

**ESTIMACIÓN DE RUTAS Y TIEMPOS DE RESPUESTA DE LOS ORGANISMOS
DE SOCORRO EN LA CIUDAD DE MANIZALES, APOYADO EN
HERRAMIENTAS SIG**



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

**LAURA MELISSA CASTELLANOS GIRALDO
MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

**ESTIMACIÓN DE RUTAS Y TIEMPOS DE RESPUESTA DE LOS ORGANISMOS
DE SOCORRO EN LA CIUDAD DE MANIZALES, APOYADO EN
HERRAMIENTAS SIG**

**LAURA MELISSA CASTELLANOS GIRALDO
MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ LÓPEZ**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
Al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA
MANIZALES
2015**

AGRADECIMIENTOS

Durante el proceso de realización del proyecto de grado, son varias las instituciones y las personas las que con su ayuda desinteresada hicieron posible este trabajo.

En primer lugar queremos agradecer al docente Luis Carlos Correa Ortiz, Ingeniero Electrónico, Docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, y tutor de este proyecto por el apoyo y el tiempo prestado, y que con sus aportes y ayuda constante contribuyeron tanto a la mejora del mismo.

Al ingeniero Mauricio Zuluaga, por brindar una buena orientación que permitió que el desarrollo técnico del proyecto saliera de la mejor forma, además por facilitarnos la información necesaria para realizar gran parte de este.

A todos los docentes de la especialización que con su enseñanza formaron en nosotras el conocimiento necesario para realizar cualquier proyecto SIG.

Y por último a la Universidad de Manizales, al programa de Especialización en Sistemas de Información Geográfica y al director José Fernando Mejía Correa por ser ese puente entre las personas nombradas anteriormente y nosotras como estudiantes.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	6
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	11
1.1 DESCRIPCIÓN	11
1.2 DELIMITACIÓN.....	11
1.3 FORMULACIÓN.....	12
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1 ANTECEDENTES.....	21
4.1.1 ANTECEDENTE LOCAL	22
5. METODOLOGÍA	23
6. RESULTADOS.....	24
6.1 Recolección de la información	24
6.1.1 Mapa de densidad de la población	24
6.1.2 Distribución espacial de los organismos de socorro	25
6.1.3 Distribución espacial de los Hospitales de la Ciudad de Manizales...	26
6.1.4 Mapa de vías de la ciudad de Manizales.....	27
6.1.5 Integración en ArcGIS de las capas anteriores	28
6.2 Cálculo de rutas y tiempos de respuesta	29
6.2.1 Ubicación de posibles incidentes en la ciudad de Manizales	29
6.2.2 Ruta de un organismo de socorro a incidente	30
6.2.3 Ruta completa: Organismo de socorro – Incidente – Hospital.....	32
6.2.4 Generación de nuevas rutas por barreras o incidentes dentro de la ruta generada.....	33
6.3 Posibles nuevas ubicaciones para los organismos de socorro	34
6.3.1 Calculo de los centroides de cada comuna.	34
6.3.2 Establecimiento de posibles ubicaciones de los organismos de socorro.	35

6.3.3	Calculo de la mejor ubicación.....	36
7.	CONCLUSIONES	37
8.	RECOMENDACIONES.....	38
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de sistemas de un SIG [1].....	15
Figura 2. Cruzamiento entre la trama urbana de la ciudad	21
Figura 3. Vecino más cercano, Centro de Gravedad Simple y Radio de Influencia [6]	22
Figura 4. Mapa de densidad de población Manizales	24
Figura 5. Mapa con ubicación de organismos de socorro Manizales	25
Figura 6. Mapa con ubicación de hospitales y centros de salud Manizales	26
Figura 7. Mapa de vías Manizales.....	27
Figura 8. Integración vías, organismos de socorro y hospitales Manizales.....	28
Figura 9. Mapa con ubicación de posibles incidentes	29
Figura 10. Ruta desde organismo de socorro a incidente	30
Figura 11. Tabla con descripción de ruta, tiempo y distancia.....	31
Figura 12. Rutas desde organismo de socorro – Incidente – Hospital	32
Figura 13 Recalcular nuevas rutas por barreras	33
Figura 14 Mapa de las comunas y sus centroides.	34
Figura 15 Establecimiento de posibles ubicaciones.	35
Figura 16 Mapa Mejor ubicación.	36

GLOSARIO

Dataset de Red:

Los datasets de red son apropiados para modelar redes de transporte. Se crean a partir de entidades de origen, que pueden incluir entidades simples (líneas y puntos) y giros, y almacenar la conectividad de las entidades de origen. (ArcGIS Resource center, 2015)

Densidad de Población:

La densidad de población es una medida de distribución de población de un país o región, que es equivalente al número de habitantes dividido entre el área donde habitan. Indica el número de personas que viven en cada unidad de superficie. (Geografía Plus, 2015)

GeoDatabase:

En su nivel más básico, una geodatabase de ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario DBMS (por ejemplo Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix o IBM DB2). Las geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta geodatabases de grupos de trabajo más grandes, departamentos o geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios. (ArcGIS Resource center, 2015)

Grafos

La aplicación de la teoría de grafos responde principalmente a un análisis descriptivo explicativo, es decir, al estudio morfométrico de las redes para conocer su estructura y desarrollo, y toma relevancia en este proyecto como herramienta de análisis vial como factor para determinar el tiempo de respuesta [3]

Organismos de Socorro

En Colombia, entre los organismos de socorro se encuentran la Defensa Civil Colombiana, el Sistema Nacional de Bomberos, la Cruz Roja Colombiana, entre otros, desempeñando sus funciones como componente esencial del desarrollo cultural, social y como elemento clave del fortalecimiento de las capacidades personales, la consolidación de los derechos humanos, el desarrollo sostenible, la democracia y la paz, en un marco de justicia. Estas instituciones tienen presencia

en todo el territorio colombiano y están al servicio de la nación, de su independencia cultural, política y tecnológica, para contribuir a preservar el patrimonio del pueblo, sus recursos naturales y su medio ambiente.

Tanto la Defensa Civil Colombiana como los demás organismos de socorro mencionados anteriormente participan en la atención de la emergencia natural: inundaciones, terremotos, incendios forestales, accidentes terrestres, aéreos y fluviales, huracanes, sismos, entre otros; participan en la atención de la emergencia social: desplazados, marginados, pobreza, droga, sida, violencia y medio ambiente, entre otros; así mismo, participan de la emergencia ambiental: prevención de la contaminación, reciclaje, reforestación, entre otros [2].

Tiempo de respuesta:

El tiempo de respuesta se define como el tiempo que pasa desde que se envía una comunicación y se recibe la respuesta.

RESUMEN

Con el proyecto que se presenta a continuación se muestra espacialmente la ubicación de todos los organismos de socorro y hospitales en la ciudad de Manizales y, por medio de herramientas geográficas, análisis de datos de tiempo, distancia y vías. Presenta una propuesta para mejorar el servicio que prestan dichas entidades, contribuyendo a la toma de decisiones informadas por parte de los entes públicos y privados involucrados en los servicios de atención a emergencias.

PALABRAS CLAVES: Organismo de Socorro, Tiempo de Respuesta, SIG.

ABSTRACT

The project presented below, spatially shows the location of all relief agencies and hospitals in the city of Manizales, through geographic tools, data analysis, time, distance and routes. It presents a proposal to improve the service provided by these entities, contributing to informed decision-making by public and private entities involved in emergency care services

KEY WORDS: Aid agencies, Response time, GIS.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Manizales ha tenido una gran evolución en su red vial en los últimos años, dichos cambios implican una implementación de nuevos estudios para una gran variedad de análisis, los cuales son requeridos por entidades públicas y privadas para la toma de decisiones.

Los sistemas de información geográfica son herramientas de gran importancia ya que facilitan estos procesos de análisis; en este proyecto se tuvo en cuenta específicamente la ubicación espacial de los organismos de socorro y hospitales para hacer un análisis geográfico de cobertura, tiempo de respuesta y estudios de rutas, apoyadas con el mapa de vías de la ciudad; todo esto con el fin de que se convierta en un mecanismo útil y eficaz para dichos organismos y para la sociedad en cuanto a la atención pertinente de una emergencia.

Para el montaje de la cartografía, la ubicación espacial de los puntos y los respectivos análisis, se apoyó en la herramienta ArcGIS, sistema que permite administrar información geográfica.

Actualmente en la ciudad de Manizales, se presentan problemas en la movilidad por el incremento del parque automotor, esto produce retrasos en la respuesta de los organismos de socorro (bomberos, defensa civil y cruz roja) y por ende ineficiencia e inconformidad por parte de la sociedad; además del problema de movilidad, se nota una mala ubicación de dichas entidades lo cual impide tener una cobertura eficaz y una respuesta oportuna.

En el proyecto que continuación se desarrolla, se podrá encontrar mapas con la ubicación geográfica en la ciudad de Manizales de hospitales y organismos de socorro, vías de la ciudad de Manizales y el cálculo de la mejor ruta para atender una emergencia entre otros, utilizando las extensiones de ARCGIS como NetworkAnalyst y otras herramientas para el cálculo de centroides y la creación de mapas de densidad.

1 ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCIÓN

Los organismos de socorro tienen como principal objetivo brindar una atención inmediata a la sociedad en caso de desastres, contingencias ocasionales y emergencias entre otros eventos que amenacen la vida o el bienestar de cualquier persona sin discriminar género, raza, idioma, religión o condición social; además, les compete desarrollar programas de concientización, prevención e intervención que ayuden a evitar y disminuir el índice de accidentalidad y mortalidad en la ciudad, tal como lo estipula en el artículo 2° de la Constitución Política de Colombia –inciso 2°.

El tiempo de respuesta de los organismos de emergencia en algunos casos toma más tiempo del establecido, esto se da tanto al momento de llegar al punto donde se encuentra la emergencia como al momento de transportar a los pacientes al centro de salud correspondiente.

El tiempo es una de las variables que más afectan a los pacientes y con lo que se deben enfrentar los organismos de emergencias a diario, ya que de éste depende la vida de las personas, para poder hacerles los tratamientos y los procesos necesarios, e impedir que su estado de salud se complique.

Uno de los factores que influyen en el tiempo de respuesta que tienen los organismos de socorro, es la congestión vehicular que existe en un determinado tiempo, el horario regular de trabajo en la ciudad de Manizales oscila entre 7:00 am a 12:00 m y las 2:00 pm a 6:00 pm, lo que convierte al inicio y final de la jornada en horas pico. Otro de los factores es el volumen de automóviles que según el programa ciudadano “Manizales cómo vamos” en el 2014 realizó un estudio sobre el porcentaje de hogares con vehículo y declara que por cada 1000 habitantes, hay un promedio de 340 vehículos, cifra preocupante ya que el promedio nacional es de 230 vehículos por cada 1000 habitantes. Además, Manizales cuenta aproximadamente con un 11% de crecimiento anual de parque automotor cuando debería ser del 3%.

1.2 DELIMITACIÓN

Este proyecto está delimitado en principio para ser realizado en la ciudad de Manizales, enfocándose principalmente en las zonas en las que se encuentran ubicados los organismos de socorro y donde hay mayor influencia de accidentalidad en la ciudad; están involucrados además de los organismos de emergencia, la secretaría de tránsito y transporte, la secretaría de salud y la territorial de salud, no sólo proporcionando información para la alimentación del sistema sino también haciendo uso de él. La comunidad se ve beneficiada en la disminución de mortalidad y gravedad de los pacientes, además que las entidades

pueden obtener unos indicadores de gestión actualizados y confiables para la rendición de cuentas al estado.

1.3 FORMULACIÓN

¿Cuál es la cobertura actual del sistema de atención de emergencias de Manizales?

¿Cuáles son los sitios en los que se hace necesario aumentar la cobertura de los organismos de emergencia?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar las rutas y tiempos de respuesta de los organismos de socorro en la ciudad de Manizales, apoyado en herramientas SIG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la distribución espacial de los organismos de socorro y hospitales sobre la cartografía de Manizales.
- Generar rutas para determinar la cobertura y el tiempo de respuesta de los organismos de socorro.
- Estimar las posibles ubicaciones de los próximos organismos de socorro que prestan el servicio a emergencias en la ciudad de Manizales.

3 JUSTIFICACIÓN

La ciudad es un espacio complejo, en ella se encuentran áreas industriales, comerciales, de servicios, barrios de todos los estratos y condiciones económicas, calles, parques y otros espacios públicos que conforman relaciones que van modificando el espacio de manera permanente. Para la geografía, el estudio de los equipamientos sociales, en este caso los institucionales, tiene un significado especial debido a la relación entre espacio geográfico y equipamientos urbanos en este caso organismos de socorro; impacta directamente el territorio, lo transforma y lo organiza debido a los servicios que prestan a la sociedad.

Se pretende realizar un estudio detallado de la ubicación espacial y el análisis de los equipamientos urbanos, en este caso los organismos de socorro vinculados a la atención de emergencias y desastres, en la ciudad de Manizales, determinando no solo la cobertura y tiempos de respuesta a emergencias sino la ubicación adecuada para la construcción de nuevas sedes de los organismos necesarios para la oportuna prestación de los servicios.

Este estudio se convertirá en un instrumento eficaz del ordenamiento territorial que generará política pública, ya que constituye una de las estrategias territoriales dirigidas a reequilibrio de un espacio geográfico y la distribución equilibrada de los equipamientos institucionales, que busca entre sus objetivos mejorar la seguridad y la calidad de vida de las personas.

4 MARCO TEÓRICO

Los SIG son un área que ha tomado fuerza en los últimos años, al punto que hoy no se concibe la generación de nueva información sin georreferenciar. Su desarrollo sin embargo viene desde los años 60 con investigaciones realizadas en Canadá relacionadas con el desarrollo de aplicaciones cartográficas para computadores [1].

Brevemente, un SIG es un conjunto que mezcla hardware, software y datos geográficos y los muestra en una representación gráfica. Los SIG están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de todas las formas posibles de manera lógica y coordinada, tal como lo muestra la Figura 1 [1].

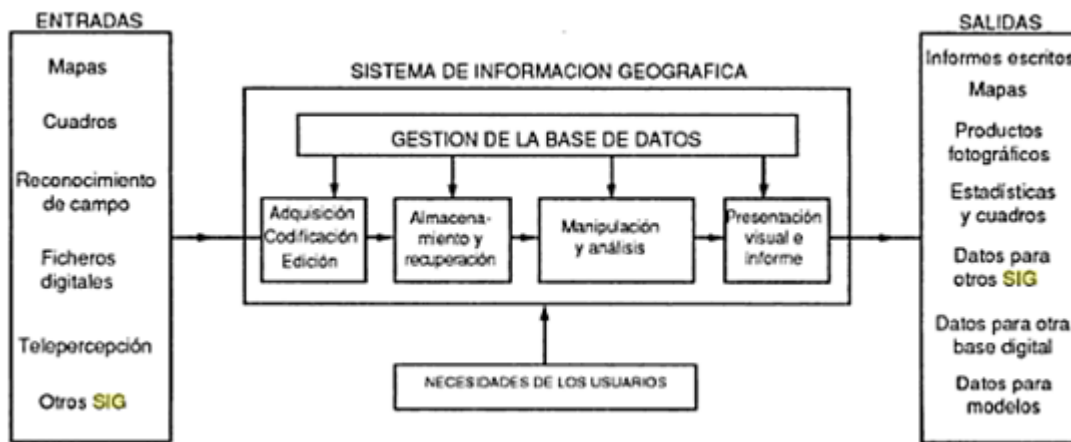


Figura 1 Diagrama de sistemas de un SIG [1]

Los SIG además, permiten relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfica. Esto quiere decir que en un solo mapa el sistema muestra la distribución de recursos, edificios, poblaciones, entre otros datos de los municipios, departamentos, regiones o todo un país.

Actualmente con el rápido avance de los SIG, todas las áreas del conocimiento lo han ido implementando y transformando según sus necesidades y sus objetivos, la información espacial ha tomado una gran importancia lo cual ha hecho que se convierta en un factor indispensable para la toma de decisiones.

Las entidades dedicadas a la atención y prevención de emergencias se han visto beneficiadas al momento de analizar y aplicar herramientas con información relacionada con los SIG. Un claro ejemplo es al momento de prevenir una gran cantidad de desastres naturales como por ejemplo tsunamis, deslizamientos, tornados, entre otros. Gracias a los SIG, sensores, imágenes satelitales pueden ver el origen y el desarrollo de los desastres naturales mencionados anteriormente

y pueden comenzar a realizar actividades de prevención y evacuación si es el caso.

Para el desarrollo de este proyecto, los organismos de socorro que intervienen en la ciudad de Manizales son: La defensa civil Colombiana, La cruz roja Colombiana y el cuerpo oficial de bomberos de Manizales.

Para los bomberos, existe una norma impuesta por la NFPA (National Fire Protection association), que es una norma para la organización y despliegue de operaciones de extinción de incendios, operaciones médicas de emergencia y operaciones especiales para el público llevadas a cabo por departamentos de bomberos profesionales y en la cual declara que el tiempo de respuesta de estas entidades, esta descrito de la siguiente manera:

- Realizar la llamada y recibirla: 1 minuto.
 - Preparación y salir: 1 minuto.
 - Movilización: 4 minutos.
 - TOTAL: 6 MINUTOS.

Los otros organismos que se encuentran en la ciudad, no tienen establecido por norma un tiempo de respuesta a la atención, ya que influyen muchas características como: estado de la vía, trafico, entre otras pero si debe de tener creado por ciudad un plan de desarrollo en la atención de desastres que está establecido por el DECRETO 919 DE 1989 "**Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones**".

En la Ley 388 de 1997 se establecen los principios que rigen el ordenamiento territorial en el país, los propósitos que debe cumplir el urbanismo en cumplimiento de su función pública, define los conceptos y términos bajo los cuales se debe abordar el ordenamiento territorial y, se establece para ello, la formulación de los planes de ordenamiento como instrumento fundamental en la planificación y el desarrollo territorial.

Se tienen en cuenta, de esta manera, elementos ambientales y de deterioro del entorno que puedan acentuar los efectos de un desastre en caso de ocurrir un fenómeno natural peligroso. Numeral 2 del Artículo 1º [son objetivos del desarrollo territorial:] "2. El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes". Numeral 4 del Artículo 3º [son fines del ordenamiento territorial. Mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales". Numerales 5 y 11 del Artículo 8º [son acciones urbanísticas:] "5. Determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para la localización de

asentamientos humanos, por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda" y "11. Localizar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención de desastres, así como las áreas con fines de conservación y recuperación paisajística". En esta ley, se retoman los postulados de la Ley 9ª de 1989 y se incluye la identificación de los asentamientos humanos localizados en zonas de alto riesgo y su relocalización, como un asunto de responsabilidad municipal. En este sentido, se hacen consideraciones sobre el manejo y control para las zonas que presentan riesgos a la ocupación por la existencia de amenazas naturales y sobre la orientación de la ocupación hacia áreas adecuadas. En consecuencia la exposición a las amenazas naturales y el riesgo son aspectos fundamentales y estructurantes de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) que deben realizar los municipios en Colombia.

Y para el plan de ordenamiento territorial en Manizales se establece que fenómenos naturales como terremotos, inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas e incendios, son las principales amenazas que tiene la ciudad, y para la determinación de estos fenómenos, la alcaldía de la ciudad de Manizales por medio de mapas temáticos y el uso herramientas SIG estableció las amenazas y riesgos en el POT de Manizales.

Mediante el taller internacional de gestión de riesgo a Nivel Local (Manizales) donde establecen el papel de corpopaldas como autoridad ambiental dentro de la gestión local del riesgo y donde definen que los fenómenos de mayor frecuencia e impacto negativo en la ciudad son los deslizamientos y se hace un recuento de los eventos catastróficos de este tipo ocurridos en Manizales, lo cual proporciona información importante para el desarrollo del proyecto como las zonas más propensas a desastres, entre ellas encontramos:

- Sector cerritos (zona inestable).
- Barrio el bosque (sobrepoblación en taludes).
- Barrio Piamonte (Erosión).
- Barrio la isla (sobrepoblación en taludes).

Una de las herramientas SIG más conocida y utilizada en el modelamiento de información geográfica es ARCGIS¹, que además de ser una de las herramientas más completas, posee extensiones para el análisis de rutas, que es lo que específicamente se hace énfasis en este proyecto.

Network Analyst es una de esas extensiones creadas para el análisis de rutas y de tiempos de respuesta y nos ayuda a aclarar preguntas como:

- La ruta para llegar más rápido de un punto a otro.
- Lugares que se encuentran más cerca o a determinado tiempo.

¹ ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

- Cobertura de lugares.
- En caso de emergencia que ruta debe tomar una ambulancia para llegar más rápido a un incidente.

Todas las herramientas para el cálculo de distancia en rutas, trabajan el mismo algoritmo, pero la diferencia varia por la salida primaria de cada herramienta.

La distancia de ruta es una herramienta principal para hacer el análisis de rutas con respecto al costo ya sea en tiempo o longitud, hay que tener en cuenta los costes horizontales y verticales y la verdadera distancia que existe entre dos puntos sobre un mapa. **La herramienta Asignación** de la distancia de la ruta emplea el algoritmo que nos retorna un raster con el que se expresa el origen más cercano de cada celda para la ubicación y la **herramienta Vínculo de menor distancia de ruta** identifica la direccionalidad del elemento próximo que es la próxima celda en la ruta de menor coste acumulado.

A continuación se muestra como es el funcionamiento de cada una de las herramientas:

- **Cálculo de la distancia de ruta:**

Las herramientas que calculan la distancia de una ruta crean primero un ráster de salida en el que se le asigna a cada celda el coste acumulativo de la celda de origen de menor coste. El algoritmo usa la representación de celda de nodo/vínculo. En esta representación, el centro de una celda se considera un nodo y cada nodo se conecta, mediante vínculos, a los nodos adyacentes.

Cada vínculo tiene una impedancia asociada, la impedancia se deriva de los costes asociados con las celdas en cada extremo de vínculo (desde la superficie de coste) y desde la dirección de movimiento

- **Costes del viaje entre nodos**

El coste de viajar de un nodo al siguiente depende de la orientación espacial de los nodos. La forma en que están conectadas las celdas también afecta el coste del viaje.

- **Coste del nodo adyacente**

Cuando se mueve desde una celda hasta uno de sus cuatro elementos próximos directamente conectados, el coste para moverse a través de los vínculos hasta el nodo vecino es 1 por la celda 1, más la celda 2, dividido por 2:

$$a1 = (\text{cost1} + \text{cost2}) / 2$$

Donde:

cost1 es el coste de viajar hasta la celda 1.

cost2 es el coste de viajar hasta la celda 2.

a1 es el coste asignado al vínculo desde la celda 1 hasta la celda 2

- **Coste perpendicular acumulativo**

El coste acumulativo se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{accum_cost} = a1 + (\text{cost2} + \text{cost3}) / 2$$

Donde:

cost2 es el coste de viajar hasta la celda 2.

cost3 es el coste de viajar hasta la celda 3.

accum_cost es el coste acumulativo para moverse hasta la celda 3 desde la celda 1.

- **Coste del nodo diagonal**

Si el movimiento es diagonal, el coste para viajar por el vínculo es 1,414214 (la raíz cuadrada de 2), multiplicado por el coste del viaje hasta la celda 1 más el coste del viaje hasta la celda 2, dividido por 2:

$$a1 = 1.414214(\text{cost1} + \text{cost2}) / 2$$

Cómputo del coste para celdas diagonales

Cuando se determina el coste acumulativo para el movimiento diagonal, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{accum_cost} = a1 + 1.414214(\text{cost2} + \text{cost3}) / 2$$

- **Lista de celdas de coste acumulativo**

La creación de un ráster de coste de distancia acumulativo mediante la teoría de grafos se puede visualizar como un intento de identificar la celda de menor coste y agregarla a una lista de salida. Es un proceso iterativo que comienza con las celdas de origen. El objetivo de cada celda es ser asignada rápidamente al ráster de coste de distancia de salida.

- **Comparación de la distancia de ruta con el coste de distancia**

El proceso que se lleva a cabo para la distancia de ruta es similar al proceso del coste de distancia (consulte Cómo funcionan las herramientas de coste de distancia). Primero, se identifican las celdas de origen. Después se determina el coste para viajar hacia cada elemento próximo contiguo a las celdas de origen. A continuación, cada una de las celdas próximas se enumera desde la menos costosa hasta la más costosa. La ubicación de celda con el menor

coste se quita de la lista. Finalmente, se determina el coste acumulativo más bajo hacia cada elemento próximo de la celda que se quitó de la lista.

El proceso se repite hasta que se haya asignado un coste acumulativo a todas las celdas en el ráster. La diferencia entre las herramientas de coste de distancia y distancia de ruta es cómo se calcula el coste del movimiento desde una celda hacia la próxima.

Entendiendo el funcionamiento de los algoritmos, tratamos detalladamente el funcionamiento de la extensión Networ Analyst.

Este componente permite crear y analizar un Dataset de red, el cual se crea solo si se tiene una GeoDabase presente y donde se ingresa y configura la información primordial para un resultado exitoso en el uso de la extensión; es acá donde se especifica si acepta los giros, modelo de conectividad para la red, configuración de elevación en un dataset de red (usando modelos de elevación verdaderos o lógicos), traer históricos de datos, configuración de los atributos de red (son los que controlan la navegación (donde se pueden poner restricciones como por ejemplo prohíbe ambas direcciones), selección de los evaluadores.

Una vez se tenga creado un dataset de red se puede empezar a usar la extensión Network Analyst la cual contiene las siguientes opciones:

- **New Route:** Se utiliza para hallar la mejor ruta, para esto es necesario ubicar dos puntos sobre el mapa de vías y me muestra el acumulado en tiempo y distancia, además un detallado del proceso sobre las vías.
- **New Closest Facility:** Se utiliza para encontrar lugares más próximos a un incidente, para ello es necesario tener una capa con los lugares bien referenciados y otra con el insidente.
- **New Service Area:** Calcula las áreas de servicio y proporciona una matriz de coste entre el origen y el destino. Este tipo de matriz se utiliza como entrada para los análisis de logística, entrega y análisis de ruta.
- **New Vehicle Routing Problem:** Resuelve necesidades de generación de rutas para vehículos (VRP). Una vez determinada la secuencia de entrega, generará instrucciones giro por giro para las rutas resultantes, que se pueden distribuir electrónicamente, o imprimirse y entregarse a los conductores para que hagan las entregas.
- **New Location Allocation:** Realizará el análisis de ubicación y asignación utilizando tres tipos de problema diferentes: maximizar la asistencia, maximizar la cuota de mercado y cuota de mercado objetivo. Las

diferencias entre estos tipos de problema quedarán claras a medida que avance en el ejercicio.

4.1 ANTECEDENTES

- En la universidad Nacional del Litoral, dentro de la facultad de Ingeniería y ciencias Hídricas, La ingeniera Graciela Pusineri Realizo un Proyecto titulado “Aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la prevención de riesgos y la formulación de planes de contingencia en inundaciones” con el que pretendía estructurar un SIG, con temas cuyas tablas de atributos contendrán información sobre el estado físico del área y características socio-económicas de la población, información referente a equipamientos e infraestructuras disponibles para gestionar emergencias hídricas (hospitales, escuelas, clubes, iglesias, sedes policiales y militares, bomberos, lugares destinados a centros de evacuación, depósitos, etc.), así como también accesos y redes de abastecimiento a la ciudad, vías y direcciones de evacuación e identificación de áreas urbanas con riesgo de inundación. Y con el que logro, se han comenzado a realizar algunos análisis, fundamentalmente de superposición y extracción de información entre capas. Y como se observa en la figura, el cruzamiento entre la trama urbana de la ciudad, las áreas correspondientes a cada vecinal y la zona afectada por la inundación del Río Salado en Abril de 2003.

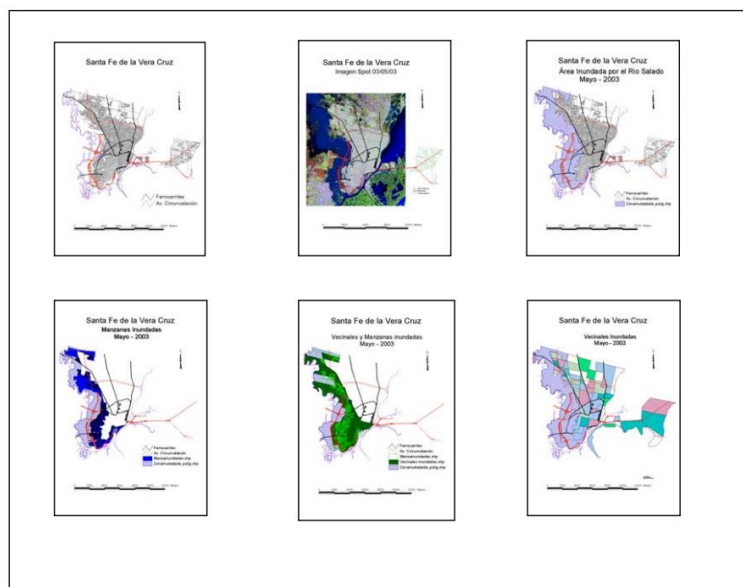


Figura 2. Cruzamiento entre la trama urbana de la ciudad

4.1.1 ANTECEDENTE LOCAL

Al interior del programa de Especialización en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad de Manizales, como requisito parcial de grado se realizó el trabajo titulado *Análisis Espacial de las Estaciones de Bomberos en el Área Urbana del Municipio Santiago de Cali para el Año 2014, Estimación de su Cobertura y Tiempo de Respuesta*, en el cual se da a conocer la distribución espacial que presentan las estaciones de bomberos en el municipio de Santiago de Cali, por medio de técnicas de estadística espacial como lo es el índice RN y el centro de gravedad simple, también se muestra a través de análisis de redes, y teniendo en cuenta distancia, tiempo y velocidad, la cobertura que presentan en servicio las estaciones de bomberos [5]. Teniendo en cuenta lo anterior, este análisis permitirá la toma de decisiones por parte del organismo municipal encargado de los organismos de socorro en el municipio de Cali. Uno de sus resultados puede observarse en la Figura 2.

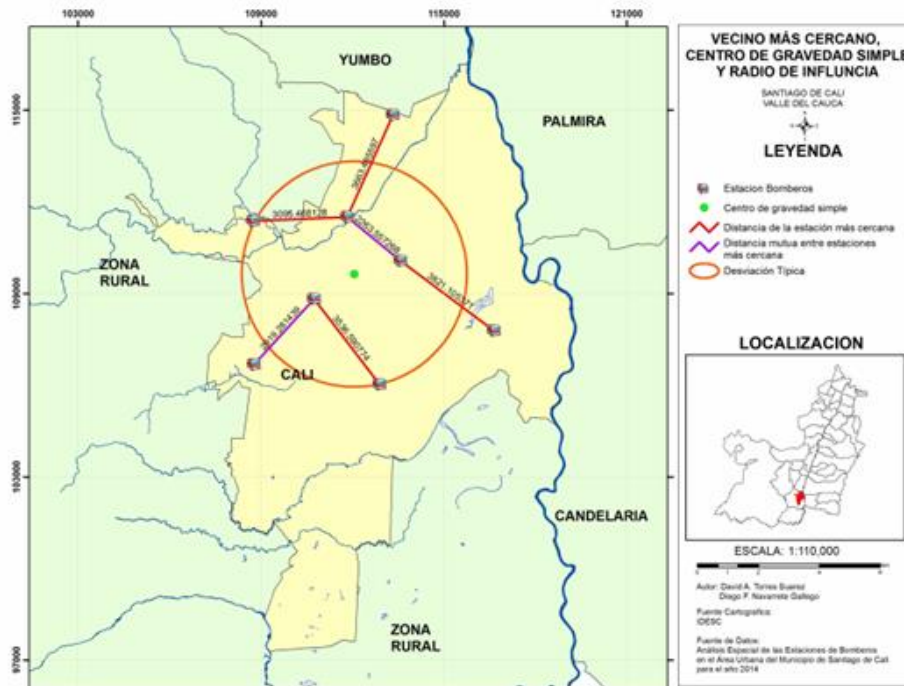


Figura 3. Vecino más cercano, Centro de Gravedad Simple y Radio de Influencia [6]

El proyecto previamente referenciado tiene características similares a las que se quieren obtener con este proyecto con la diferencia que se pretende tener un control y análisis no sólo de las estaciones de bomberos sino también de todos los organismos de socorro que están en la ciudad de Manizales, teniendo en cuenta nuevas variables que proporcionarán información más precisa para la toma de decisiones.

5 METODOLOGÍA

Fase 1. Recolección de la información

- Se realizó la recolección de la información de tiempos de respuesta, organismos de socorro, cartografía de Manizales, ubicación de hospitales, entre otros. Apoyándonos de internet, libros, personas con conocimientos sobre el tema.
- Se cargó en ArcGIS el mapa de Manizales, la capa de vías, los shapefiles de hospitales y organismos de socorro.

Fase 2. Cálculo de rutas y tiempos de respuesta de los organismos de socorro

- Se investigó sobre el complemento de ArcGIS llamado Network Analyst.
- Se modificaron y agregaron campos en la tabla de atributos de vías para hacer los cálculos de distancia y tiempo de respuesta.
- Se creó la geodatabase, feature class y network dataset para la construcción de las rutas.
- Se establecieron posibles incidentes y se realizó el cálculo de ruta desde el organismo de socorro más cercano al incidente y desde el incidente al hospital más cercano.

Fase 3. Estimar las posibles ubicaciones de los próximos organismos de socorro que prestan el servicio a emergencias.

- Se realizó un análisis de las posibles ubicaciones para organismos de socorro en los lugares donde no hay mucha cobertura.
- Con una herramienta del Network Analyst se ingresaron los puntos y teniendo en cuenta la población de las comunas se encontraron las ubicaciones adecuadas.

6 RESULTADOS

6.1 Recolección de la información

6.1.1 *Mapa de densidad de la población*

Con ayuda de las investigaciones realizadas por el último censo en la Ciudad de Manizales, y para hacer el análisis de la posible ubicación de los organismos de socorro, era necesario tener un mapa de densidad de población, como se muestra en la siguiente imagen, los lugares donde hay más concentración de puntos es donde se encuentra mayor número de habitantes.

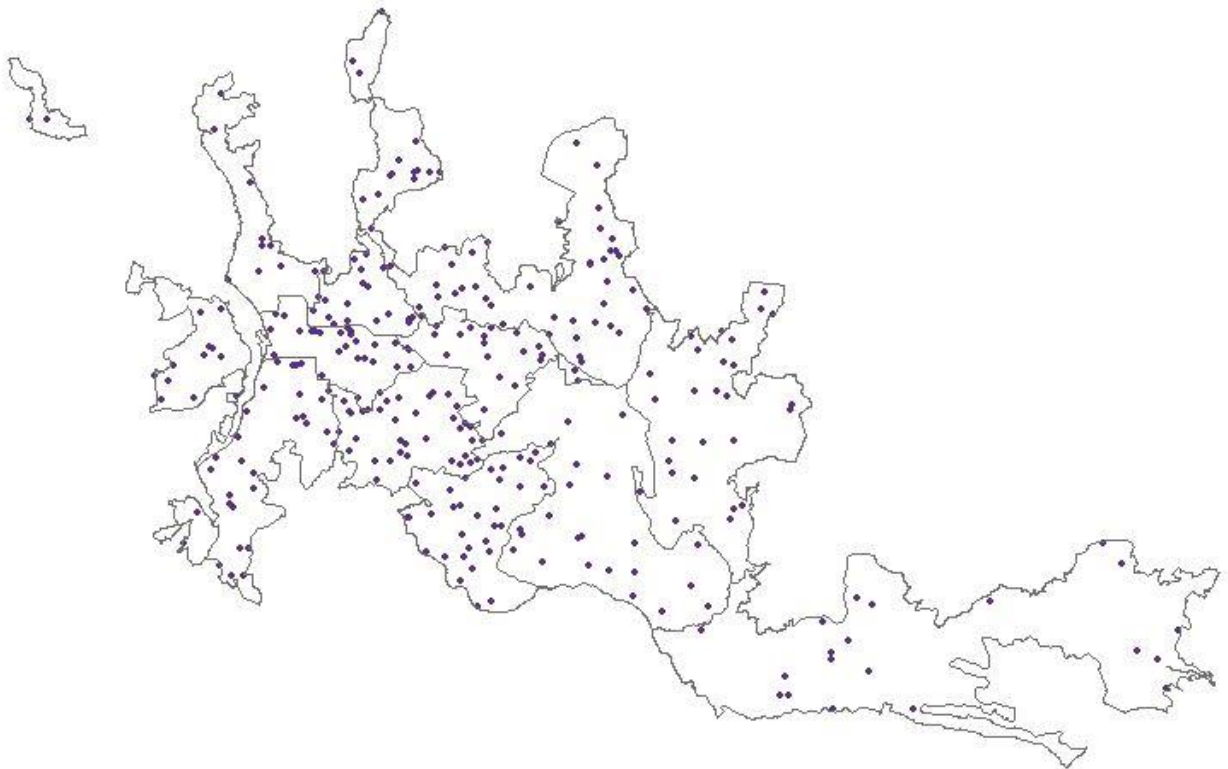


Figura 4. Mapa de densidad de población Manizales

Con este resultado se puede ver la relación que hay entre la cantidad de habitantes y un territorio determinado en este caso por comunas, con respecto a la

ciudad de Manizales hay comunas donde hay más densidad en la población que en otras como se puede ver en la imagen anterior.

6.1.2 *Distribución espacial de los organismos de socorro*

Al no tener información sobre la ubicación de los organismos de socorro dentro del mapa de Manizales, se creó un Shapefile, ubicando cada organismo manualmente dentro del mapa.

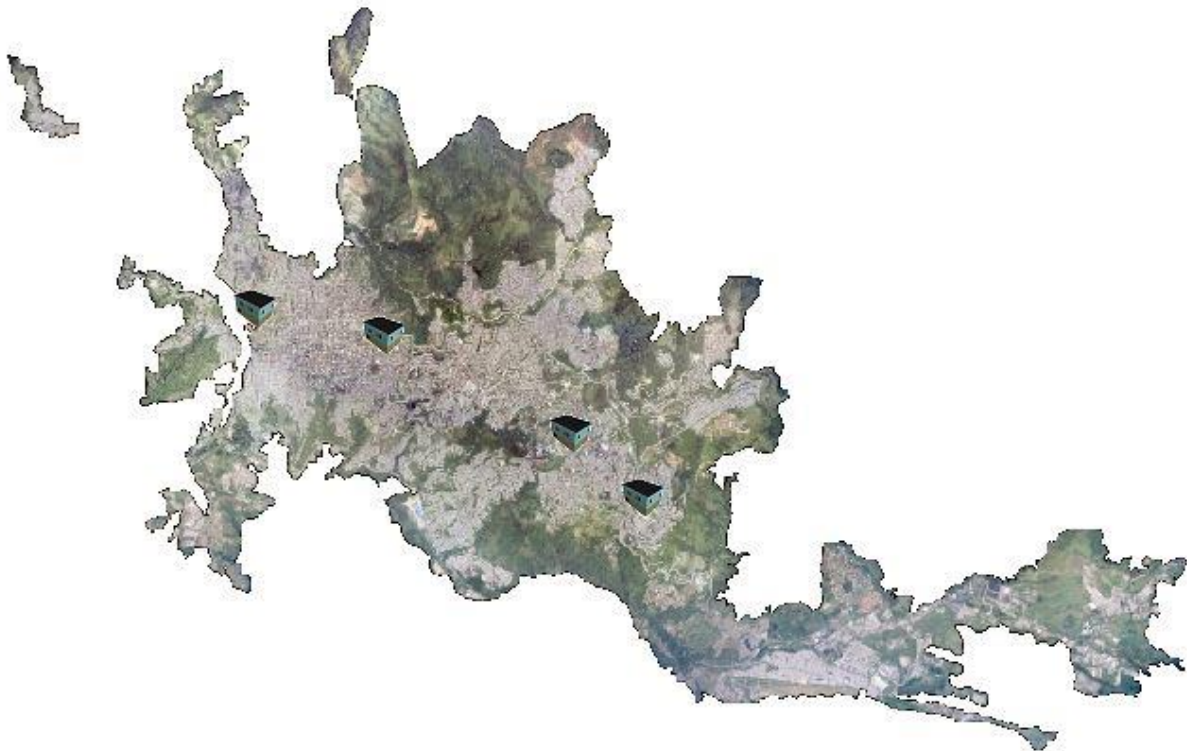


Figura 5. Mapa con ubicación de organismos de socorro Manizales

Gracias a la distribución espacial se puede tener un concepto y una idea más precisa sobre la ubicación de puntos en un mapa, en este caso la ubicación de los organismos de socorro, hospitales y vías con el fin de generar rutas más reales y eficientes que se pueden implementar fácilmente con información y tiempos acercados a la realidad.

6.1.3 Distribución espacial de los Hospitales de la Ciudad de Manizales.

Con la información recolectada, se obtuvo la ubicación de algunos hospitales y centros de salud de la ciudad de Manizales. Con esta información, se creó un shapefile con los hospitales y centros de salud existentes y los que consideramos importantes y los ubicamos en el mapa.

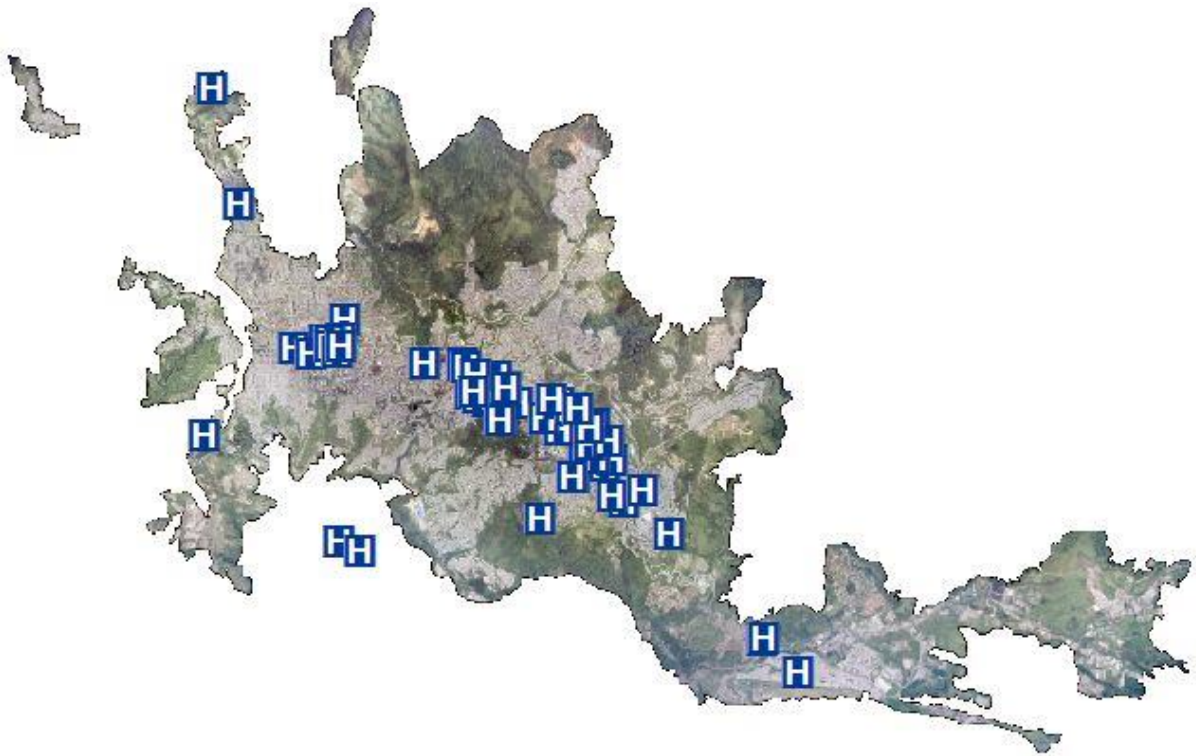


Figura 6. Mapa con ubicación de hospitales y centros de salud Manizales

6.1.4 *Mapa de vías de la ciudad de Manizales.*

La información de las vías, en cuanto a sentido, distancia, velocidad promedio y ubicación, fue proporcionada por la Alcaldía de Manizales, se verificó la información y se cargó correctamente en ArcGIS. Se corrigió la ubicación de algunas vías a partir de la imagen del mapa de la ciudad.



Figura 7. Mapa de vías Manizales

6.1.5 Integración en ArcGIS de las capas anteriores

Se integraron todas las capas en 1 solo mapa para continuar con el desarrollo del proyecto.

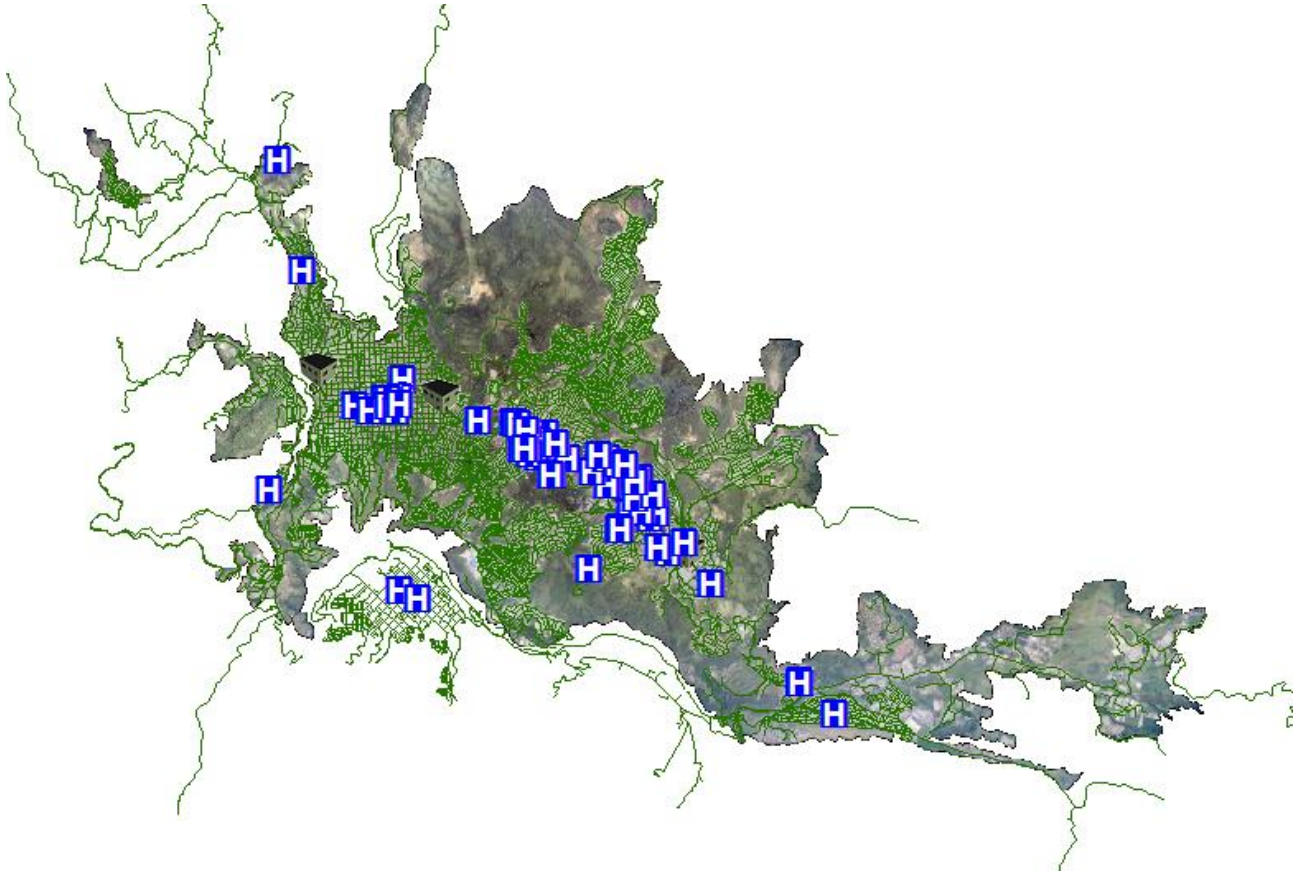


Figura 8. Integración vías, organismos de socorro y hospitales Manizales

El resultado obtenido es el mapa de Manizales con la información integrada, toda esta información debe tener el mismo sistema de coordenadas para que pueda interactuar entre sí. Con todo en un mismo mapa fue posible comenzar con el desarrollo del proyecto.

6.2 Cálculo de rutas y tiempos de respuesta

6.2.1 Ubicación de posibles incidentes en la ciudad de Manizales

Se ubicaron posibles incidentes para el cálculo de rutas y tiempos de respuesta.

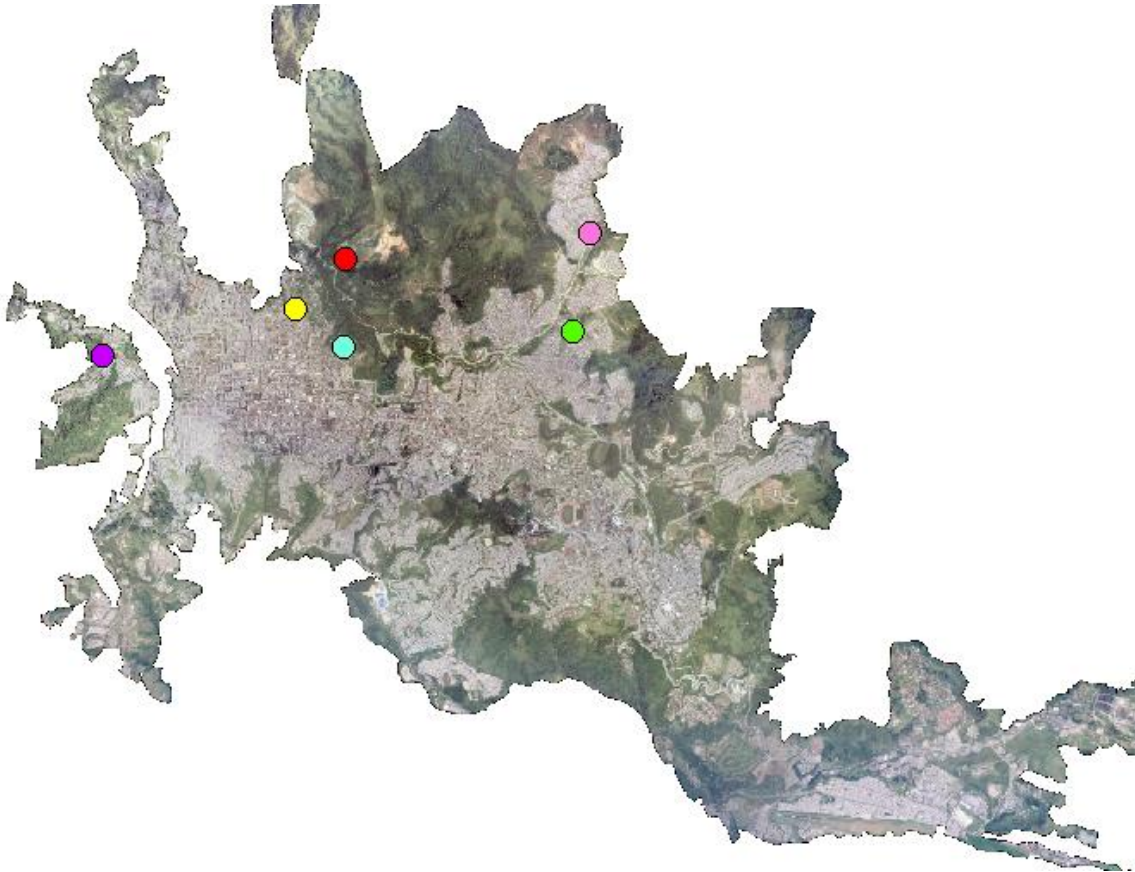


Figura 9. Mapa con ubicación de posibles incidentes

La ubicación de incidentes es importante al momento de comenzar a desarrollar el proyecto ya que de estos depende la ruta y el tiempo de respuesta por parte de los organismos de socorro. Tener una buena ubicación de estos puntos (incidentes) fue indispensable para crear rutas donde se muestre el funcionamiento correcto del proyecto.

6.2.2 Ruta de un organismo de socorro a incidente

Se emplea la extensión de ArcGIS Network Analyst con la función New Route y se obtiene la ruta por las vías correspondientes, teniendo en cuenta la distancia y la velocidad promedio de la vía para el recorrido de la ruta sea en el menor tiempo posible.

También, se obtiene el cálculo de tiempo y distancia recorrida así como las indicaciones que se deben seguir para recorrer toda la ruta en la ciudad.

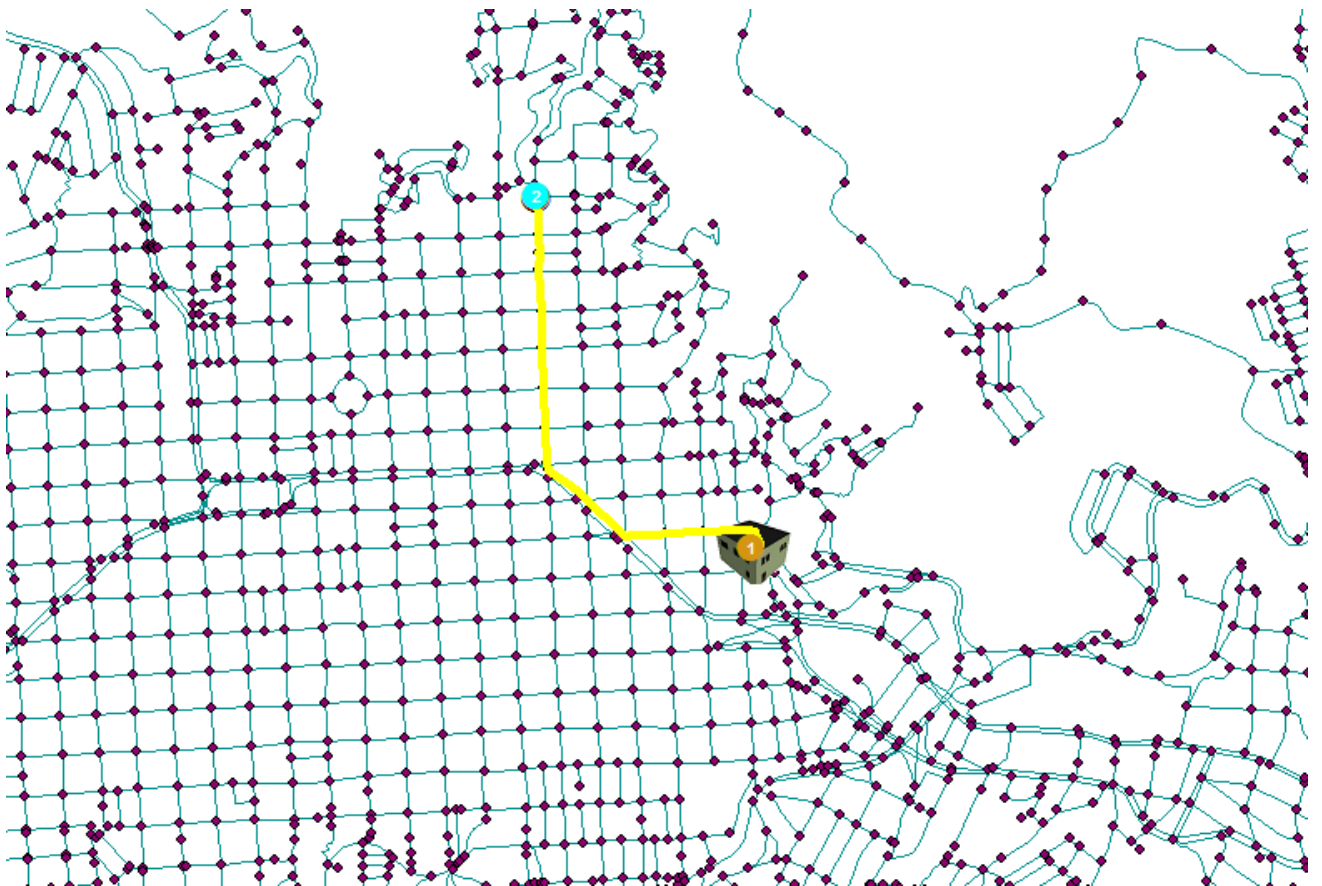


Figura 10. Ruta desde organismo de socorro a incidente

Step	Description	Distance	Time	Map
[-]	Route: Graphic Pick 1 - Graphic Pick 2	979,9 m	5 min	Map
1:	Start at Graphic Pick 1			Map
2:	Go north toward Carrera_20	26,5 m	< 1 min	Map
3:	Turn left on Carrera_20	243,5 m	< 1 min	Map
4:	Turn right on Av._Gilberto_Alzate	192,6 m	< 1 min	Map
5:	Turn right	408,1 m	3 min	Map
6:	Turn right and immediately turn right	109,2 m	< 1 min	Map
7:	Finish at Graphic Pick 2, on the left			Map
Total time: 5 min				
Total distance: 979,9 m				

Figura 11. Tabla con descripción de ruta, tiempo y distancia

Este es uno de los resultados más importantes ya que es el principal objetivo del proyecto, se analizó y se verificó que la ruta trazada fuese la correcta teniendo en cuenta el sentido de las vías y que los resultados del tiempo estimado fuese coherente.

Este resultado se produce gracias a la interacción de la extensión Network Analyst y la información que posee el mapa de vías (velocidad promedio y distancia) para calcular y encontrar la ruta más óptima. El tiempo también es una variable importante en este proyecto la cual es calculada de la misma manera que la ruta, todo se relaciona entre sí para formar un conjunto de datos y brindar información completa y lo más precisa posible.

6.2.3 Ruta completa: Organismo de socorro – Incidente – Hospital

Con la extensión de ArcGIS Network Analyst con la opción Closest facility, se obtuvo la ruta desde el organismo de socorro más cercano hasta el incidente y desde el incidente hasta el hospital más cercano. Para realizar estos cálculos se tiene en cuenta la distancia de las vías y la velocidad promedio de las mismas.

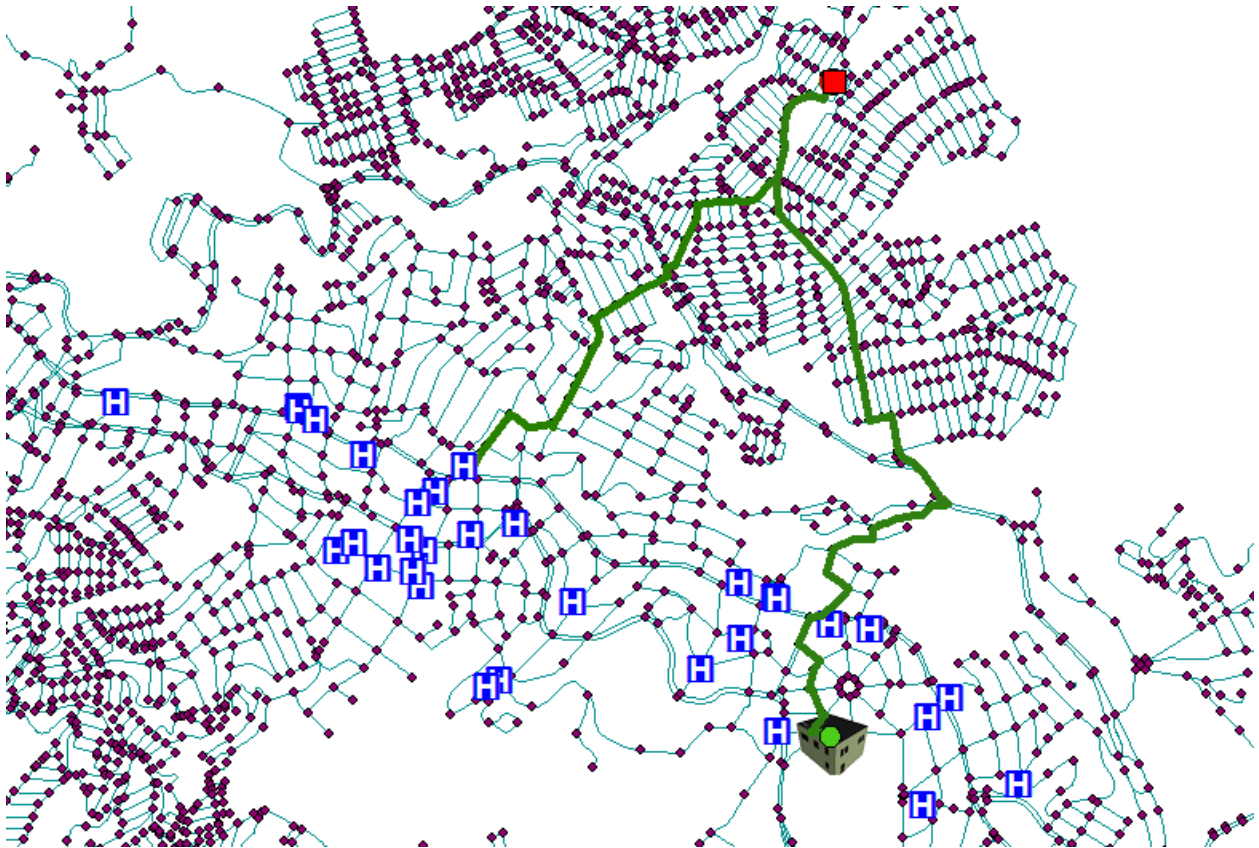


Figura 12. Rutas desde organismo de socorro – Incidente – Hospital

Este resultado es más completo con respecto al anterior ya que es la ruta integrada que debe emprender el personal del organismo de socorro más cercano para atender el incidente y de ahí hasta el hospital más cercano. Se tuvo en cuenta los mismos aspectos del resultado anterior ya que las rutas deben ser correctas y el tiempo debe ser coherente.

6.2.4 Generación de nuevas rutas por barreras o incidentes dentro de la ruta generada

Una vez se tiene la ruta generada, la extensión Network Analyst posee la opción de interponer una barrera o algún obstáculo el cual impida seguir con esa ruta, se creó la ruta y se puso una barrera entre esta ruta lo cual hizo que se generara una ruta alternativa.

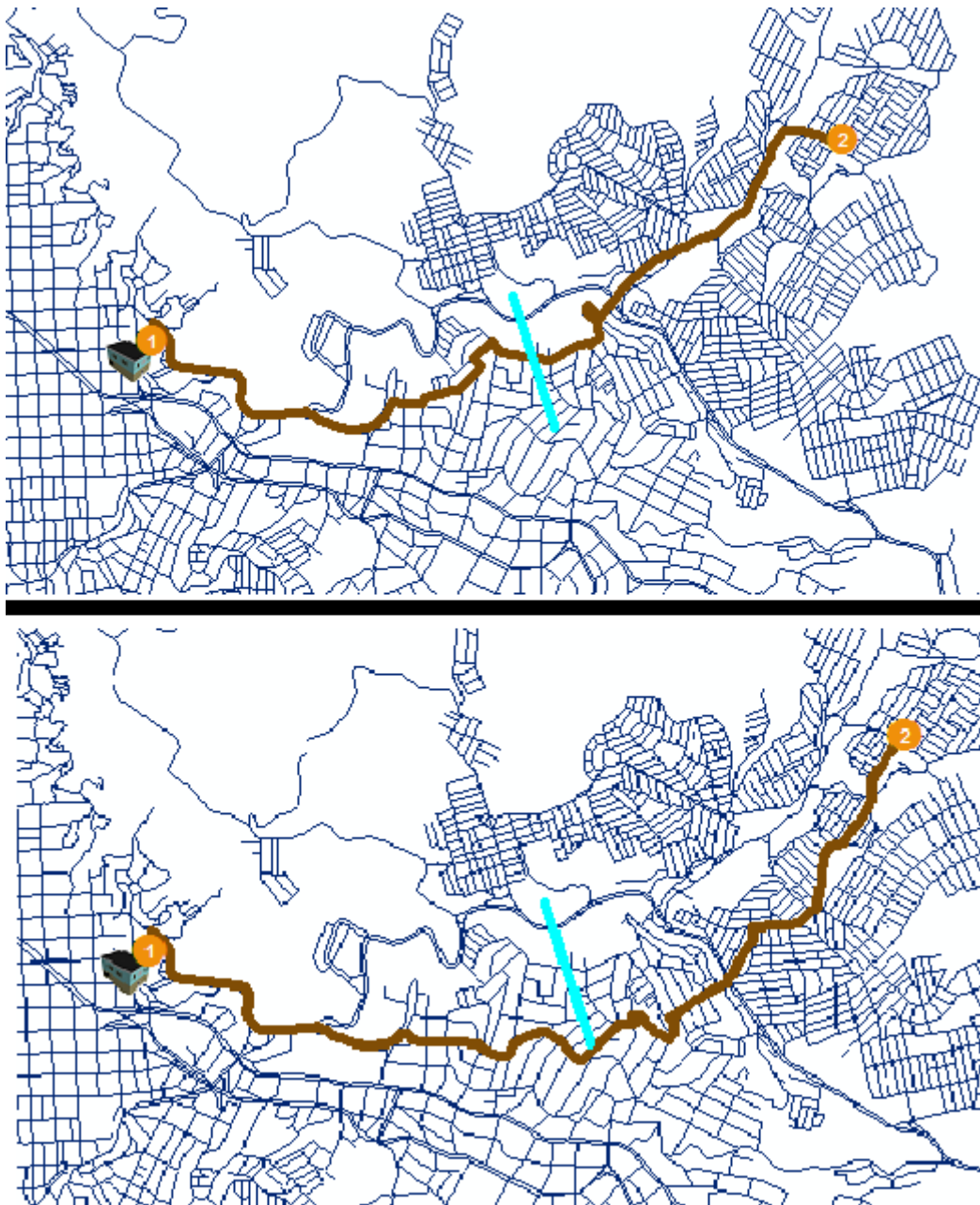


Figura 13 Recalcular nuevas rutas por barreras

Al momento de interponer barreras y forzar a que la herramienta calcule una nueva ruta, debe tener en cuenta de nuevo el costo de las posibles nuevas rutas para recalcular otra que siga siendo optima y menos costosa. Estas barreras son muy útiles ya que en la realidad pueden representar vías cerradas, mucho tráfico lo cual implica buscar rutas alternas sin perder el objetivo que es llegar en el menor tiempo.

6.3 Posibles nuevas ubicaciones para los organismos de socorro

6.3.1 *Calculo de los centroides de cada comuna.*

El centroide, crea una clase de entidad que contiene puntos generados a partir de las ubicaciones representativas de las entidades de entrada, en este caso crea el punto medio de las comunas de Manizales.

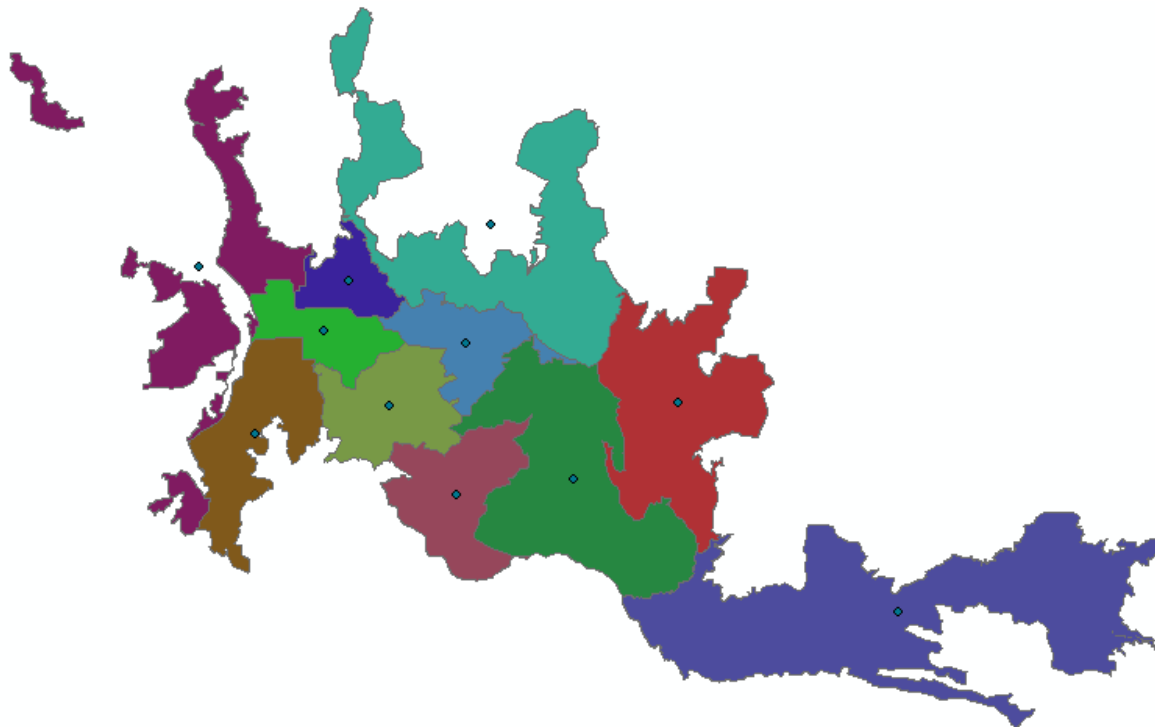


Figura 14 Mapa de las comunas y sus centroides.

Con las herramientas de ArcGIS que se encuentran en el ArcToolBox se selecciona la categoría data management tolos, Features y la herramienta features to point. Se ingresa la capa de comunas y gracias a la información que se

encontraba almacenada allí se genera el mapa de puntos con el centroide de cada comuna.

6.3.2 *Establecimiento de posibles ubicaciones de los organismos de socorro.*

A partir del mapa de densidad de población y el mapa de organismos de socorro, se establecieron las posibles ubicaciones de los organismos de socorro. En la siguiente imagen, los puntos rojos son las posibles ubicaciones.

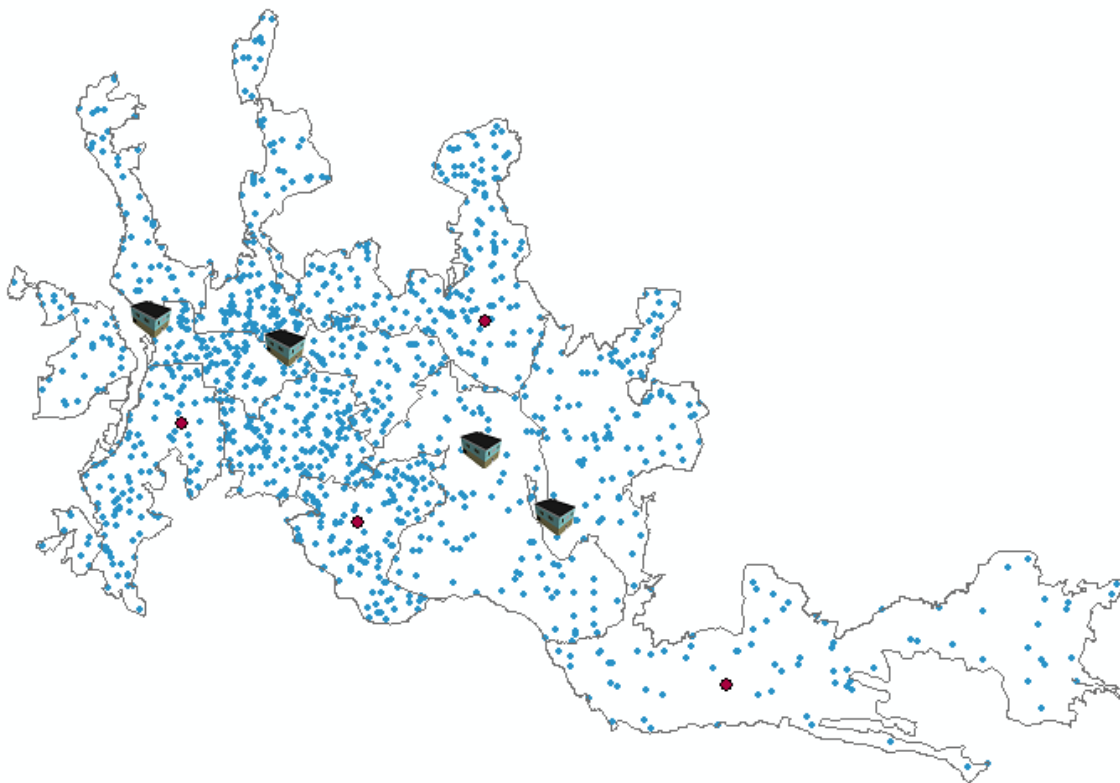


Figura 15 Establecimiento de posibles ubicaciones.

Visualmente se hizo la posible ubicación para nuevas sedes de organismos de socorro, para esto se tuvo en cuenta el mapa de densidad de la población de la ciudad de Manizales buscando tener una mejor cobertura desde diferentes puntos de la ciudad.

6.3.3 *Calculo de la mejor ubicación.*

Con la extensión de ArcGIS Network Analyst con la opción Location-Allocation, y a partir de los mapas nombrados en el punto anterior, se eligió la mejor ubicación. En la siguiente imagen, el cuadro con la estrella es la que ArcGis determino como la mejor.

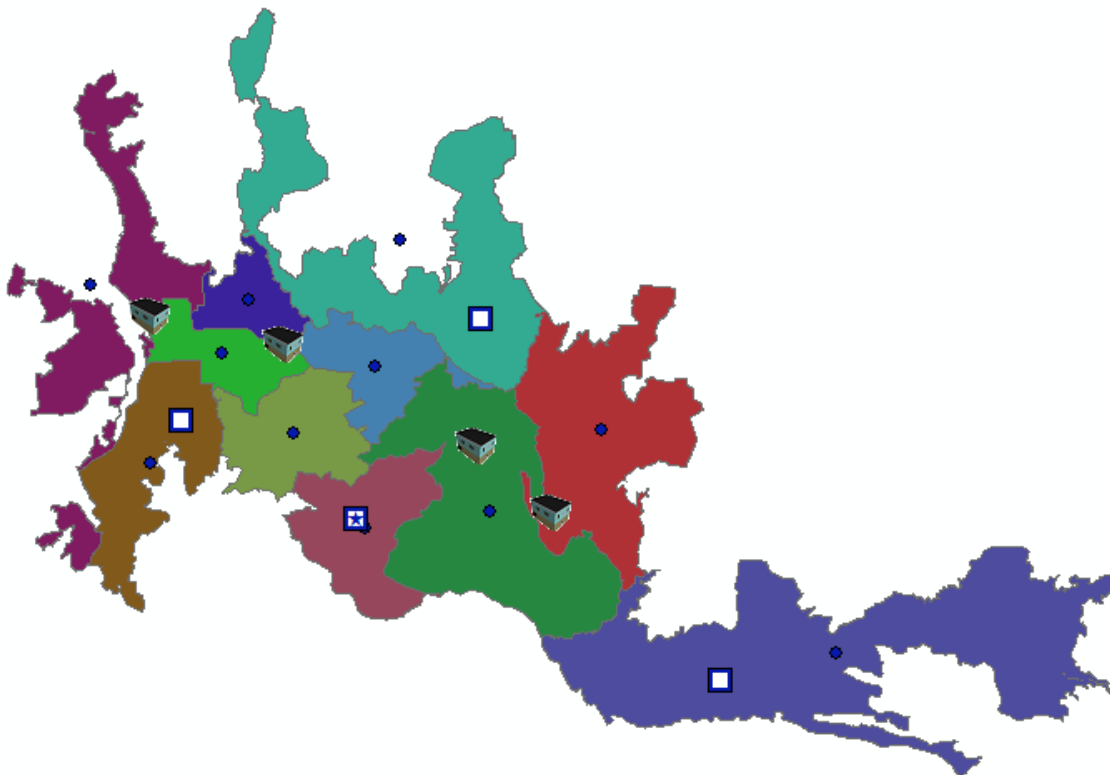


Figura 16 Mapa Mejor ubicación.

7 CONCLUSIONES

- Los SIG han avanzado aceleradamente en los últimos años, lo cual ha traído nuevas herramientas y nuevas aplicaciones para la vida cotidiana de las personas, además de proporcionar ayuda y soporte en estudios y análisis para cumplir con aspectos como en la toma de decisiones.
- Gracias al software ArcGIS, sus complementos y la información geográfica de Manizales (vías, hospitales, organismos de socorro) fue posible calcular las rutas y tiempos de respuesta aproximados en la ciudad.
- Con la densidad de población de la ciudad y las herramientas de ArcGIS fue posible encontrar los puntos donde se podrían ubicar nuevas sedes de los organismos de socorro con el fin de mejorar su cobertura y proporcionar beneficios a la sociedad.
- Con la extensión de ArcGIS Network Analyst, se puede hacer un estudio más real y así proporcionar soluciones que impacten y ataquen directamente los problemas que se presenten en la sociedad.
- Este proyecto se puede implementar y sería de mucha utilidad para los organismos de socorro para hacer más eficiente su trabajo y prestar un mejor servicio.
- La extensión Network Analyst New route es más sencilla y sólo tiene en cuenta una capa, mientras que la herramienta Closest facility trabaja con más de una capa.
- A pesar de que se ven bien distribuidos los organismos de socorro dentro de la ciudad, el número de sedes no alcanza a tener una cobertura total de toda la ciudad.

8 RECOMENDACIONES

- Este es un proyecto que a futuro se puede implementar como una aplicación y hacer uso de ella por parte de organismos de socorro y ambulancias para brindar un mejor servicio, en la ciudad no se tienen herramientas similares por lo cual sería de gran ayuda y reconocimiento.
- Se puede plantear la misma lógica del proyecto involucrando entidades privadas que presten atención médica domiciliaria como grupo EMI, SER, entre otros, las cuales están tomando fuerza en la ciudad.
- Implementar una aplicación web que cumpla con todos los requerimientos y funcionalidades de este proyecto para que no solo abarque entidades que prestan servicios de salud sino también todas aquellas entidades que puedan adoptar estas tecnologías.

.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Ambiental, B. v. (2015). *Marco legal y normativo sobre planes de emergencia y contingencia*. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/manual_peem/marco.pdf
- ArcGIS Resource center. (2015). *¿Qué es una geodatabase?* Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//003n0000001000000>
- ArcGIS Resource center. (2015). *¿Qué es una geodatabase?* Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//003n0000001000000>
- ArcGIS Resource center. (2015). *Promedio de vecinos más cercanos (Estadística espacial)*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//005p00000008000000>
- Bomberos Colombia*. (s.f.). Obtenido de <http://bomberos.mininterior.gov.co/>
- Botella Plana, A., Muñoz Bollas, A., & Olivella Gonzáles, R. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. España: UOC.
- Consejo de Manizales. (29 de Abril de 2015). Plan de Movilidad para la ciudad de Manizales. Manizales, Caldas, Colombia.
- Cruz roja Colombiana*. (s.f.). Obtenido de <http://www.cruzrojacolombiana.org/>
- Defensa civil Colombiana*. (s.f.). Obtenido de <http://www.defensacivil.gov.co/>
- Geografía Plus. (2015). *Densidad de población*. Obtenido de http://www.educaplus.org/geografia/mun_densipoblacion.html
- La patria Manizales. (13 de Abril de 2014). Puntos críticos de accidentalidad en Manizales. Manizales, Caldas, Colombia.
- Manizales cómo vamos*. (2015). Obtenido de <http://manizalescomovamos.org/>
- Ministerio de educación. (2015). *¿Qué es un SIG?* Obtenido de <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>
- Network Analyst Tutorial
<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/network-analyst-tutorial.pdf>
- Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. (1992). *Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la agricultura*. Roma: FAO.

Pusineri, G. (2015). *Aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la prevención de riesgos y la formulación de planes de contingencia en inundaciones*. Obtenido de http://www.argcapnet.org.ar/Media/docs/a_Graciela%20Pusineri.pdf

Universidad Nacional de Colombia. (09 de Julio de 2015). MOVILIDAD EN MANIZALES, PROBLEMA DE VEHÍCULOS Y PEATONES. Manizales, Caldas, Colombia.

Universidad nacional de Colombia sede Manizales. (2015). *PLAN de ordenamiento Territorial*. Obtenido de http://idea.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/planterritorial.php

Universidad Tecnológica de Panamá. (31 de Mayo de 2006). *Procedimiento para Levantamiento de Mapas*. Obtenido de <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-AA-202-2006.pdf>

[1] FAO. “Funcionamiento y Uso de los Sistemas de Información Geográfica” en *Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura*. Roma, Italia: FAO, 1992, pp. 133-189.

[2] Defensa Civil Colombiana. Qué es la Defensa Civil Colombiana. 2015.

[3] H. Carter. El estudio de la geografía urbana. Barcelona, España.1987.

[4] O. D. Cardozo, E. L. Gómez, M. A. Parras. “Teoría de grafos y sistemas de información geográfica aplicados al transporte publico de pasajeros en Resistencia (Argentina). *Revista Transporte y Territorio*, Universidad de Buenos Aires, Vol. 1, pp. 88-111. 2009.

[5] D. Torres, D. Navarrete. *Análisis Espacial de las Estaciones de Bomberos en el Área Urbana del Municipio Santiago de Cali para el Año 2014, Estimación de su Cobertura y Tiempo de Respuesta*. Trabajo de Grado Especialización en Sistemas de Información Geográfica, Universidad de Manizales, Manizales, Septiembre de 2014.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES –IDEAGRUPO DE TRABAJO ACEDÉMICO URBANÍSTICA PROYECTO FORMULACIÓN DEL PLAN PARCIAL DE RENOVACIÓN URBANA DEL SECTOR DE LA GALERÍA, MANIZALES. COMPONENTE DE MOVILIDAD