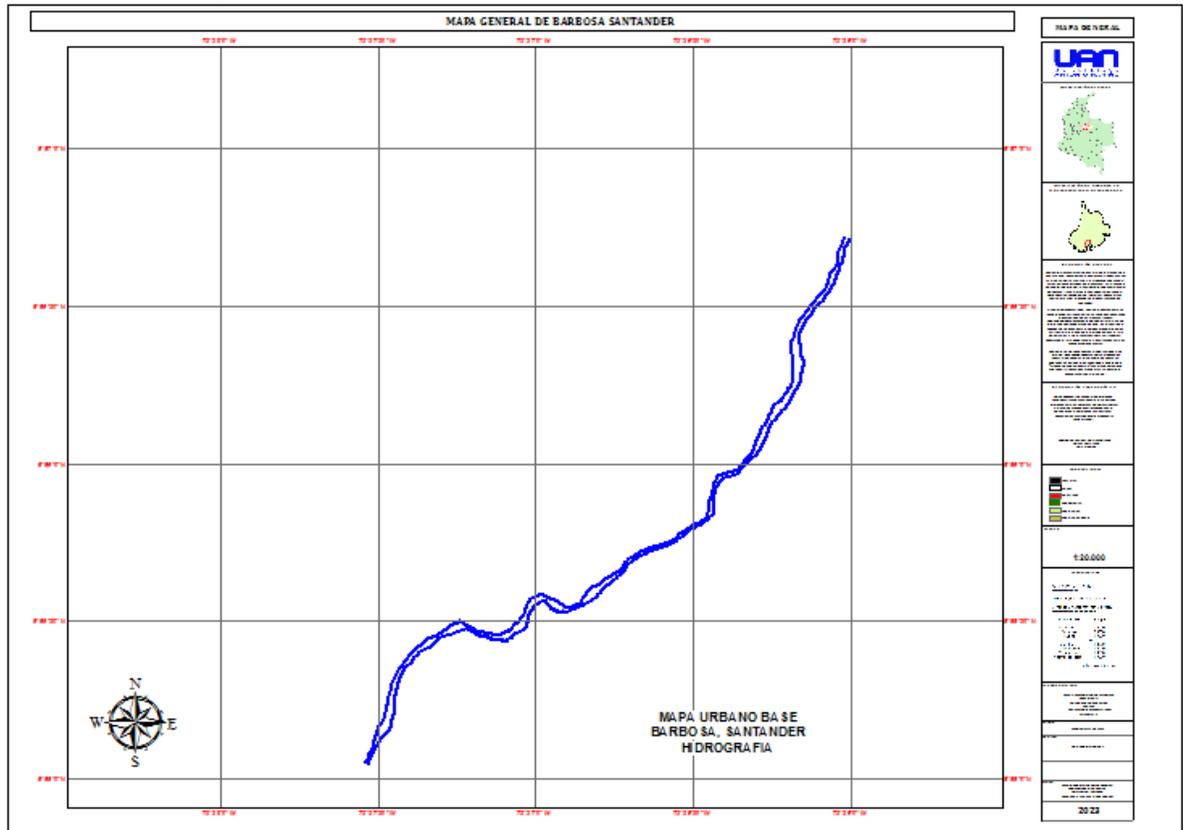


Tomado de: Servinformacion.com

### 6.2.5. Hidrografía.

Según (IGAC, 2016), es un movimiento de agua en la superficie terrestre, el cual es influenciado por la lluvia y/o la liberación de aguas subterráneas. Este flujo se dirige hacia corrientes de agua, lagunas o el océano. A partir de los atributos de la capa cartográfica, se obtuvo 1 registro de hidrografía estructurado acorde al catálogo de objetos geográficos.

**Ilustración 20. Hidrografía en Barbosa, Santander**



Tomado de: Servinformacion.com

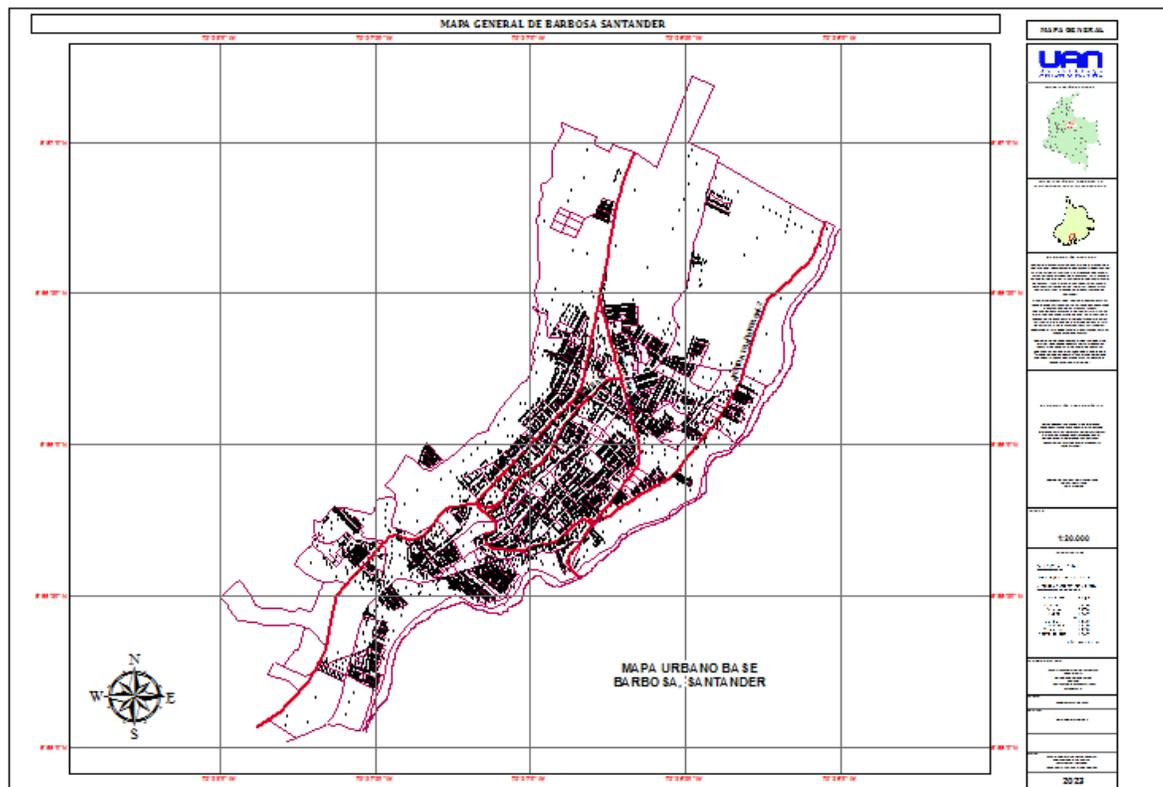
### 6.3. IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS DE GEOZONIFICACIÓN

En esta fase se identificaron los criterios de las variables independientes para desarrollar de manera efectiva el algoritmo de zonificación geográfica urbana en Barbosa, Santander, con el objetivo de asegurar una planificación eficiente para el diseño de redes de fibra óptica.

#### 6.3.1. Densidad de Unidades habitacionales.

Para crear Clústeres o grupos para un diseño efectivo de geo zonificaciones, se considera la cantidad de unidades habitacionales a clasificar. En el caso de Barbosa, se crean geo-zonas con un rango de 550 a 950 unidades habitacionales por zona. Se realiza una clasificación no supervisada adicional considerando la proximidad que se encuentren entre si. Actualmente, en el municipio de Barbosa, hay 13,614 unidades habitacionales.

**Ilustración 21. Unidades habitacionales en Barbosa, Santander**

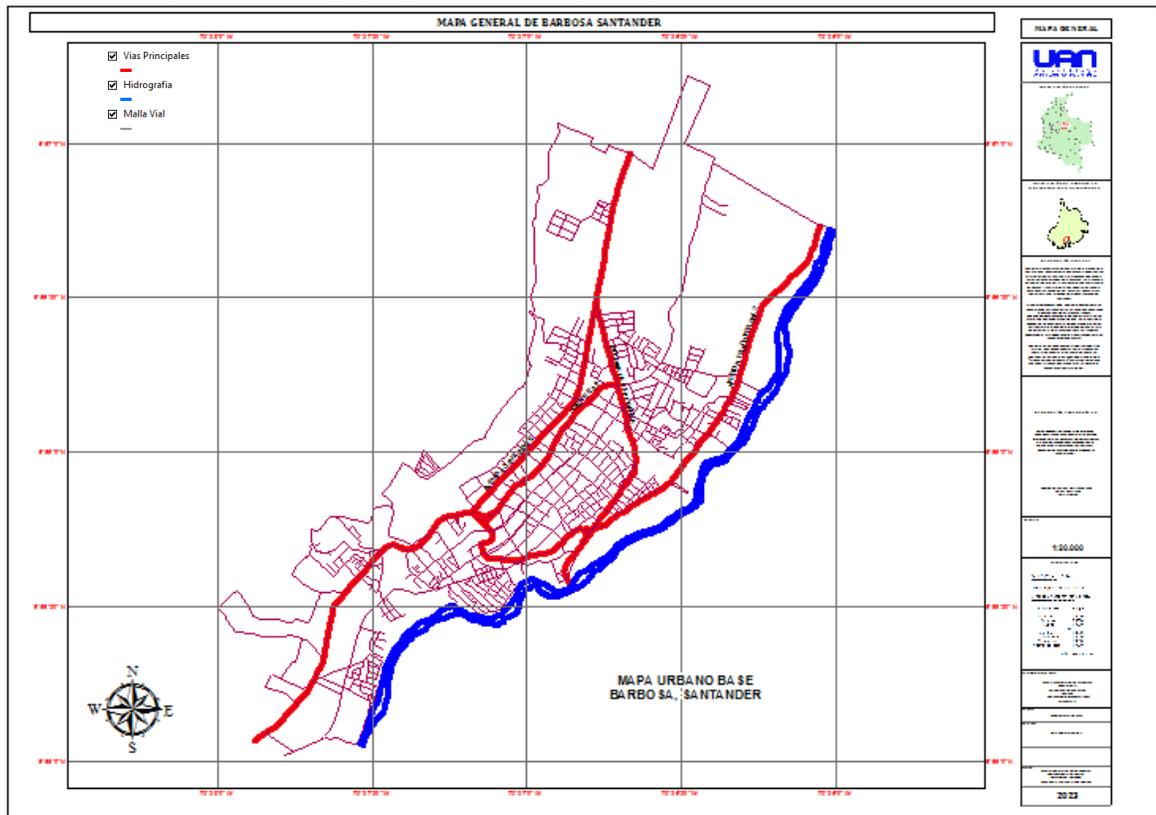


Tomado de: (Servinformacion, 2023)

### 6.3.2. Barreras Naturales y vías principales.

Se identificaron las capas mínimas requeridas dentro de la información cartográfica para obtener los resultados esperados en el ejercicio. Es por ello que las capas con mayor relevancia, como la hidrografía (barreras naturales) y las vías principales, son indispensables para la creación de geo-zonas que permitan una agrupación adecuada en función de las unidades habitacionales. Esto se debe a que estas capas, en términos geográficos, subdividen la información geográfica del mapa y, por lo tanto, son fundamentales para el proceso de zonificación geográfica urbana, Ver **Ilustración 223**.

**Ilustración 22. Información cartográfica para criterios de geozonificación**



Tomado de: Servinformacion.com

## 6.4. DISEÑO Y DESARROLLO DEL ALGORITMO DE ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA URBANA

### 6.4.1. Herramientas SIG para Análisis Geoespacial.

ArcGIS Pro es un software de sistema de información geográfica (SIG) desarrollado por la compañía Esri. Es una plataforma avanzada de SIG que permite la creación, edición, análisis y visualización de datos geoespaciales en 2D y 3D. Los avances tecnológicos permiten resolver fácilmente los problemas espaciales, y el diseño intuitivo de ArcGIS Pro hace que el SIG sea accesible para personas de diversos sectores.(ESRI, 2021).

**Ilustración 23. Imagen ArcGIS Pro**



Tomado de: (ESRI, 2021)

De acuerdo a la descripción anterior, se empleó esta herramienta para la creación y diseño del algoritmo para ejecutar en este trabajo de grado, por su practicidad y efectividad en el desarrollo de algoritmos.

#### 6.4.2. Creación y diseño.

En este trabajo, se aplican algoritmos de clustering para dividir la zona de estudio en subáreas o zonas homogéneas en términos de densidad poblacional y barreras naturales. Un algoritmo es un pseudocódigo para expresar instrucciones detalladas en un lenguaje informal para resolver un problema y alcanzar una solución deseada. (García, 2003). En ese orden de ideas, el diseño del algoritmo fue creado en Lenguaje Python por su facilidad al ejecutar sentencias. La librería empleada fue Arcpy, los desarrolladores la utilizamos para interactuar y manipular datos geoespaciales, con el objetivo de automatizar y personalizar trabajos con relación a datos Geoespaciales. Posteriormente se deben identificar las Variables de Entrada o insumos para diseñar el algoritmo.

**Tabla 5. Variables de Entrada**

<b>Tipo</b>	<b>Geometría</b>
Malla vial	Líneas
Vías principales	Líneas
Hidrografía	Líneas
Unidades Habitacionales	Puntos

**Tabla 6. Variables de Salida**

<b>Tipo</b>	<b>Geometría</b>
Geo-Zonas	Polígonos
Unidades Habitacionales con Geo-zona	Puntos

**Ilustración 24. Declaración de Variables en Python (ArcGIS Pro)**

```
3 Autor: Ing. Alex Camelo - Especialista SIG
4 Fecha: 01/06/2023
5 '''
6 #importacion de librerias
7 import arcpy
8
9 #declaracion variables de entrada
10
11 fc_mav = arcpy.GetParameterAsText(0) #malla
12 fc_via = arcpy.GetParameterAsText(3) #vias
13 fc_hidro = arcpy.GetParameterAsText(20) #hidrografia
14 fc_und = arcpy.GetParameterAsText(7) #unidades_habitacionales
15 desde = arcpy.GetParameterAsText(14) #desde numero deunidades_habitacionales
16 hasta = arcpy.GetParameterAsText(16) #hasta numero deunidades_habitacionales
```

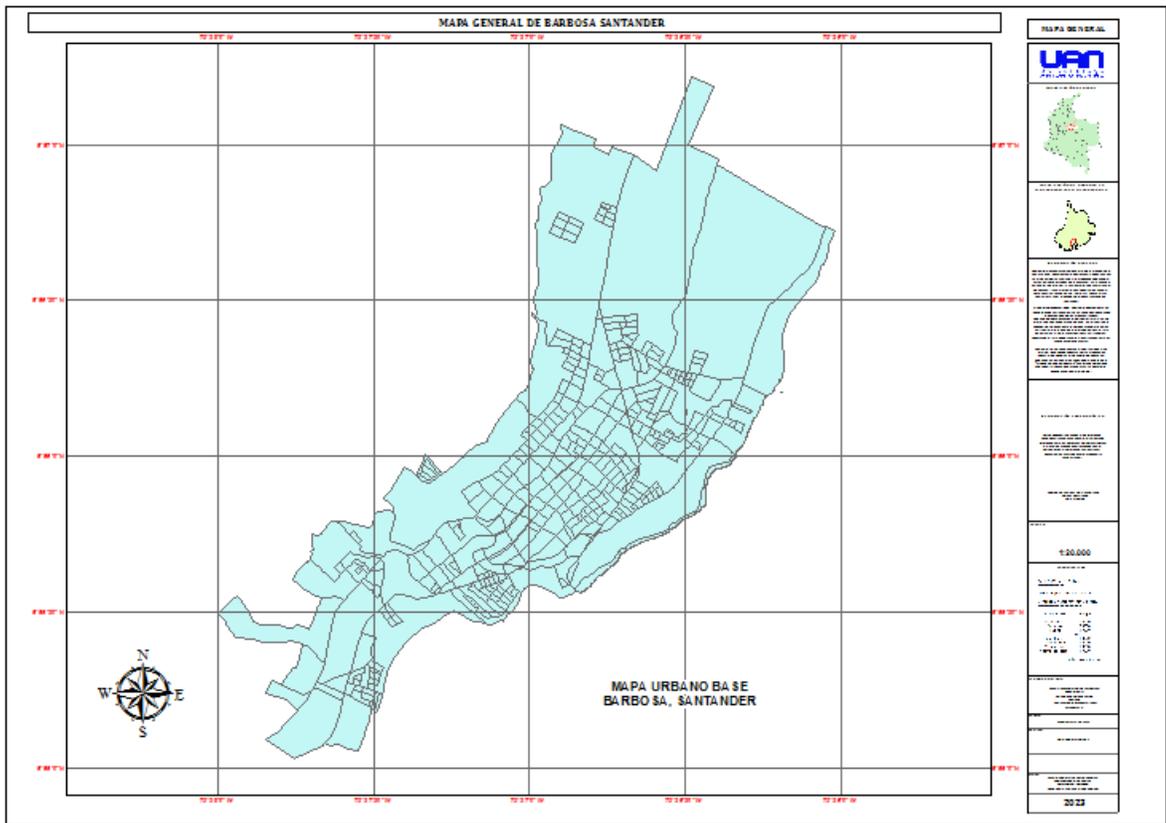
*Nota: Propia*

Seguidamente, se emplea la función “FeatureToPolygon”, es una herramienta versátil que permite convertir datos espaciales en polígonos, lo que facilita la creación de áreas de estudio, el análisis espacial y la visualización de información geoespacial, en este caso se emplea para convertir la vías (malla vial) del municipio en geometría de polígonos, y de esa manera obtener la **Ilustración 26**.

**Ilustración 25. Funcion Feature to Polygon**

```
#poligonizada
fc_pol1 = arcpy.management.FeatureToPolygon(fc_mav,fc_pol, None, "ATTRIBUTES", None)
```

**Ilustración 26. Resultado Obtenido FeatureToPolygon**



*Nota: Propia*

Con el resultado anterior, es posible obtener la Ilustración 28, de acuerdo a la función de Dissolve, esto permite luego subdividir el polígono con las vías principales y la hidrografía del municipio de Barbosa, Santander.

**Ilustración 27. Funciones de código Python para Algoritmo**

```
#combinar_poligonizada
fc_pol2 = arcpy.management.Dissolve(fc_pol1,fc_pol_a, None, None, "MULTI_PART", "DISSOLVE_LINES", '')

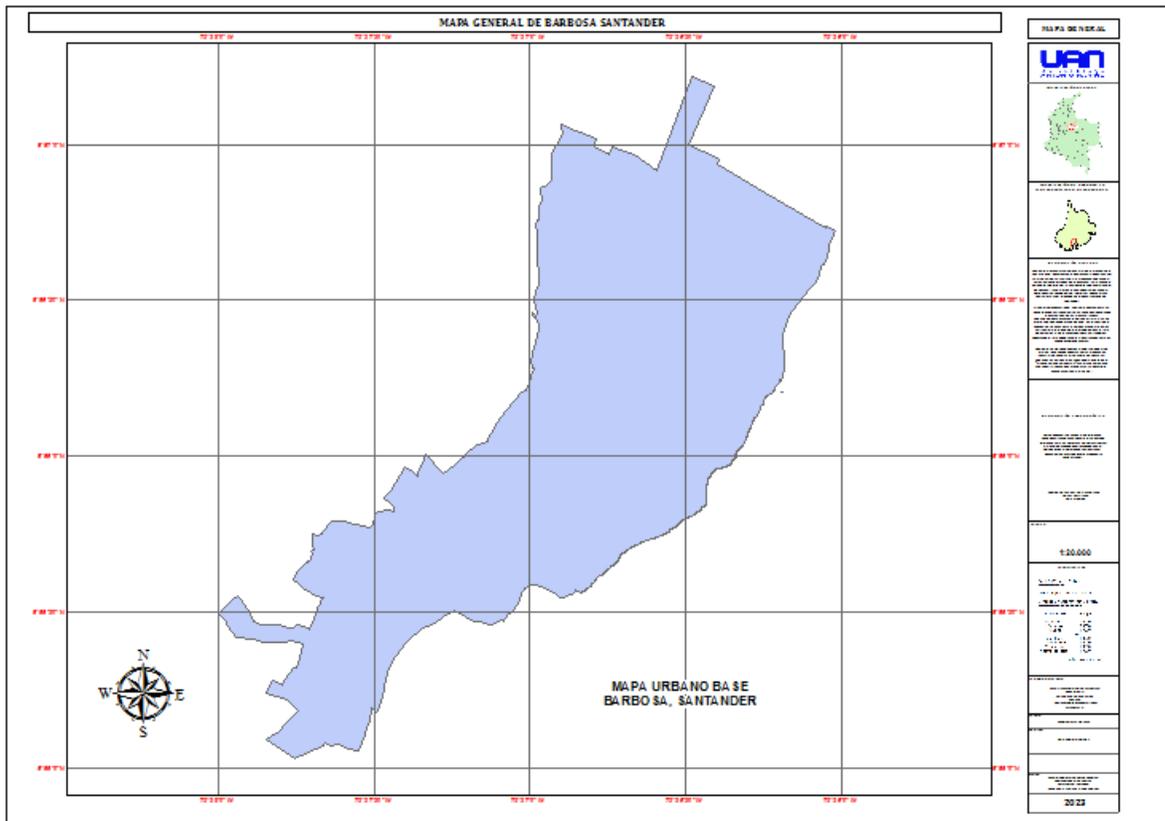
#vias_a_poligonos (buffer)
fc_via1 = arcpy.analysis.Buffer(fc_via,fc_via_a, "1 Meters", "FULL", "ROUND", "NONE", None, "PLANAR")

#cluster_dividido
fc_pol3 = arcpy.analysis.Erase(fc_pol_a,fc_via_a,fc_pol_b, None)

#cluster_subdividido
fc_pol4 = arcpy.management.MultipartToSinglepart(fc_pol_b,fc_pol_c)
```

*Nota: Propia*

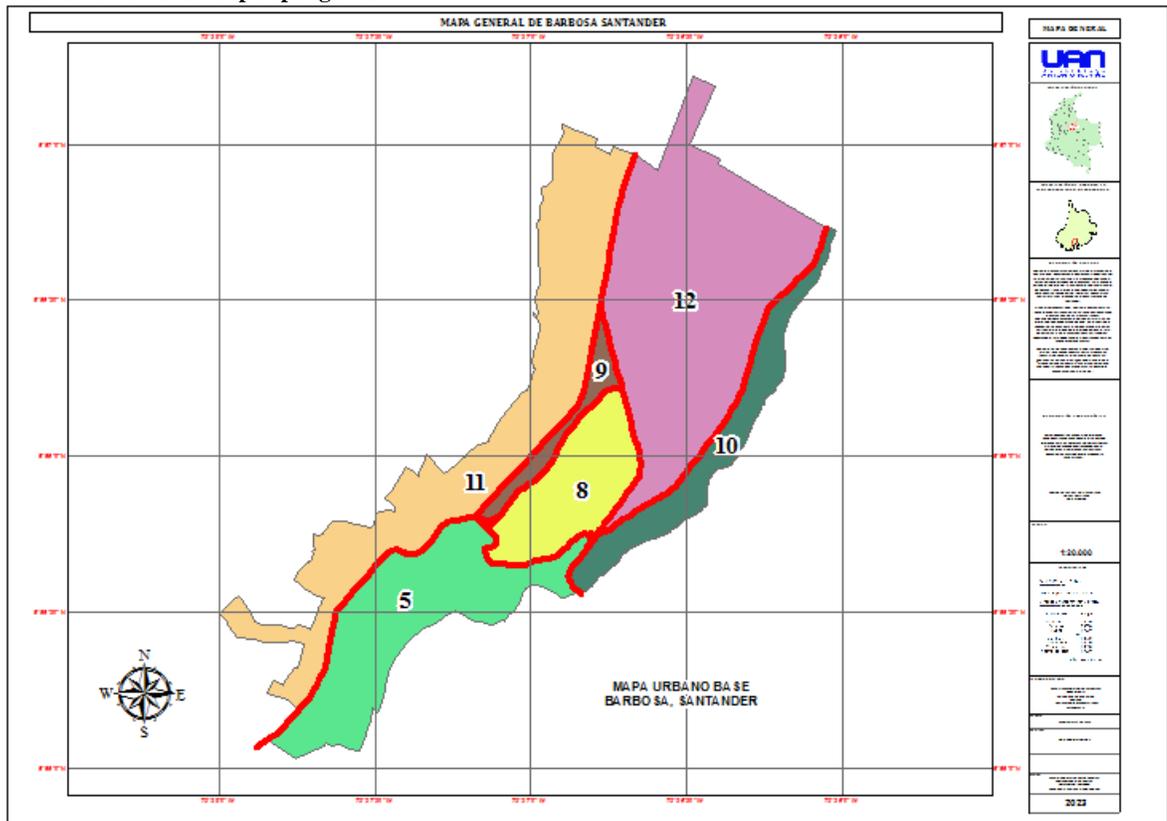
**Ilustración 28. Resultado Obtenidode Dissolve**



*Nota: Propia*

Para diseñar las geo-zonas considerando las unidades habitacionales, se sigue un proceso que involucra la creación de grupos de polígonos inicialmente delimitados por las vías principales y la hidrografía (barreras naturales). El objetivo es agrupar las unidades habitacionales en función de su proximidad y límites geográficos. Posteriormente, se subdividen estos grupos en geo-zonas con un rango de agrupamiento entre 550 a 950 unidades habitacionales.

**Ilustración 29. Cluster por polígonos**

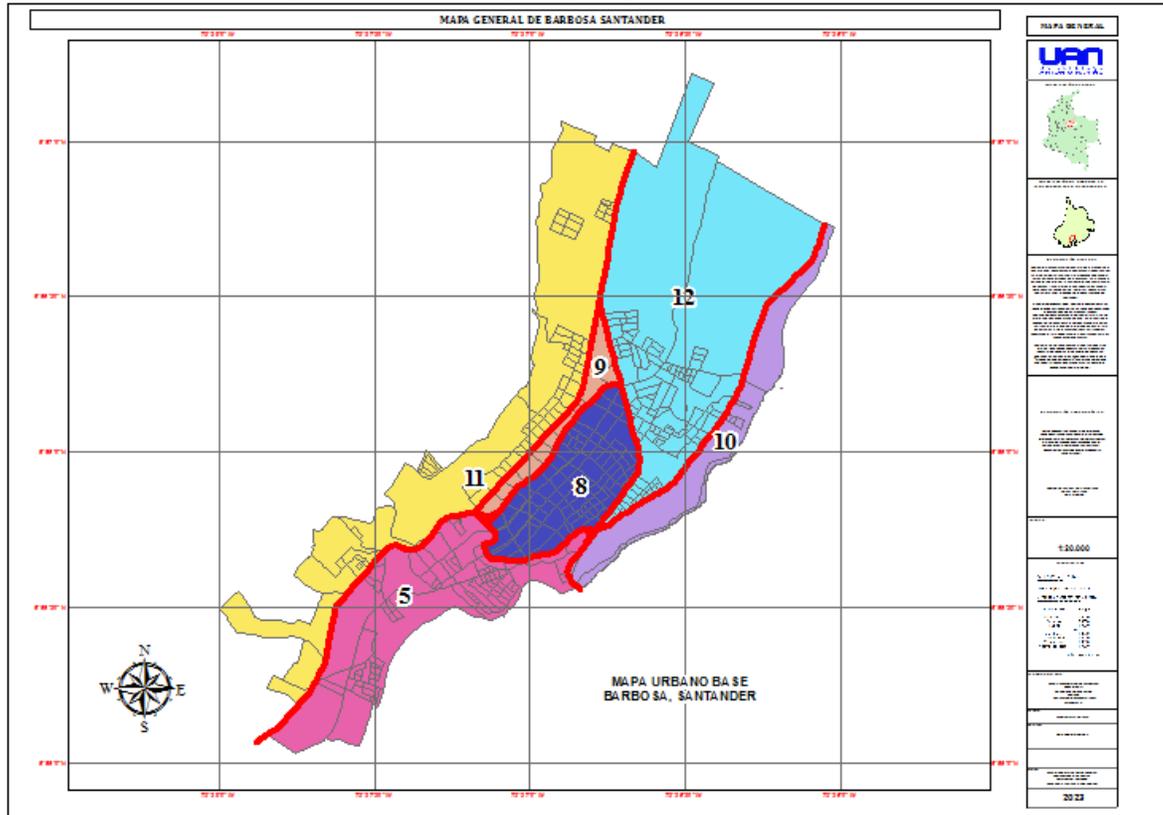


*Nota: Propia*

La importancia de realizar esta primera sectorización, es que se distribuyen circuitos de red en cada zona, sin que se pase a la otra, puesto que las barreras naturales y las vías principales son obstáculos que interfieren al momento del tendido del cableado y así poder lograr una distribución eficiente y ordenada.

Con el resultado obtenido, mediante un análisis espacial se crean las sentencias para enviar el código de ID de Cluster a una capa de polígonos para que la clasificación de las unidades habitacionales sea más precisa.

**Ilustración 30. Sectorización por Barreras naturales y vías principales**



*Nota: Propia*

Posteriormente, la técnica agrupación y clasificación, es uno de los métodos más utilizados en el aprendizaje automático, se realiza la clasificación de las unidades habitacionales de acuerdo al rango planteado. La herramienta Clustering es un método de aprendizaje automático no supervisado para determinar el clustering natural en sus datos.

Ilustración 31. Funciones de código Python para Algoritmo Clustering

```
#Geozonas_Dissolve
fc_pol20 = arcpy.management.Dissolve(fc_pol_k, fc_pol_l, "CLUSTER_ID", None, "MULTI_PART", "DISSOLVE_LINES", '')

#und_hab_con_clusterID
fc_pol21 = arcpy.ca.JoinAttributesFromPolygon(fc_und, fc_pol_l, "CLUSTER_ID")
fc_pol22 = arcpy.conversion.ExportFeatures(fc_pol21, fc_pol_m, '', "NOT_USE_ALIAS", 'DPTO "DPTO" true true false 5 Text 0 0,First,#,unidades_habi

#eliminar campo de unidades habitacionales
fc_pol23 = arcpy.management.DeleteField(fc_und, "CLUSTER_ID", "DELETE_FIELDS")

fc_pol36 = arcpy.analysis.Statistics(fc_pol_m, fc_pol_n, "CLUSTER_ID COUNT", "CLUSTER_ID", '')
fc_pol37 = arcpy.management.JoinField(fc_pol_l, "CLUSTER_ID", fc_pol_n, "CLUSTER_ID", "COUNT_CLUSTER_ID", "NOT_USE_FM", None)

fc_pol38 = arcpy.management.AddField(fc_pol_l, "Zona", "LONG", None, None, None, '', "NULLABLE", "NON_REQUIRED", '')
fc_pol39 = arcpy.management.CalculateField(fc_pol_l, "Zona", "$feature.CLUSTER_ID", "ARCADE", '', "TEXT", "NO_ENFORCE_DOMAINS")

fc_pol40 = arcpy.management.AddField(fc_pol_l, "Cant_Un_Hab", "LONG", None, None, None, '', "NULLABLE", "NON_REQUIRED", '')
fc_pol41 = arcpy.management.CalculateField(fc_pol_l, "Cant_Un_Hab", "$feature.COUNT_CLUSTER_ID", "ARCADE", '', "TEXT", "NO_ENFORCE_DOMAINS")
fc_pol42 = arcpy.management.DeleteField(fc_pol_l, "COUNT_CLUSTER_ID;CLUSTER_ID", "DELETE_FIELDS")
```

*Nota: Propia*

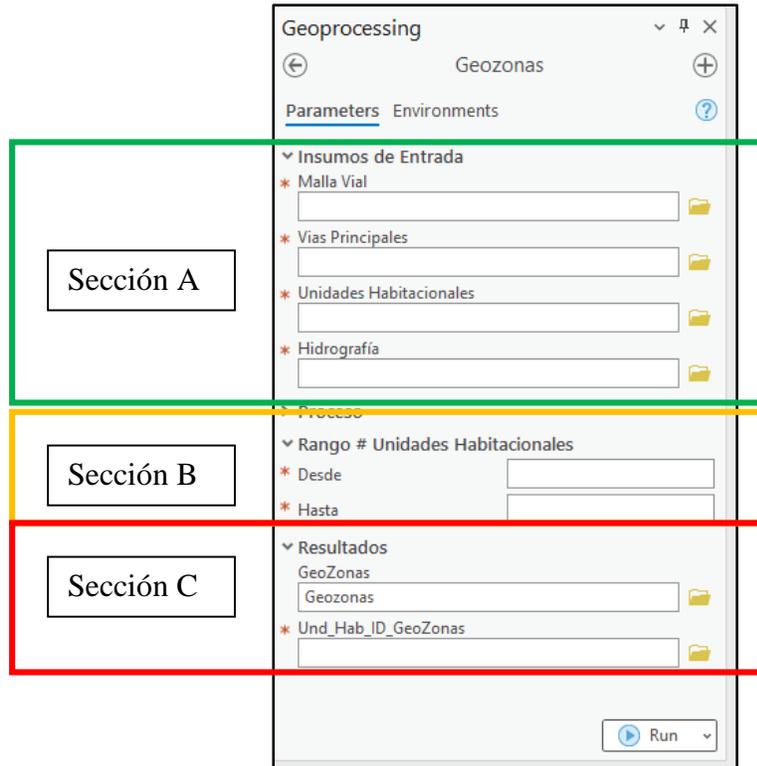
Estos son métodos no supervisados, ya que no requieren un conjunto de características clasificadas para entrenar y determinar la agrupación de sus datos. Seguido a ello, la meta es subdividir y crear una capa de polígonos de geo-zonas para clasificar las unidades habitacionales dentro de un rango de 550 a 950 registros, siempre y cuando no altere la sectorización ya creada, con el fin de que las geo-zonas sean homogéneas y limitadas por barreras naturales para que se implemente un diseño de red de fibra FTTH óptimo.

### 6.4.3. Ejecución.

En el software de ArcGIS Pro, se realiza el diseño del Toolbox. para ejecutar este algoritmo, dicho script, permite obtener un “Front” o una visual más amigable con el usuario final, con el fin de que le sea más entendible la ejecución del algoritmo. Esta visual se divide en 3 secciones.

- Sección A: Son las capas (Shapefiles) requeridas de Entrada (insumos).
- Sección B: Es el rango de Unidades Habitacionales (Desde 550 Hasta 950).
- Sección C: Son las capas (Shapefiles) de Resultado.
  1. Geo-zonas, Polígonos con la cantidad de Und\_Hab por geo-zona.
  2. Und\_Hab, Puntos con el ID de las Geo-zonas creadas.

**Ilustración 32. Interfaz gráfica del Script**



Tomado de: (ESRI, 2021)

Un toolbox personalizado permite agrupar y organizar las herramientas específicas se necesitan para ejecutar un trabajo recurrente. Al tener acceso rápido y fácil a estas herramientas, se mejora la eficiencia y se ahorra tiempo en la ejecución de tareas repetitivas o complejas. Este diseño ofrece flexibilidad y escalabilidad ya que los usuarios pueden agregar, modificar o actualizar herramientas según sea necesario. Esto permite adaptarse a medida que las necesidades y los requisitos se modifican con el tiempo.

#### 6.4.4. Documentación.

Es de carácter comunicativo, con ello se evalúa la habilidad del estudiante para explicar a terceros el funcionamiento de su programa y el significado de cada componente utilizado. (Garcia, 2003). Estos son los ítems básicos, ver **Tabla 7**.

**Tabla 7. Documentación de Algoritmo**

<b>Documentación</b>
Descripción general
Entradas y Salidas
Requisitos y dependencias
Parámetros y Opciones
Ejemplos y usos
Pseudocódigo
Limitaciones
Consideraciones

Es imperativo documentar toda información relevante en esta sección para garantizar una comprensión clara y profunda por parte de los lectores. Esta práctica minuciosa y detallada no solo facilita la interpretación actual, sino que también allana el camino para futuras investigaciones, permitiendo el desarrollo de trabajos subsecuentes con un rigor y calidad excepcionales. La implementación de los hallazgos de esta investigación tiene el potencial de provocar un cambio significativo, cultivando la adopción de las buenas prácticas en los sistemas de información geográfica y reforzando la innovación y ética profesional.

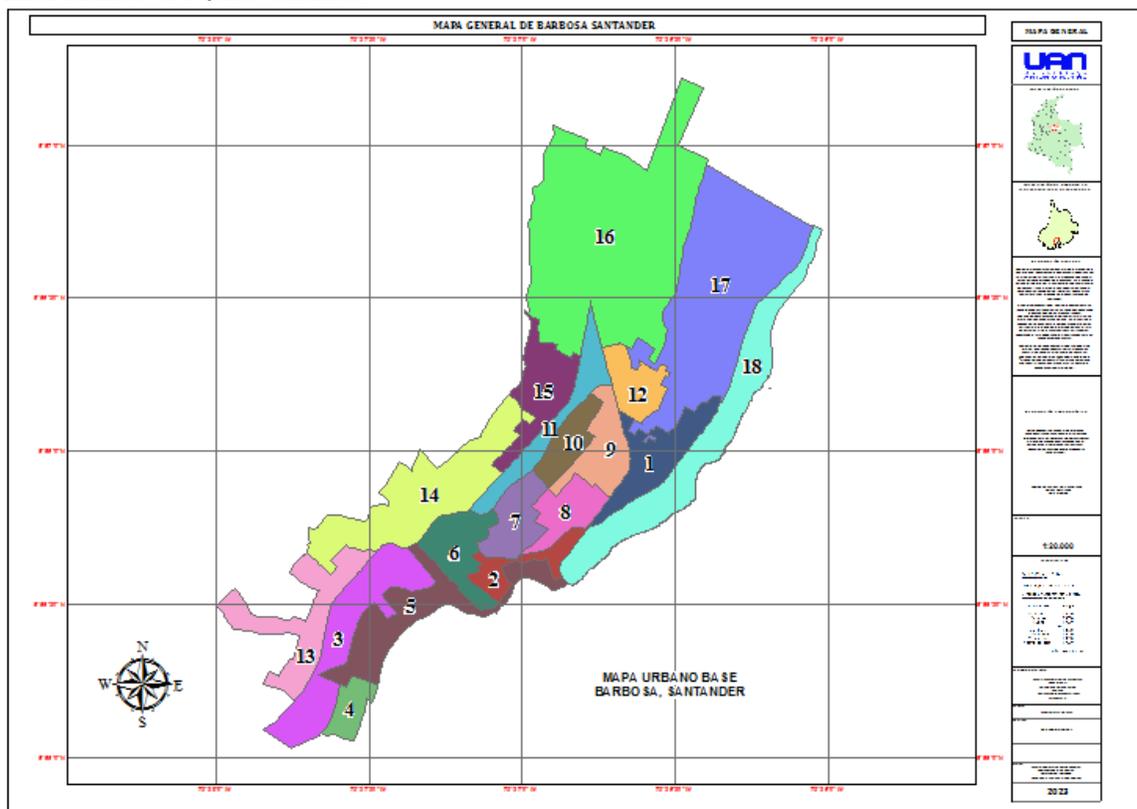
## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo. Se obtuvieron dos Capas resultantes al finalizar la Ejecución del Script.

### Geo-zonas:

La capa de salida resultante se compone de una geometría de polígonos que representa 18 geo-zonas establecidas. Estas zonas son estratégicamente subdivididas considerando el número predefinido de unidades habitacionales. Además, se tomaron en cuenta factores críticos como las barreras naturales y las vías principales, las cuales se establecieron como variables de entrada para este análisis.

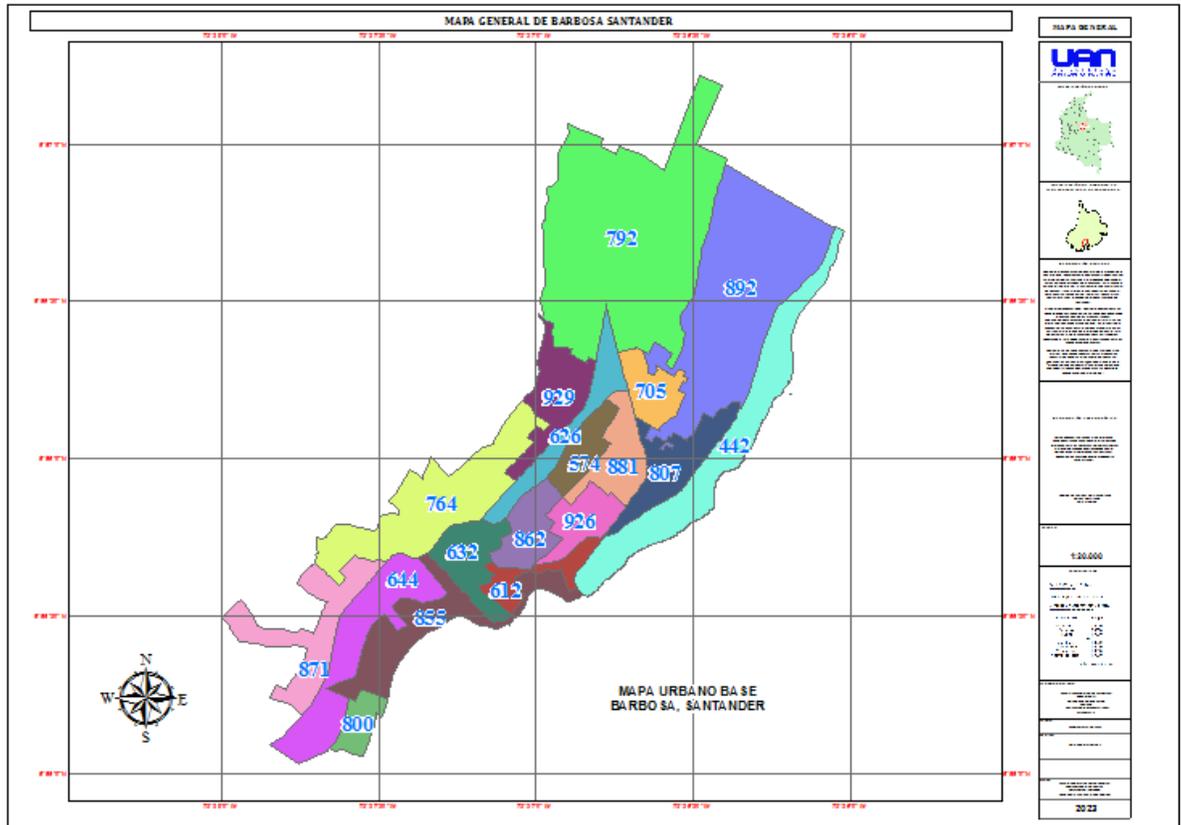
Ilustración 33. Geo-zonas Obtenidas



Nota: Propia

Este logro es de suma importancia para el cumplimiento de este trabajo, ya que evidencia la creación ordenada, precisa y estéticamente agradable de geo-zonas. Cumple con su funcionalidad, proporcionando una visualización clara y útil de la distribución de las unidades habitacionales en el área estudiada. Ver **Ilustración 34**.

**Ilustración 34. Cantidad de Unidades Habitacionales por geo-zona**



Nota: Propia

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de la capa de Geo-zonas, se observa la cantidad de unidades habitacionales agregadas en cada Geo-zona creada y que garantiza que todas las unidades habitacionales fueron categorizadas en cada una de las geo-zonas. Se puede observar que la cantidad de unidades habitacionales por zona se mantiene dentro de un rango bastante equilibrado, con la excepción de la zona 18 que presenta un número ligeramente menor. Esta distribución equitativa es un indicador de que el algoritmo ha logrado un balance en la asignación de las unidades habitacionales en cada geo-zona.

**Tabla 8. Atributos de Geo-Zonas**

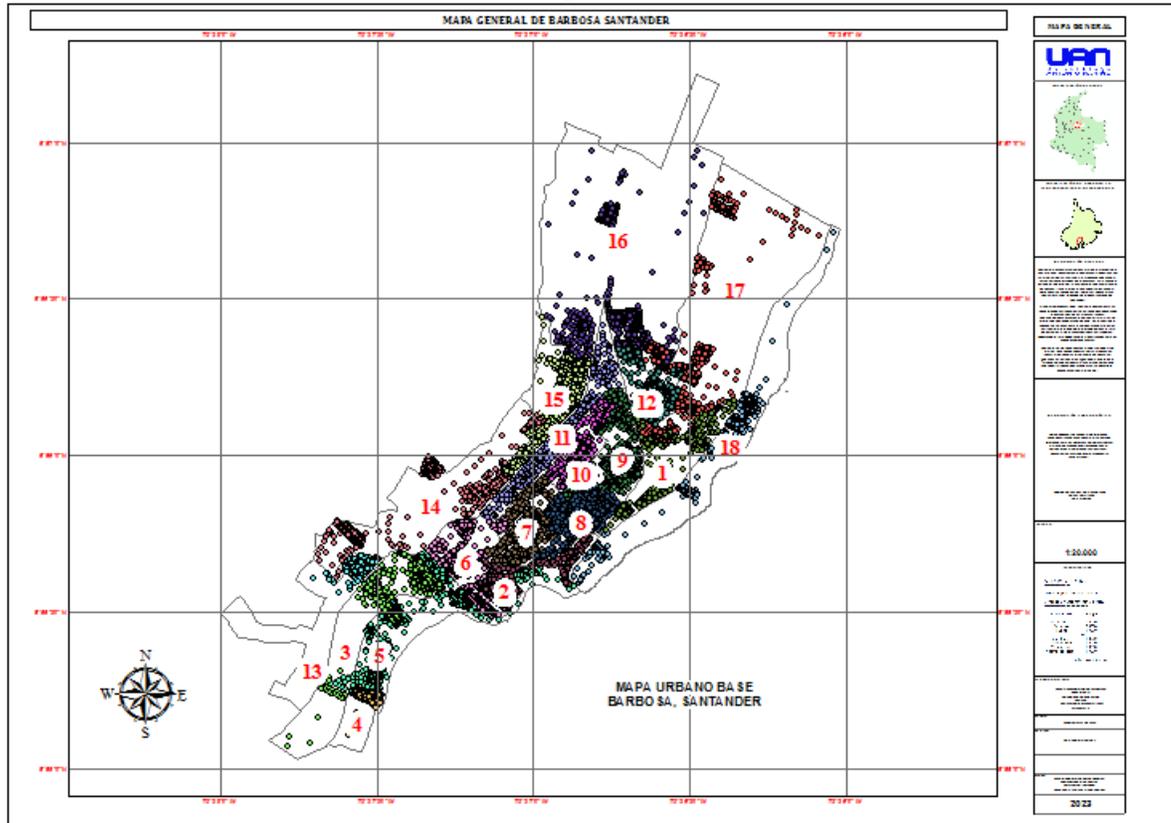
<b>GeoZona</b>	<b>Cant_Und_Hab</b>
1	807
2	612
3	644
4	800
5	855
6	632
7	862
8	926
9	881
10	574
11	626
12	705
13	871
14	764
15	929
16	792
17	892
18	442

De acuerdo a lo anterior, este equilibrio asegura que ninguna geo-zona esté sobrecargada o desatendida, permitiendo una implementación más eficiente de la red de fibra óptica. Por lo tanto, se puede concluir que el algoritmo de zonificación geográfica urbana ha cumplido con su objetivo, facilitando una distribución lógica y balanceada de las unidades habitacionales en el municipio de Barbosa, Santander.

#### **Unidades habitacionales con Geo-zona:**

En la **Ilustración 35**, se puede apreciar la distribución de las unidades habitacionales por cada geo-zona. Este resultado demuestra la efectividad del algoritmo en la creación de geo-zonas contiguas que facilitan una secuencia geográfica lógica de las unidades habitacionales en el municipio de Barbosa, Santander.

**Ilustración 35. Distribución de Unidades Habitacionales por Geo-Zona**



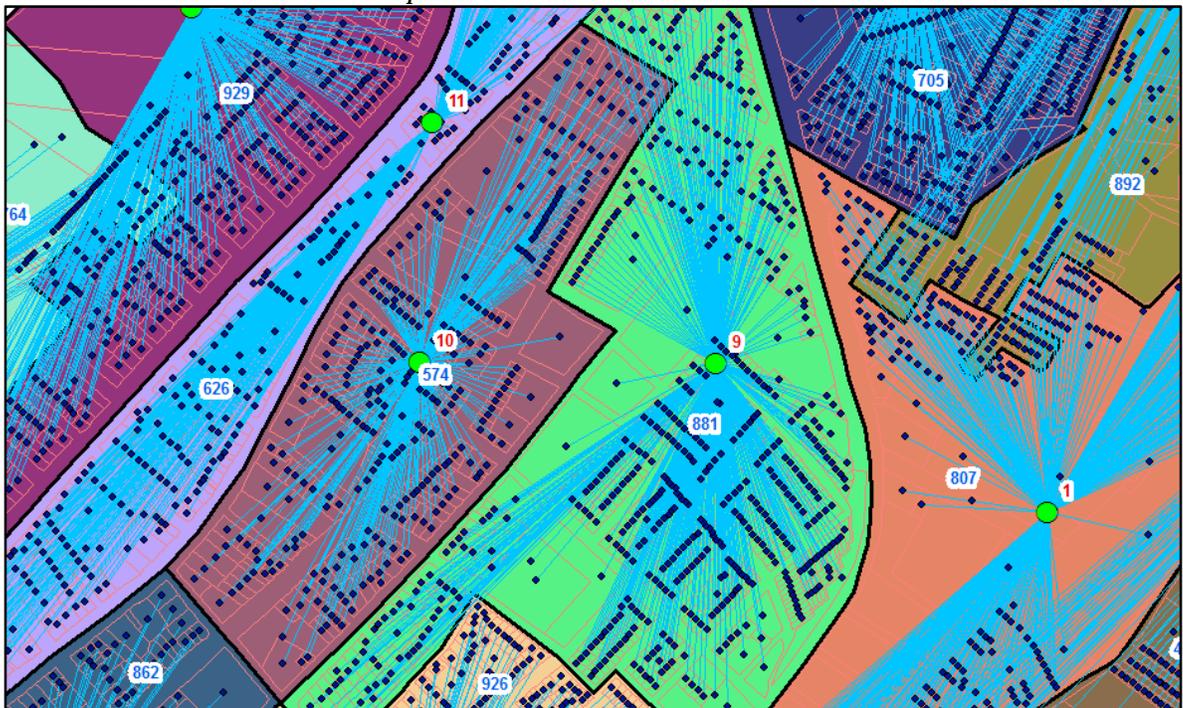
Tomado de: Servinformacion.com

Este resultado, además de ser visualmente atractivo, facilita la planificación y la implementación de la red de fibra óptica, garantizando un despliegue eficiente y ordenado de la infraestructura en el municipio de Barbosa.

## 7.1. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO DE ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA URBANA

De acuerdo a los resultados obtenidos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se logra identificar la correcta distribución, ya que se crearon Geo-Zonas de acuerdo a rango establecido por cantidad de unidades habitacionales para cada Geo-zona, (desde 550 hasta 950 unidades habitacionales).

**Ilustración 36. Unidades Habitacionales por Geo-Zona**



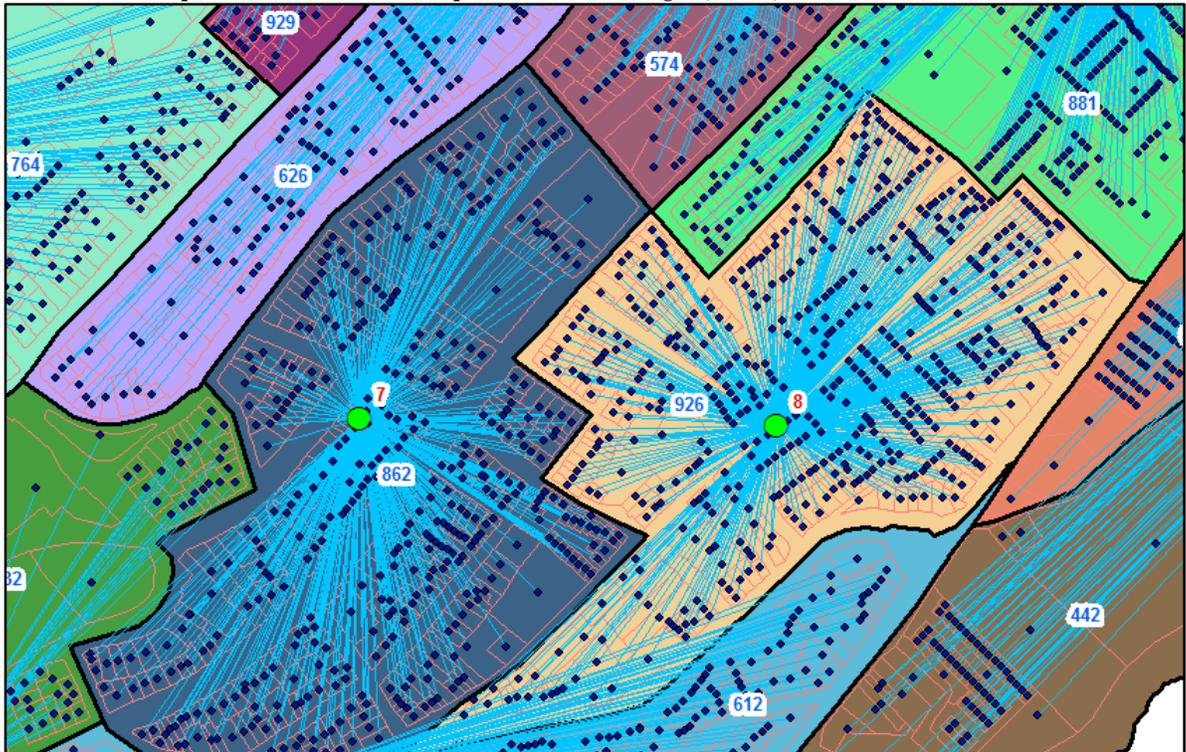
Tomado de: Servinformacion.com

Este rango fue seleccionado con el propósito de mantener un equilibrio entre la densidad de población y la capacidad de la infraestructura de fibra óptica. Al mantener la cantidad de unidades habitacionales dentro de este rango para cada Geo-zona, el algoritmo asegura una distribución equitativa, permitiendo una implementación eficiente de la red y garantizando que ninguna zona se sature ni se quede desatendida.

## 7.2. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO EN LA PLANIFICACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA

Estos resultados abren la posibilidad de minimizar los costos asociados con la instalación de redes de fibra óptica (FTTH). Al establecer un circuito de red por cada Geo-zona, cubrimos eficientemente la totalidad de las unidades habitacionales en el municipio de Barbosa. Además, se reducen las distancias en las asignaciones de unidades habitacionales en zonas remotas, optimizando aún más el proceso de instalación.

Ilustración 37. Implementación de Geo-Zona para Red hasta el Hogar (FTTH)



Tomado de: Servinformacion.com

En este punto, se demuestra la capacidad del algoritmo para adaptarse a los criterios preestablecidos y para crear Geo-zonas que cumplan con las especificaciones requeridas, lo

cual es esencial para el éxito de la implementación de la red de fibra óptica en el municipio de Barbosa, Santander.

## 8. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un nuevo algoritmo de agrupamiento semisupervisado especialmente diseñado para datos de unidades habitacionales y múltiples variables independientes. Se emplearon análisis de agrupamiento geo espacial para diseñar 18 geo-zonas en el sector urbano del municipio de Barbosa, Santander, en función de las unidades habitacionales, contemplando las buenas prácticas de los sistemas de información geográfica.

Los resultados demuestran que el algoritmo de zonificación geográfica urbana ha sido exitoso en distribuir de manera equilibrada las unidades habitacionales teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la **Tabla 8**. Esto garantiza que ninguna zona quede sobrecargada ni desatendida, lo que facilita una implementación eficiente y equitativa de la infraestructura de fibra óptica para el municipio.

La capacidad del algoritmo para generar geo-zonas que respetan barreras naturales y vías principales indica una optimización en la asignación de recursos y tiempo. Al evitar zonas de difícil acceso o que requieren una mayor inversión de recursos, esto contribuye a la reducción de costos y tiempo de instalación de la red de fibra óptica. Este resultado sugiere que la implementación de la red de fibra óptica será más eficiente y rentable, mejorando significativamente la viabilidad del proyecto.

## 9. RECOMENDACIONES

Para fortalecer aún más la metodología propuesta, puede ser útil realizar pruebas adicionales del algoritmo de zonificación con diferentes configuraciones y parámetros. Esto podría ayudar a asegurar que el algoritmo funciona de manera efectiva en distintas circunstancias.

Puede ser valioso comparar los resultados obtenidos con esta metodología con los de otros métodos existentes de zonificación geográfica. Esto podría ayudar a demostrar la superioridad de la metodología propuesta, o identificar áreas en las que podría mejorarse.

Para demostrar la aplicabilidad general de la metodología, es beneficioso aplicar este algoritmo de zonificación a otros municipios o ciudades. Esto ayuda a demostrar que la metodología es útil no solo en Barbosa, Santander, sino en una variedad de contextos geográficos.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdellaoui, Z., Dieudonne, Y., & Aleya, A. (2021). Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON. *Array*, 10(January), 100058. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>
- AKAR, A. U., & UYMAZ, S. A. (2022). Clustering Neighborhoods According To Urban Functions and Development Levels By Different Clustering Algorithms: a Case in Konya. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8055, 889–902. <https://doi.org/10.36306/konjes.1158414>
- Camargo, V. M. C. (2020). *Plan de desarrollo Barbosa, Santander 2020 - 2023 Una nueva historia*.
- Chen, H., Li, Y., & Shen, G. (2015). Planning for passive optical network deployment with K-means clustering-based approach. *Asia Communications and Photonics Conference, ACPC 2015, June*, 2–5. <https://doi.org/10.1364/acpc.2015.am2e.2>
- Chen, P. C., & Lin, Y. T. (2022). Exposure assessment of PM2.5 using smart spatial interpolation on regulatory air quality stations with clustering of densely-deployed microsensors. *Environmental Pollution*, 292(PB), 118401. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118401>
- CNT. (2009). SECTOR DE LAS COMUNICACIONES Y TELECOMUNICACIONES - Jurisdicción y competencia / LEY 142 DE 1994 - Vigencia / LEY 1341 DE 2009 - Vigencia. In *American Journal of Research Communication* (Vol. 5, Issue August). [http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Doc/Overview of Arc Hydro terrain preprocessing workflows.pdf](http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Doc/Overview%20of%20Arc%20Hydro%20terrain%20preprocessing%20workflows.pdf) <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.003> <http://sites.tufts.edu/gis/files/2013/11/Watershed-and-Drainage-Delineation-by-Pour-Point.pdf> <http://www>
- Cortes, A. (2017). *Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios*. 7, 20–25. <http://ridda2.utp.ac.pa/handle/123456789/120>

- Den Eynde, S. Van, Audenaert, P., Colle, D., & Pickavet, M. (2022). Multilevel clustering in Point-to-Point Fiber Network Design. *2022 European Conference on Optical Communication, ECOC 2022*.
- ESRI. (2015). *Automatización en ArcGIS Pro con Python*.
- ESRI. (2021). *ArcGIS Pro - Implementation Guide*.
- Gallardo, J. L., Ahmed, M. A., & Jara, N. (2021). Clustering algorithm-based network planning for advanced metering infrastructure in smart grid. *IEEE Access*, 9, 48992–49006. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3068752>
- Garcia, J. (2003). *Algoritmos y Programación*. 1–96.
- Garcia Rendon, J. J., & Posada Aparicio, J. P. (2017). Demanda de internet: el sector mayorista de telecomunicaciones colombiano. *Revista de Economía Del Rosario*, 19(2), 175. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/economia/a.5624>
- González, A. F. S. (2018). *Impacto del Proyecto Nacional de Fibra Óptica en el desempeño académico a nivel municipal en Colombia*. 1–30.
- Guerra de la Espriella y Oviedo. (2011). De las telecomunicaciones a las TIC. In *Cepal* (Vol. 1).
- Icontec. (2010). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5661. 571*.
- IDEAM. (2020). *Clasificación Climática, Departamento de Santander*. 1199920.
- IGAC. (2016a). *Catálogo De Objetos De Catastro*. [https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/anexo\\_6.\\_catalogo\\_de\\_objetos\\_catastrales.pdf](https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/anexo_6._catalogo_de_objetos_catastrales.pdf)
- IGAC. (2016b). Catálogo de objetos geográficos cartografía básica digital. *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, 371.
- IGAC. (2021a). *Actualización Catastral para gestores*.
- IGAC. (2021b). *Política del Catastro Multipropósito*.
- IGAC v2.2. (2021). *Cartografía básica de Colombia*.
- Le, H. N. (2014). FTTH network optimization. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 2014(4), 88–99.
- M.Al-Quzwini, M. (2014). Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH Access Network based on GPON. *International Journal of Computer Applications*, 92(6), 30–

42. <https://doi.org/10.5120/16015-5050>

- Matrood, Z. M., George, L. E., & Mahmood, F. H. (2014). A Simple GIS Based Method for Designing Fiber-Network. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 4(2), 49–57.
- MINTIC. (2022). *Plan Estratégico de Tecnologías de Información ( PETI ) de MinTIC 2019 – 2022 Oficina de Tecnologías de la Información Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. 57(1).
- MinTrabajo. (2013). *Perfil productivo, Municipio Barbosa*.
- Montoya Isaza, Andrés; Olarte Cadavid, A. M. (2005). El TLC y el sector de las telecomunicaciones en Colombia : *Director*, 72–93.
- PEÑA, K. J. S., ABRIL, L. L. M., & CORREDOR, L. A. C. (2014). *Renovacion urbana barbosa santander*.
- Polany, R., Kepner, J., Fellow, L. L., Supervisor, T., & Hale, P. (2001). Multidisciplinary System Design Optimization of Fiber-Optic Networks within Data Centers Rany Polany System Design and Management Program. *B.S. Cellular and Molecular Biology*.
- Sahebali, M. W. W., Sadowski, B. M., Nomaler, O., & Brennenraedts, R. (2021). Rolling out of fibre optic networks in intermediate versus urban areas: An exploratory spatial analysis in the Netherlands. *Telecommunications Policy*, 45(5), 102080. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102080>
- Servinformacion. (2023). *Catálogo de Objetos Geográficos*.
- Song, H., Yang, J., Liu, Y., Jiang, Z., Wang, S., Chen, L., & Zhao, X. (2023). *Research on Base Station Site Planning Based on Cluster Analysis and Azimuth Analysis Model*. 34, 450–457.
- Suárez, D. E. G. (2019). *Diseño de la nueva red de fibra óptica para distribución de servicios de internet y televisión para 800 usuarios de la zona urbana del municipio de Monquirá-Boyacá*. 1–23.
- Tafurt, C. M. P. (2013). FTTH como respuesta a la creciente demanda de ancho de banda. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.
- Terridata. (2023). *Demografía y población*. 094, 1–22.
- Tomlinson, R. (2018). Thinking about GIS. *Judaism, Christianity, and Islam: The Classical*

*Texts and Their Interpretation, Volume III, 263–327.*  
<https://doi.org/10.2307/j.ctv39x8p3.11>

Valencia, J. G. (2015). *Evolución y servicios para las TIC en Colombia implementados sobre fibra óptica*. <http://bibliotecadigital.iue.edu.co/xmlui/handle/20.500.12717/1644>

Yang, W., Zhao, Y., Wang, D., Wu, H., Lin, A., & He, L. (2020). Using principal components analysis and idw interpolation to determine spatial and temporal changes of Surfacewater quality of Xin'Anjiang river in huangshan, china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 1–14.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17082942>