

**PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA LOCALIZACIÓN DE
SUBESTACIONES DE BOMBEROS EN LA CIUDAD DE PALMIRA**

**DANIELA GARCÍA RENDÓN
JHON FREDDY SERRANO QUENGUÁN**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
PALMIRA
2012**

**PROPUESTA DE UN MODELO PARA LA LOCALIZACIÓN DE
SUBESTACIONES DE BOMBEROS EN LA CIUDAD DE PALMIRA**

DANIELA GARCÍA RENDÓN

JHON FREDDY SERRANO QUENGUÁN

Trabajo de grado para optar al título de:

Ingeniero Industrial

Director:

Ing. RAÚL ANTONIO DIAZ PACHECO MSc.

UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA

PALMIRA

2012

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Palmira, 10 de Febrero de 2012

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi más fiable compañía

A mis padres por ser la fuente inspiradora

A mis hermanos por el apoyo incondicional

A mis amigos y demás familiares por compartir conmigo todas las experiencias vividas

Daniela García Rendón

A Dios, por ser mi guía y por brindarme la oportunidad de alcanzar un logro tan importante en mi vida.

A mi madre, por su apoyo incondicional, por su sacrificio, por ser la persona más importante en mi vida y por darme la oportunidad de superarme.

A mi abuelo, por sus consejos y sus muy instructivas enseñanzas.

Y a los demás integrantes de mi familia por su constante apoyo.

Jhon Freddy Serrano Quenguán

AGRADECIMIENTOS

A todos los integrantes del Cuerpo de Bomberos de la ciudad de Palmira por brindarnos la oportunidad de realizar este trabajo en su institución, por su amabilidad y cortesía.

Al Señor William Moya, comandante del Cuerpo de Bomberos de la ciudad de Palmira, por su apoyo y colaboración en la realización de este trabajo.

Al Señor Arnobio Díaz por su inmensa colaboración y gestión.

Al Mayor Wilmer Yesid Rodríguez Rivas, comandante de la estación de Policía de la ciudad de Palmira, por su colaboración y disposición en la evaluación de las alternativas de localización.

Al Doctor Gabriel Rodríguez Kuratomi, subdirector de planeación municipal, por su colaboración e información suministrada.

Al Señor Fabio Marquez, Coordinador del Comité Local para la Prevención y Atención de desastres del municipio de Palmira, por su colaboración y disposición en la evaluación de las alternativas de localización.

Al Observatorio de Seguridad, Convivencia y Cultura Ciudadana de la ciudad de Palmira, por su colaboración en la georreferenciación de las emergencias atendidas en la ciudad por el cuerpo de Bomberos.

A los miembros de ACUAVIVA S.A, por su colaboración y disposición en la evaluación de las alternativas de localización.

Al Ingeniero Pedro Pablo Cabezas, por su colaboración e información suministrada

Al Ingeniero Raúl Antonio Díaz por aportar su conocimiento y experiencia en la realización de este trabajo.

GLOSARIO

ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION: lugares que por contar con atributos de tipo cualitativo y/o cuantitativo son determinados como candidatos para localizar una instalación.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO POR SUS SIGLAS EN INGLES (NFPA): organización encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendios, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendios, aplicables tanto para bomberos como por el personal encargado de la seguridad.¹

EQUIDAD: valor de carácter social que considera que las personas tienen las mismas oportunidades o derechos en algún aspecto.

ESTACION DE BOMBEROS: edificación diseñada con criterios de seguridad exigentes, ubicada en un área estratégica dentro de una zona urbana, puerto o aeropuerto y que tiene una disposición espacial para atender las necesidades básicas del personal de bomberos.

GEORREFERENCIACION: es la representación mediante un sistema de coordenadas y datum de objetos espaciales, es frecuentemente utilizado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

MODELACION MATEMATICA: metodología en la que se hace uso de fórmulas matemáticas para la representación de hechos reales mediante la definición de variables, parámetros, restricciones, sirve analizar y resolver problemas de difícil solución.

MODELO: simplificación que imita los fenómenos del mundo real, de modo que se puedan comprender las situaciones complejas.

PARAMETRO: dato entrada que es tomado como necesario para analizar o valorar una situación.

¹ NFPA, sitio web: <http://www.nfpa.org/categoryList.asp?categoryID=124&URL=Codes%20&%20Standards>

PROBLEMA COBERTURA DE CONJUNTOS: buscan soluciones con las que el conjunto de “servidores” puedan cubrir un conjunto de “beneficiarios” al menor costo posible; generalmente son utilizados en el emplazamiento de instalaciones ofrecidos por la administración pública donde se busca que toda la población sea beneficiada.

PROGRAMACION LINEAL: técnica matemática, utilizada para resolver diferentes problemas a través de ecuaciones lineales que van ligadas a maximizar o minimizar un objetivo representado también de forma lineal.

RAZON DE CONSISTENCIA: razón determinada para medir la validez de los juicios emitidos por los expertos en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

REPORTE DE EMERGENCIA: formulario donde se registra toda la información correspondiente a una emergencia desde que se recibe la solicitud del servicio hasta que se terminan las labores de atención, incluye información acerca de la hora de emergencia, de llegada al sitio y de finalización de labores, el tiempo de reacción, entre otros.

SUBESTACIÓN: tipo de estación de bomberos, de área menor a la estación principal, contempla la dotación necesaria para atender las emergencias de su área de jurisdicción, su dotación mínima incluye equipos de primera y de segunda intervención, además, dependiendo del tamaño puede contener algunos servicios diferentes a los de operaciones.

SUPERPOSICIÓN CARTOGRAFICA: consiste en la combinación de cartografía temática para la obtención de mapas que sintetizan la información superpuesta y que facilitan el análisis de diferentes temas.

TIEMPO DE REACCIÓN: es el tiempo que inicia cuando se recibe el llamado de emergencia y finaliza cuando el personal sale de las instalaciones para dirigirse al sitio de la emergencia.

TIEMPO DE RECORRIDO: es el tiempo que transcurre desde que el personal del cuerpo de bomberos sale de la estación hasta que llega al sitio de emergencia.

TIEMPO DE RESPUESTA: tiempo que transcurre desde que es recibida la alarma de emergencia hasta que se llega al sitio, es la adición del tiempo de reacción con el tiempo de llegada al sitio o de recorrido.

ZONIFICACIÓN: es la división de un área geográfica en sectores de acuerdo a la homogeneidad entre las características de dichos sectores.

RESUMEN

En este trabajo se propone un modelo para la localización de subestaciones de bomberos que busca dar una solución real e integral al problema de la localización de este tipo de instalaciones a través de la combinación de dos métodos, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), utilizado para jerarquizar las alternativas de localización de acuerdo al cumplimiento de criterios de evaluación de tipo cualitativo, y la programación lineal, donde se integran las alternativas de localización jerárquizadas y el criterio de cobertura, que aporta, el carácter cuantitativo al modelo. Con el objetivo de analizar el comportamiento del modelo y de conocer el parámetro de tiempo para la atención de emergencias en la ciudad de Palmira, se analizaron inicialmente tres escenarios cada uno con un tiempo máximo de respuesta y se determinó como el mejor aquel que con el menor número de subestaciones lograra la cobertura de todos los barrios no atendidos por la estación actual; además de contar con la cobertura de la estación actual, se analizó bajo el mejor escenario el lugar donde deben estar ubicadas las instalaciones de bomberos en el municipio de Palmira, en caso de considerarse la reubicación de la estación que funciona actualmente.

Palabras Claves: Localización de instalaciones, Cobertura de conjuntos, equidad, Proceso Analítico Jerarquico (AHP), programación lineal e instalaciones de emergencia.

ABSTRACT

This research proposes a model for the location of firemen's substations. This model seeks to give a real and integral solution to the problem of the location of this type of facilities by the combination of two methods: the Analytical Hierarchy Process (AHP), used to organize into a hierarchy the alternatives of location bearing in mind the complement of the criteria of qualitative evaluation, and the Linear Programming, where the alternatives of location, organized into a hierarchy, join with the coverage criterion, which gives a quantitative character to the model. With the purpose to analyze the behavior of the model and to know the parameter of time for the emergency attention in Palmira City, initially were analyzed three scenes, each one with a maximum time of response, and found the best the one that with lowest number of substations was achieving the coverage of all the neighborhoods not attended by the current station; beside having coverage of the current station, it was analyzed under the best scene, the place where the firemen's facilities must be located in Palmira, in case of be considering relocate the station that works nowadays.

Key Words: Set covering, Analytical Hierarchy Process, Equity, linear programming, Facility location and Emergency Facilities.

TABLA DE CONTENIDO

pág.

INTRODUCCION	¡Error! Marcador no definido.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	¡Error! Marcador no definido.
2. JUSTIFICACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3. OBJETIVO GENERAL	¡Error! Marcador no definido.
3.1 OBJETIVOS ESPECIFICO	¡Error! Marcador no definido.
4. MARCO TEORICO	¡Error! Marcador no definido.
4.1 PROCESO DE TOMA DE DECISIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
4.1.1 Problemas con un sólo criterio o atributo.	¡Error! Marcador no definido.
4.1.2 Problemas multicriterio o multiatributo.	¡Error! Marcador no definido.
4.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y DECISIÓN MULTICRITERIO	¡Error! Marcador no definido.

4.2.1	Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.1	Estructuración del modelo.....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1.2	Selección de la medida.....	¡Error! Marcador no definido.
4.3	LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES	¡Error! Marcador no definido.
4.4	PROGRAMACIÓN LINEAL.....	¡Error! Marcador no definido.
4.5	PROBLEMA DE COBERTURA.....	¡Error! Marcador no definido.
4.5.1	Problema de Localización Seleccionado.....	¡Error! Marcador no definido.
5.	ESTADO DEL ARTE.....	¡Error! Marcador no definido.
6.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	¡Error! Marcador no definido.
6.1	COBERTURA ACTUAL DEL SERVICIO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO	¡Error! Marcador no definido.
7.	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS	¡Error! Marcador no definido.
7.1	PRIORIZACIÓN DE LAS EMERGENCIAS	¡Error! Marcador no definido.
7.2	GEOREFERENCIACIÓN DE LAS EMERGENCIAS	¡Error! Marcador no definido.
7.2.1	Georeferenciación de las emergencias en la zona urbana del municipio	¡Error! Marcador no definido.

7.2.2 Georeferenciación de las emergencias en la zona rural del municipio ..¡Error! Marcador no definido.

7.3 ZONIFICACIÓN ¡Error! Marcador no definido.

7.3.1 Superposición Cartográfica..... ¡Error! Marcador no definido.

7.3.1.1 Superposición cartográfica en el área urbana del municipio¡Error! Marcador no definido.

7.3.1.2 Superposición cartográfica en el área rural del municipio. ¡Error! Marcador no definido.

7.3.2 Identificación de zonas críticas ¡Error! Marcador no definido.

7.3.2.1 Identificación de zonas críticas en el área urbana del municipio¡Error! Marcador no definido.

7.3.2.2 Identificación de zonas críticas en el área rural del municipio¡Error! Marcador no definido.

8. MODELO PARA LA LOCALIZACIÓN DE SUBESTACIONES DE BOMBEROS EN LA CIUDAD DE PALMIRA ¡Error! Marcador no definido.

8.1 METODOLOGIA DEL MODELO ¡Error! Marcador no definido.

8.2 DESARROLLO DEL MODELO DE LOCALIZACIÓN..... ¡Error! Marcador no definido.

8.2.1 Jerarquización de alternativas para la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de palmira por medio del proceso analítico jerárquico (AHP) ¡Error! Marcador no definido.

8.2.1.1 Estructuración del proceso analítico jerárquico (AHP) . ¡Error! Marcador no definido.

8.2.1.2 Selección de la medida..... ¡Error! Marcador no definido.

8.2.2 Determinación del número y la ubicación de las subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira..... ¡Error! Marcador no definido.

8.2.2.1 Estructuración del modelo programación lineal ¡Error! Marcador no definido.

8.2.2.2 Formulación del modelo de programación lineal..... ¡Error! Marcador no definido.

8.2.2.3 Solución del modelo de programación lineal ¡Error! Marcador no definido.

8.2.2.4 Resultados ¡Error! Marcador no definido.

9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ¡Error! Marcador no definido.

10. CONCLUSIONES ¡Error! Marcador no definido.

11. TRABAJOS FUTUROS..... ¡Error! Marcador no definido.

BIBLIOGRAFÍA ¡Error! Marcador no definido.

ANEXOS ¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1:Índice Aleatorio.....	55
Tabla 2: Categorización de Emergencias	67
Tabla 3: Participación de las Categorías de Emergencia	69
Tabla 4: Cruces viales más críticos en la ciudad de Palmira.....	72
Tabla 5: Tiempos Promedio de Respuesta ante Emergencias,	76
Tabla 6: Categorías de Emergencias Priorizadas	80
Tabla 7: Zonas criticas identificadas en el área urbana del municipio de Palmira .	87
Tabla 8: Zonas critica identificadas en el área rural del municipio de Palmira	90
Tabla 9: Asignación de los usos del suelo por grupos en áreas de actividad	96
Tabla 10: Alternativas para la localización de Subestaciones de Bomberos.....	100
Tabla 11: Matriz estándar para la evaluación de alternativas de localización	104
Tabla 12: Matriz de comparación de criterios	105

Tabla 13: Matriz de comparación de criterios normalizada.....	106
Tabla 14: Priorización de criterios de localización.....	106
Tabla 15: Índice aleatorio para el cálculo del coeficiente de consistencia.....	108
Tabla 16: Vector de sumas ponderadas y valor de λ para cada criterio	108
Tabla 17: Determinación de la razón de consistencia para la matriz de comparación de los criterios.....	109
Tabla 18: Matriz de evaluación de las alternativas de localización	111
Tabla 19: Matriz de comparación para las escalas de evaluación	112
Tabla 20: Matriz de comparación normalizada para las escalas de evaluación...	112
Tabla 21: Priorización de las escalas de evaluación.....	113
Tabla 22: Vector de sumas ponderadas y valor de λ para cada escala de evaluación	113
Tabla 23: Determinación de la razón de consistencia para la matriz de comparación de las escalas de evaluación.....	113
Tabla 24: Determinación de intensidades para cada criterio en cada escala de evaluación	115
Tabla 25: Jerarquización de las alternativas de localización	116
Tabla 26: Comparación de metodos para la determinación de distancias	123
Tabla 27: Escenarios.....	125
Tabla 28: Alternativas de localización Jerarquizadas,	126
Tabla 29: Códigos asignados a los 140 barrios de la ciudad de Palmira.....	132

Tabla 30: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 1	1
.....	133
Tabla 31: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 4 minutos	135
Tabla 32: Barrios atendidos por la Estación de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 4 minutos	135
Tabla 33: Barrios no atendidos en un tiempo máximo de respuesta 4 minutos	135
Tabla 34: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 2	2
.....	136
Tabla 35: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 5 minutos	138
Tabla 36: Barrios atendidos por la Estación de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 5 minutos	138
Tabla 37: Barrios no atendidos en un tiempo máximo de respuesta 5 minutos	138
Tabla 38: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 3	3
.....	139
Tabla 39: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 6 minutos	141
Tabla 40: Barrios no atendidos por las alternativas de localización en un tiempo máximo de respuesta 6 minutos	141
Tabla 41: Comparación de los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios propuestos	142
Tabla 42: Número de barrios asignados y tiempo promedio de respuesta de las instalaciones de Bomberos para el escenario 3	144
Tabla 43: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario generalizado	147

Tabla 44: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un escenario que no considera la ubicación de la Estación actual	147
Tabla 45: Comparación de resultados obtenidos para el escenario 3 y el escenario generalizado.....	149

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1: Proceso solución problemas.....	46
Ilustración 2: Pensamiento Jerárquico	50
Ilustración 3: Escala Fundamental	52
Ilustración 4: Comportamiento de las emergencias, año 2008.....	68
Ilustración 5: Comportamiento de las emergencias, año 2009.....	68
Ilustración 6: Comportamiento de las emergencias, año 2010.....	69
Ilustración 7: Accidentalidad Vial Palmira, años 2002-2010.....	70
Ilustración 8: Accidentalidad Vial, Rural y urbana, Palmira	71
Ilustración 9: Cruces viales de mayor accidentalidad año 2010.....	73
Ilustración 10: Comparativo de la proporción de habitantes por estaciones de bomberos.	74

Ilustración 11: Proporción de superficie territorial por estación de bomberos.	75
Ilustración 12: Barrios fuera de cobertura estación actual, tiempo de respuesta 5 minutos.	78
Ilustración 13: Mapa sintético doble categorías Emergencias Naturales, Accidente de Tránsito e Incendios.	85
Ilustración 14: Zonas críticas área urbana municipio de Palmira	86
Ilustración 15: Mapa sintético-doble área rural del municipio de Palmira	88
Ilustración 16: Zonas críticas Palmira área rural	89
Ilustración 17: Modelo de localización de Subestaciones de Bomberos propuesto	94
Ilustración 18: Lugares potenciales de localización de subestaciones de bomberos de acuerdo cercanía a zonas de uso dotacional	98
Ilustración 19: Jerarquización criterios de evaluación.....	109
Ilustración 20: Ranking de las alternativas para la localización subestaciones de bomberos.	116
Ilustración 21: Cobertura en la ciudad de Palmira para un tiempo máximo de respuesta de 4 minutos.	134
Ilustración 22: Cobertura en la ciudad de Palmira para un tiempo máximo de respuesta de 5 minutos.	137
Ilustración 23: Cobertura en la ciudad de Palmira para un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos.	140
Ilustración 24: Comparación de resultados obtenidos en escenarios planteados.	143
Ilustración 25: Propuesta de localización de subestaciones de bomberos en el área urbana del municipio de Palmira.....	144

Ilustración 26: Cobertura en la ciudad sin la consideracion de la estación actual	148
Ilustración 27: Comparación de la situación actual con los resultados del modelo de localización (Escenario 3)	150
Ilustración 28: Relación población de habitantes por estación de bomberos.	151
Ilustración 29: Relación Área de cobertura por estación.....	152

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Acuerdo 086 del 5 de diciembre de 2011 .	¡Error! Marcador no definido.
Anexo B. Estado del Arte	¡Error! Marcador no definido.
Anexo C. Mapas analiticos con la georeferenciación de las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos en el área urbana del municipio de palmira	148
Anexo D. Mapas analiticos con la georeferenciación de las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos en el área rural del municipio de palmira.....	155
Anexo E. Mapas sinteticos simples para las emergencias atendidas en el área urbana del municipio de palmira.....	160
Anexo F. Mapas sinteticos simples para las emergencias atendidas en el área rural del municipio de palmira.....	164
Anexo G. Usos del suelo por grupos en areas de actividad en la zona urbana del municipio de palmira.....	167
Anexo H. Evaluación de alternativas de localización respecto al criterio fuera de zona de riesgos naturales	170
Anexo I. Respuesta obtenida por el instituto geografico agustin codazzi ante la solicitud de informacion sobre los lotes disponibles en la ciudad de palmira	177

Anexo J. Documentos de soporte para las calificaciones emitidas por cada uno de los expertos para la evaluación de las alternativas de localización.....	179
Anexo K. Tiempos de recorrido determinados entre cada una de las 14 alternativas de localización y los 140 barrios de demanda de la ciudad de palmira.....	183
Anexo L. Presentación de los resultados al cuerpo de bomberos voluntarios de la ciudad de palmira	189

INTRODUCCION

La localización de instalaciones tanto de bienes como de servicios implica el análisis de múltiples criterios que dependen de las actividades que se llevan a cabo en ellas y de los factores del entorno que las condiciona; los servicios, según las externalidades que ocasionan son considerados como deseables y no deseables, los primeros generan mayores beneficios que perjuicios a la sociedad, por lo que la población desea tenerlos lo más cerca posible; los últimos, producen a la sociedad más perjuicios que beneficios, haciendo que la población busque estar lo más alejada de ellas.

Según su naturaleza las instalaciones de servicios pueden ser de carácter público o privado; los problemas de localización de instalaciones tanto públicas como privadas buscan la maximización de beneficios o la minimización de costos para sus propietarios, satisfaciendo las necesidades de la demanda y las condiciones del entorno. Aunque la localización de estos dos tipos de instalaciones es similar, difieren en la formulación de los objetivos y restricciones. Dicha diferencia se puede justificar basándose en que los propietarios no son los mismos.² Las decisiones en el sector privado, aunque tienen en cuenta algunos aspectos de naturaleza no económica, lo que persiguen fundamentalmente es minimizar el coste o maximizar el beneficio de los propietarios de los centros de servicio. Las decisiones en el sector público se toman considerando que el propietario es la

²REVELLE, Charles; MARKS, David y LIEBMAN, Jon. An analysis of private and public sector location models. *Management Science*, 16, 1997. pp. 692-707.

sociedad y, por tanto, el objetivo es minimizar un coste o maximizar un beneficio social, difícilmente cuantificable en términos económicos.³

Generalmente la localización de servicios se da en función de dos principios, la eficiencia espacial y la justicia o equidad espacial; el primero, utilizado para la ubicación de servicios privados y se refiere al volumen global de desplazamientos que el conjunto de la demanda debe efectuar para utilizar las instalaciones y trata de medir el coste, en tiempos de recorrido o distancias, que la totalidad de la población se verá obligada a recorrer para poder utilizar los servicios; el segundo, tiene especial relevancia en el caso de los servicios ofertados por la administración pública, pues son financiados por toda la población, que tiene derecho a usarlos en las mismas condiciones de acceso.⁴

De acuerdo a lo anterior, las subestaciones de bomberos en este trabajo, son consideradas como instalaciones de servicio deseadas, de carácter público que tienen por objeto la prestación de un servicio equitativo para toda la población. Por tratarse la localización de subestaciones de bomberos de un problema de decisión que involucra variables de tipo cuantitativo y cualitativo, se abordó este problema inicialmente con el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), con el que se jerarquizaron las alternativas de localización de subestaciones de bomberos de acuerdo al nivel de cumplimiento de los criterios de tipo cualitativo establecidos; posteriormente se realizó un modelo de programación lineal en el que se integró los resultados obtenidos en el AHP con el problema de cobertura de conjuntos para conocer cuántas y cuáles de las alternativas consideradas debían localizarse en la ciudad para que toda la población fuese cubierta por el servicio del cuerpo de bomberos, considerando el tiempo de respuesta como un parámetro principal. Dado que en los servicios de emergencia este es fundamental para evaluar su calidad, pues, una respuesta que haya contribuido a la generación de pérdidas

³CANÓS, María Jose.¹; MARTÍNEZ, Manuel.² y MOCHOLÍ Marisa.³, “Búsqueda de un objetivo en problemas de localización”. Universidad de Valencia¹, Florida Universitaria², Universidad de Valencia³. XIV Jornadas de ASEPUMA y II Encuentro Internacional. s.f.

⁴ BOSQUE SENDRA, Joaquín; FRANCOMAAS, Sergio. (1995). “Modelos de asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables”. Serie Geográfica, n 5, pp. 100, 227.

humanas o económicas indica un mal servicio, mientras que una respuesta rápida ahorra pérdidas de vidas o daños en bienes materiales.⁵

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los objetivos más importantes de la localización de servicios financiados por la población de un territorio es el de lograr que todos sus habitantes sean atendidos bajo las mismas condiciones, es decir, que tengan la posibilidad de recibir un servicio de igual calidad.

En la actualidad, el cuerpo de Bomberos Voluntarios de Palmira cuenta con una única estación encargada de la atención de las emergencias tanto en la zona rural como en la zona urbana, lo que ha afectado la posibilidad de que todos habitantes sean atendidos dentro del tiempo máximo de respuesta; ejemplo de esto es la comuna 1 de la ciudad, donde el 100% de sus barrios se encuentran fuera de la cobertura del cuerpo de bomberos según el tiempo estándar de respuesta definido por la NFPA 1710⁶ en 5 minutos para la atención de emergencias, siendo esto contradictorio con el principio de justicia espacial, que “trata de que las instalaciones no estén desigualmente repartidas sobre el espacio, de modo que no

⁵ HOGG, Jane, 1968. The sitting of fire stations. *Operational Research Quarterly* 19 (1), 275-28.

⁶ NFPA 1710 (National Fire Protection Association) Edición 2010: Norma para la organización y despliegue de las operaciones de extinción de incendios, emergencias médicas y operaciones especiales al público por parte del departamento de bomberos.

existan diferencias, o al menos éstas no sean excesivamente grandes, en el acceso de la población a estas instalaciones”.⁷

Por ser el Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Palmira una entidad encargada de la atención de emergencias, que tiene como propósito la conservación de la vida y de los bienes materiales; es fundamental que proporcione una cobertura total de la ciudad, considerando que toda la población se encuentra susceptible a sufrir calamidades que requieren de su servicio y que la misma población contribuye al financiamiento de las actividades del Cuerpo de Bomberos de Palmira por medio del pago de la Sobretasa Bomberil establecido en el artículo 19 del Acuerdo 086 del 5 de diciembre de 2011, que equivale al 5% del predial unificado. Ver Anexo A

De acuerdo a la situación planteada anteriormente, la pregunta a responder en este trabajo es la siguiente: ¿Cuántas subestaciones de bomberos y en qué lugares de la ciudad de Palmira deben localizarse para que toda la población sea cubierta?

⁷BOSQUE SENDRA, Joaquín.¹y MORENO JIMÉNEZ, Antonio.².Localización-asignación y justicia/equidad espacial con sistemas de información geográfica,Universidad de Alcalá de Henares¹, Alcalá, España y Universidad Autónoma de Madrid², Madrid, España, s.f.

2. JUSTIFICACIÓN

La localización de instalaciones de bomberos es una decisión de tipo estratégico en que deben considerarse factores legislativos, operativos, económicos y del contexto en donde se planea realizar la ubicación; debido a la complejidad de la decisión es necesario contar con métodos y herramientas que permitan encontrar la mejor localización de las instalaciones, pues, el lugar en que estas sean ubicadas, es un factor determinante en la calidad del servicio proporcionado a la población.

Este trabajo de grado se justifica desde el aporte práctico-metodológico puesto que expone un modelo aplicado a la ciudad de Palmira, que contempla criterios de tipo cualitativo y cuantitativo aplicables a cualquier contexto y que sirve como herramienta de decisión a los cuerpos de bomberos que requieran decidir acerca de la ubicación de sus instalaciones de atención de emergencia; además, se justifica desde la relevancia social debido a que el principal interés es el de proponer al cuerpo de bomberos un modelo de localización que tiene como objetivo fundamental proporcionar a la población Palmirana un servicio equitativo.

Desde el punto de vista académico se justifica por la posibilidad de apoyar con herramientas de análisis cualitativas y cuantitativas de la ingeniería industrial, al cuerpo de bomberos en la toma de decisión sobre la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira.

3. OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo para la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira.

3.1. OBJETIVOS ESPECIFICO

- ✓ Realizar un diagnóstico que permita conocer la situación actual de la ciudad de Palmira en cuanto a la atención de emergencias y las condiciones establecidas por el ministerio del interior y de justicia para la localización de subestaciones de bomberos.
- ✓ Priorizar las zonas críticas de la ciudad de Palmira de acuerdo a las emergencias que se presentan con mayor frecuencia y que son atendidas por el cuerpo de bomberos de la ciudad.

- ✓ Determinar los criterios de localización más importantes que permitan priorizar las zonas potenciales para la ubicación de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira.
- ✓ Formular un modelo que permita determinar la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira.
- ✓ Seleccionar una herramienta que permita obtener una respuesta de localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira a partir del modelo formulado.
- ✓ Presentar al cuerpo de bomberos de la ciudad de Palmira los resultados obtenidos con el modelo de localización propuesto.

4. MARCO TEORICO

4.1 PROCESO DE TOMA DE DECISIONES

“Es un proceso de selección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos”.⁸ La persona encargada de la toma de decisiones debe contar con las herramientas necesarias para encontrar una solución aceptable al problema que se debe resolver, pues de no considerarse, se pueden seleccionar soluciones inadecuadas al problema; en el caso de los problemas de gran complejidad, deben brindarse todos espacios para el intercambio de opiniones entre las partes involucradas, pues la experiencia y el conocimiento de las personas involucradas en el problema, permiten respuestas más ajustadas a la realidad.

⁸HEBERT, S., “The New Science of Management Decision”, Harper and Row, New York, 1960.

La ilustración 1 muestra las etapas de un proceso de toma de decisión.⁹

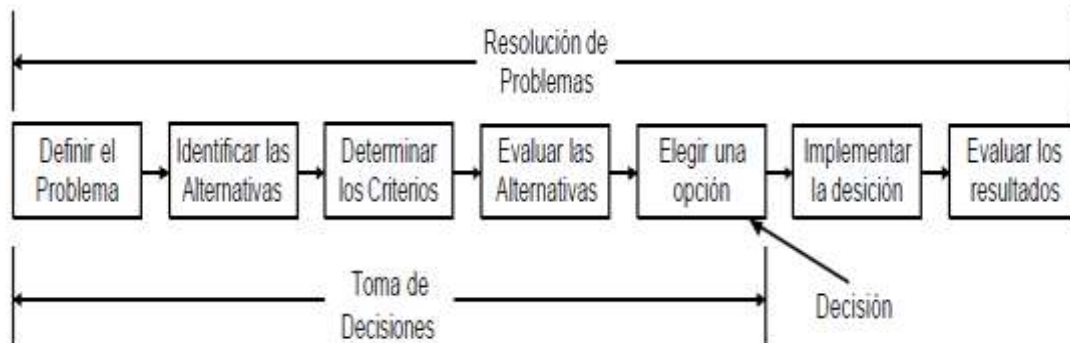


Ilustración 1: Proceso solución problemas. Fuente: Toskano Hurtado Gerard.

Otro enfoque para el proceso de toma de decisión es:¹⁰

- Análisis de la situación.
- Identificación y formulación del problema.
- Identificación de aspectos relevantes que permitan evaluar las posibles soluciones.
- Identificación de las posibles soluciones.
- Aplicación de un modelo de decisión para obtener un resultado global.
- Realización de análisis de sensibilidad.

La toma de decisión varía según el número de criterios considerados, por lo que se conocen como decisiones monocriterio a aquellas en las que la decisión depende de no más de un criterio, en el caso contrario se denominan decisiones multicriterio.

⁹ TOSKANO HURTADO, G., "El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores". Tesis Digitales UNMSN. 2005.

¹⁰ AVILA, M. R., Proyecto regional "Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible" Santiago de Chile, Diciembre 2000.

4.1.1 Problemas con un sólo criterio o atributo

Son problemas en que se evalúan las características de cada alternativa respecto a un solo criterio de decisión; la solución del problema es el valor óptimo resultante de analizar las funciones objetivo establecidas.

4.1.2 Problemas multicriterio o multiatributo

Son problemas en que se considera la valoración de dos ó más criterios para evaluar las características de cada alternativa. La alternativa que mejor resuelve el problema según los criterios ó atributos evaluados, es la solución al problema.

4.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y DECISIÓN MULTICRITERIO

“Los métodos de evaluación y decisión multicriterio comprenden la selección entre un conjunto de alternativas factibles, la optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un agente decisor y procedimientos de evaluación racionales y consistentes”.¹¹ Los métodos de evaluación y decisión multicriterio son generalmente utilizados para resolver problemas donde se consideran aspectos cualitativos, pues proporcionan soluciones factibles pero no óptimas. Su proceso consiste en seleccionar la(s) mejor(es) alternativa(s), aceptar las alternativas mejor valoradas y ordenarlas (de la “mejor” a la “peor”).

Entre los métodos de evaluación y decisión multiatributo se encuentran: Ponderación lineal (scoring), utilidad multiatributo (MAUT), relaciones de superación y el proceso analítico jerárquico (AHP).

¹¹Martínez E. y Escudey M., “Evaluación y decisión multicriterio”. Reflexiones y Experiencias. Capítulo 1: Evaluación y Decisión Multicriterio: Una Perspectiva. Primera Edición en editorial Universidad de Santiago, (1998), pp. 9-16.

En este trabajo se utiliza el proceso analítico jerárquico (AHP), debido a que es uno de los métodos de análisis multicriterio más utilizado, a su facilidad de aplicación y a que permitirá jerarquizar las alternativas para localizar subestaciones de bomberos con la integración de la experiencia y conocimiento de diferentes expertos.

4.2.1 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El proceso analítico jerárquico (AHP) fue desarrollado por el matemático de la universidad de Pensilvania Thomas Saaty en 1980, que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico que facilita al decisor analizar el problema de forma visual.

Los axiomas del proceso analítico jerárquico (AHP) son:

Axioma No. 1, referente a la condición de juicios recíprocos: La intensidad de preferencia de A_i/A_j es inversa a la preferencia de A_j/A_i .

Axioma No. 2, referente a la condición de homogeneidad de los elementos: Los elementos que se comparan son del mismo orden de magnitud.

Axioma No. 3, referente a la condición de estructura jerárquica o estructura dependiente de reaprovechamiento: Dependencia en los elementos de dos niveles consecutivos en la jerarquía y dentro de un mismo nivel.

Axioma No. 4 referente a la condición de expectativas de orden de rango: Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas.

El Proceso Analítico Jerárquico consta de las siguientes etapas:

4.2.1.1 Estructuración del modelo

Esta etapa contempla la definición de la situación que se desea resolver, los objetivos a alcanzar, las restricciones o factores de tipo cualitativo o cuantitativo que intervienen en la toma de la decisión, la identificación de las alternativas y los actores que participan en el proceso de toma de decisión. A continuación se muestran los componentes que permiten la estructuración del modelo:

- **Identificación del problema:** En esta etapa se especifica la situación que se desea resolver por medio de la utilización del proceso analítico jerárquico (AHP).
- **Definición de los objetivos:** En la definición de los objetivos se establece la meta o finalidad que se pretende conseguir con la actividad desarrollada, de la que depende la solución al problema planteado.
- **Identificación de criterios:** Los criterios son aspectos relevantes de tipo cualitativo y/o cuantitativo que se deben tener en cuenta en la toma de decisión dado que afectan el cumplimiento de los objetivos.
- **Identificación de las alternativas:** Las alternativas son propuestas factibles sobre las que se aplican los criterios de evaluación.
- **Determinación de los participantes:** Los actores corresponden a las personas que participan en el proceso de toma de decisión ya sea por su conocimiento de la situación problema o por que representan un grupo de interés.

La ilustración 2 muestra el pensamiento jerárquico propuesto por Thomas Saaty.

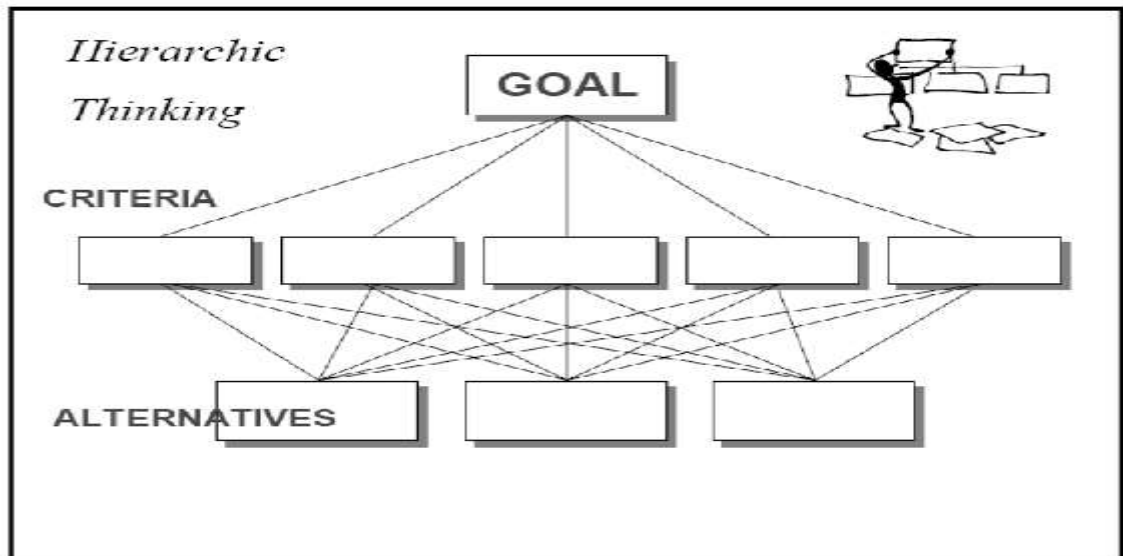


Ilustración 2: Pensamiento Jerárquico. Fuente: Tomás L. Saaty¹²

4.2.1.2 Selección de la medida

Debido a la naturaleza multicriterio del método, donde se comparan elementos de diferentes unidades de medida, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) introduce el concepto de prioridad, basado en valores de preferencias con la que son normalizadas las escalas para posibilitar la combinación de múltiples criterios en el proceso de evaluación.

La selección de la medida depende del número de alternativas que se haya considerado. Existen dos tipos de medida:

- **Medida Relativa**

El modelo se evalúa por medio de comparaciones entre criterios, subcriterios y las alternativas. Esta medida entrega las alternativas priorizadas de la mejor a la peor y se recomienda para un número de alternativas menor o igual a siete. En esta medida se construye una matriz cuadrada en la que las filas y las columnas son los elementos comparados, donde los componentes son los cocientes que

¹²Saaty T., "TheAnalyticHierarchyProcess. Ed. McGrawHill ,1980.

representan las preferencias entre cada par de elementos. Los componentes de la matriz de comparación son:

$$\begin{matrix}
 & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\
 A_1 & \begin{pmatrix} w_1 / & \\ & w_1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} w_1 / & \\ & w_2 \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} w_1 / & \\ & w_n \end{pmatrix} \\
 A_2 & \begin{pmatrix} w_2 / & \\ & w_1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} w_2 / & \\ & w_2 \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} w_2 / & \\ & w_n \end{pmatrix} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\
 A_n & \begin{pmatrix} w_n / & \\ & w_1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} w_n / & \\ & w_2 \end{pmatrix} & \dots & \begin{pmatrix} w_n / & \\ & w_n \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

Donde,

A_n : Representa al elemento n, que está siendo comparado con los demás.

w_n : Peso del elemento n.

Saaty propone la escala mostrada en la ilustración 3, para realizar las $(n^2 - n) / 2$ comparaciones por pares entre los elementos (n) de la matriz A, que permitirán realizar la priorización de criterios y la valoración de las alternativas.

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1.0	Ambos elementos son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3.0	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorece a un elemento por sobre el otro.
5.0	Fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7.0	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9.0	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2.0,4.0,6.0,8.0	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.

Ilustración 3: Escala Fundamental. Fuente: Tomás L. Saaty

Multiplicar la matriz de comparación A por el vector de prioridades w, es una de las relaciones más importantes en las matemáticas que permite utilizar en el AHP la teoría matricial de los valores y vectores propios.¹³

$$\begin{array}{c}
 A_1 \dots A_n \\
 \\
 \begin{array}{c}
 \mathbf{A}_1 \\
 \vdots \\
 \mathbf{A}_n
 \end{array}
 \mathbf{A} \mathbf{w} =
 \begin{pmatrix}
 w_1/w_1 & \dots & w_1/w_n \\
 \vdots & & \vdots \\
 w_n/w_1 & \dots & w_n/w_n
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \mathbf{w}_1 \\
 \vdots \\
 \mathbf{w}_n
 \end{pmatrix}
 = n
 \begin{pmatrix}
 \mathbf{w}_1 \\
 \vdots \\
 \mathbf{w}_n
 \end{pmatrix}
 = n \mathbf{w}
 \end{array}$$

¹³QUINTERO Andrés Felipe y VASQUEZ Marco Antonio, "Uso del AHP combinado con un modelo de optimización determinística para la localización de instalaciones en Colombia", Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística, 2008.

Donde A ha sido multiplicado a la derecha por el vector de ponderaciones w. El resultado de esta multiplicación es nw. Por lo tanto, para recobrar la escala de la matriz de relaciones, se debe resolver el problema.

$$Aw = nw \text{ ó } (A - n\lambda)w = 0$$

Donde,

A: Matriz de comparación por pares.

w: Vector propio de la matriz A. Representa las prioridades de los elementos.

λ : Valor propio de la matriz A asociado al vector propio w. Donde $\lambda \geq n$.

Si n es un valor propio de A, entonces w es el vector propio asociado. Ahora bien, el rango de A es uno, porque todas sus filas son linealmente dependientes. Por otro lado, la suma de los valores propios de una matriz es igual a su traza (la suma de los elementos de su diagonal) y para este caso, la traza de A es igual a n, por lo que n es el principal valor propio de A.

La solución de $Aw = \lambda w$, llamado principal vector propio de A, está conformado por valores positivos. Para hacer a w un vector único, se pueden normalizar sus valores al dividirlos por su suma.

La matriz A debe conservar, en lo posible, dos importantes características:

✓ Reciprocidad: Una matriz es recíproca, cuando satisface la siguiente relación:

$$a_{j,k} = \frac{a_{i,k}}{a_{i,j}}$$

Donde,

$$a_{i,j} = \frac{w_i}{w_j} \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

Una condición necesaria para tener resultados consistentes es que la matriz A sea recíproca.

- ✓ Consistencia: Es la coherencia que deben tener los juicios emitidos por el decisor. Esta consistencia se refiere, por ejemplo, a que si para determinada situación el elemento a es tres veces mejor que el elemento b y el elemento b es tres veces mejor que el elemento c, entonces el elemento a es nueve veces mejor que el elemento c (principio de transitividad).

Una condición necesaria y suficiente para tener consistencia es que el principal valor propio de la matriz A sea igual a n, esto es, $\lambda = n$. Generalmente en un ambiente de toma de decisiones real, no es posible, mediante los juicios emitidos por el decisor, definir los valores precisos de los cocientes w_i / w_j , sino obtener valores estimados de ellos. Por lo tanto, se debe tolerar inconsistencia en la mayoría de los casos.

Una forma de medir la desviación que tiene determinada matriz A de un juicio consistente es calcular la diferencia $\lambda - n$. Partiendo de la idea, de que se siempre $\lambda \geq n$ y para un juicio consistente $\lambda = n$.

Para evaluar los juicios emitidos por los expertos que participan en el proceso analítico jerárquico (AHP), Saaty ha definido el siguiente índice de consistencia (IC):

$$IC = \frac{(\lambda - n)}{(n - 1)}$$

Entre más cercano este el índice de consistencia de cero, menos contradicciones habrá en los juicios emitidos.

El índice aleatorio (IA) es el promedio del índice de consistencia obtenido de evaluar un gran número de matrices del mismo orden conformadas por elementos aleatorios. En la tabla 1 se muestra el índice aleatorio para diferentes valores de n.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio										
De Consistencia :	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Tabla 1: Índice Aleatorio. Fuente: Thomas L. Saaty (1980).

El cociente obtenido entre el índice de consistencia (IC) y el índice aleatorio (IA), se denomina razón de consistencia:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Para Saaty una razón de consistencia menor o igual a 0.10 es evidencia positiva para un juicio informado, por lo que se aceptan las estimaciones; de lo contrario se intenta mejorar la consistencia mediante la obtención de información adicional.

- **Medida Absoluta**

Consiste en comparar las alternativas contra un estándar definido mediante escalas que representan los juicios de los expertos y que se establecen para cada criterio. Estas escalas pueden expresarse de manera cardinal (razón o intervalo), ordinal, nominal y probabilística. Se recomienda utilizar esta medida cuando el número de alternativas es superior a siete.¹⁴ Para la medida absoluta, el modelo jerárquico se construye igual que con el uso de la medida relativa, definiendo una meta, criterios y en lugar de las alternativas los expertos crean escalas cualitativas o cuantitativas, que son comparadas de a pares para conocer las preferencias.

Inicialmente, los participantes del proyecto emiten juicios para priorizar los criterios que deben cumplirse en el análisis del problema y las escalas de evaluación determinadas. Luego, se multiplica la prioridad de cada criterio por la de su escala correspondiente y se selecciona el valor de mayor intensidad, por el que se dividen los demás valores. Los resultados obtenidos corresponden a intensidades para cada escala. Después, los expertos emiten juicios para calificar cada

¹⁴Saaty T. "Evaluación y Decisión Multicriterio, Reflexiones y Experiencias", Capítulo 2. Publicado en Junio de 1998.

alternativa respecto a las escalas definidas anteriormente; a dichas calificaciones se les asigna la intensidad correspondiente. Finalmente, se determina la calificación para cada alternativa como la suma ponderada de las prioridades de los criterios y la intensidad asignada para cada criterio.

Una vez evaluadas las alternativas, se jerarquizan de acuerdo a la calificación obtenida para todos los criterios considerados.

4.3 LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

El problema de localización en forma general se puede describir como la ubicación de una instalación productora de bienes ó prestara de servicios que debe satisfacer la demanda de un conjunto de clientes distribuidos en un área geográfica. Las instalaciones pueden operar en un ambiente de cooperación o competencia dependiendo del bien o servicio requerido por el cliente.

Dentro del análisis de los problemas de localización se pueden identificar cuatro elementos importantes; las instalaciones, que representan el conjunto de objetos a localizar para atender la demanda de un bien o servicio por parte de los clientes, las localizaciones, que constituyen el conjunto de posibles lugares para ubicar las instalaciones, los clientes, que son los usuarios que demandan bienes o servicios ofertados por una instalación y una métrica que indique las distancias, costos o tiempos entre los clientes y las instalaciones¹⁵.

Con el análisis integral de los anteriores elementos se busca responder a las siguientes cuatro preguntas¹⁶:

- ¿Cuántas instalaciones se deben utilizar o localizar?
- ¿Dónde deben ser ubicadas?
- ¿Qué tamaño deben tener?
- ¿Cuáles clientes debe atender cada instalación para minimizar los costos o tiempos totales?

¹⁵ReVelle, C.S, &Eiselt, A.H, "Location analysis: A synthesis and survey. European Journal of Operational Research (2005), pp. 165 1-19.

¹⁶Daskin M.S., Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications, Wiley Interscience, New York, 1995.

La disciplina matemática que proporciona herramientas cuantitativas para seleccionar la mejor localización de uno o más servicios en una región concreta es la teoría de la localización.¹⁷ Dependiendo del número de instalaciones a localizar, los problemas de localización se pueden clasificar en problemas de instalación simple, cuando se debe localizar una sola instalación y problemas multi–instalaciones cuando se deben ubicar dos o más instalaciones.

Con respecto a la taxonomía de la teoría de la localización, se pueden clasificar los problemas de localización en uno de los siguientes tres tipos:

- ✓ Localización continua: Se permite que las localizaciones estén en cualquier lugar dentro de un espacio dimensional.
- ✓ Localización discreta: Se definen un número finito de posibles localizaciones en el espacio de solución.
- ✓ Localización en redes: Problemas de localización de tipo especial que se modelan en redes o árboles.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este trabajo se pretende responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuántas instalaciones se deben utilizar o localizar?
- ¿Dónde deben ser ubicadas?
- ¿Cuáles clientes debe atender cada instalación para minimizar los tiempos totales?

Además, se trata de un problema de localización discreta porque las alternativas para la ubicación de subestaciones de bomberos se determinaron teniendo en cuenta restricciones, que permitieron definir lugares concretos.

¹⁷Hillier& Lieberman. Investigación de operaciones (7° Edición - 2002) Cap. 7. Pág. 332-339.

4.4 PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es un caso especial de la programación matemática, en donde todas las funciones que hay en el modelo son lineales; con una función objetivo lineal a optimizar (maximizar o minimizar), sujeta a restricciones lineales individuales y las variables del modelo, que pueden ser continuas y únicamente pueden tomar valores mayores o iguales a cero.¹⁸

La estructura general de un modelo de programación lineal es:¹⁹

$$\text{Optimizar } Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{Sujeta a: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1, 2, 3, \dots, n$$

Donde,

Z: Valor de la medida global de efectividad.

x_j : Nivel de la actividad j.

c_j : Incremento en Z que resulta al aumentar una unidad en el nivel de la actividad j.

b_i : Cantidad de recurso i disponible para asignar a las actividades.

a_{ij} : Cantidad del recurso i consumido por cada unidad de la actividad j.

¹⁸SIERRA Daniel, Libro “Métodos cuantitativos para la toma de decisiones”, Capítulo 1. Publicado en Octubre de 2002, pp. 10-11.

¹⁹GUZMÁN A. Gloria, Módulo “Programación Lineal”, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2005.

La Programación lineal consiste en encontrar los valores de unas variables que maximizan o minimizan un único objetivo sujeto a una serie de restricciones. Las principales características de un modelo de programación lineal son:

1. Un único objetivo lineal a optimizar (maximizar o minimizar)
2. Variables de decisión continuas y no negativas
3. Una o más restricciones lineales.
4. Un conocimiento exacto de los parámetros y recursos utilizados en la construcción del modelo.

En primer lugar, cabe destacar que en la programación lineal todas las funciones utilizadas tanto en el objetivo como en las restricciones son lineales. Es decir, las restricciones consisten en la suma de variables multiplicadas por sus respectivos parámetros, siendo esta función menor, igual o mayor que un determinado recurso. El objetivo también es lineal, si se desconoce su valor. En caso de que tanto el objetivo como una o más restricciones no fueran lineales, sería necesario el introducir métodos de programación no lineal, que son mucho más complejos de resolver y cuya optimalidad no siempre está garantizada.

En segundo lugar, la programación lineal considera que las variables de decisión son continuas. Desde el punto de vista matemático de obtención de soluciones, esta característica no ofrece problemas. Ahora bien, en muchas situaciones, la interpretación económica de la solución de un problema de programación lineal no tiene sentido si obtenemos fracciones en las variables. Por ejemplo, si estamos asignando trabajadores a tareas, no tiene sentido un resultado que en un momento determinado asigne 3.4 trabajadores a una determinada tarea. Por otro lado si se opta por redondear al entero más próximo se puede cometer un grave error. Para poder obtener soluciones enteras en problemas que lo requieren, se utiliza la programación lineal entera.

En tercer lugar, los modelos de programación consideran que hay un único objetivo a maximizar o minimizar. En muchas ocasiones los problemas estudiados tienen más de un objetivo que se debe cumplir, dando lugar a la programación por objetivos.

Finalmente, se considera que los parámetros utilizados en la construcción del modelo se conocen ó son determinísticos. Sin embargo, existen situaciones en las que uno o más parámetros tienen un componente estocástico ó de variabilidad (que en algunos casos puede ser representada por una distribución estadística). Si

esto sucede, la programación lineal ya no es un buen instrumento para la obtención de soluciones, siendo necesario utilizar técnicas de programación estocástica.

4.5 PROBLEMA DE COBERTURA

El objetivo principal de este grupo de problemas de localización es el de cubrir una demanda de forma total o parcial. En muchos casos, la distancia o tiempo de respuesta entre los clientes y los puntos que prestan los servicios, es decisiva para la satisfacción del cliente. Para Daskin (1995) el tiempo de respuesta que proporciona una instalación de servicios es un parámetro para medir la calidad ó cobertura del servicio. Los problemas de cobertura pueden clasificarse de dos maneras:

1. Problema de Cobertura de conjuntos: En este tipo de modelos se busca localizar el número mínimo de instalaciones necesarias para garantizar que cada nodo de demanda sea cubierto por al menos una instalación dentro del parámetro de cobertura.
2. Problema de Máxima Cobertura: El modelo de máxima cobertura restringe el número de instalaciones que pueden ser localizadas y establece como función objetivo maximizar la cobertura del servicio con un número de instalaciones fijas.

El problema de máxima cobertura no se utilizó en este trabajo dado el carácter público que tienen las instalaciones de bomberos en la ciudad de Palmira, pues, son financiadas por todos los habitantes, lo que les otorga el derecho a ser atendidos bajo el mismo tiempo máximo de respuesta.

4.5.1 Problema de Localización Seleccionado

De los problemas de localización mencionados anteriormente, el problema de cobertura de conjuntos se ajusta a las necesidades de este trabajo, dado que permite determinar el número y la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira necesarias para cubrir toda la población dentro del mismo tiempo máximo de respuesta.

La formulación matemática general con programación lineal para resolver el problema de cobertura de conjuntos (SCP) se muestra a continuación:²⁰

Función objetivo

$$SCP = \min \sum_{j \in N} c_j y_j$$

Sujeto a,

$$\sum_{j \in N} a_{ij} y_j \geq 1 \quad \forall i \in M$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in N$$

Donde,

N: Conjunto de alternativas para realizar la localización de las instalaciones.

M: Conjunto de puntos de demanda que deben ser cubiertos por el servicio de una instalación.

c_j : Costos fijos asociados a la construcción de una instalación en la alternativa $j \in N$.

a_{ij} : Variable binaria que es 1 si la alternativa $j \in N$ cubre la demanda del nodo $i \in M$, 0 de lo contrario.

y_j : Variable binaria que es 1 si se localiza la instalación en la alternativa $j \in N$, 0 de lo contrario.

²⁰QUINTERO Andrés Felipe y VASQUEZ Marco Antonio, "Uso del AHP combinado con un modelo de optimización determinística para la localización de instalaciones en Colombia", Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística, 2008.

5. ESTADO DEL ARTE

Para la localización de cualquier tipo de instalación es importante realizar un análisis completo de las variables que influyen en la organización y que se encuentran en su interior como en el exterior. Cuando las instalaciones a localizar tienen como actividad la prestación de servicios de emergencias el tiempo de atención debe ser mucho más rápido y efectivo ante un evento, dado las implicaciones en cuanto a pérdidas que se puedan presentar. Es por esto que los problemas de localización de cualquier tipo de instalación en especial de centros de emergencias requieren que se resuelvan integralmente analizando cualitativa y cuantitativamente cada uno de los criterios de localización definidos por cada una de las partes interesadas. Por esto se estudian algunos modelos matemáticos utilizados por diferentes autores para la solución de problemas de localización de instalaciones de emergencias.

El problema de cobertura de conjuntos ha sido utilizado por diferentes autores para ubicar instalaciones de bomberos. Algunos de estos autores son Schreuder (1981), quien formuló un modelo de programación lineal binaria para resolver el problema de cobertura de conjuntos, que en su trabajo correspondía a determinar el número mínimo de estaciones de bomberos, su localización y el número de lugares a atender, de modo que cada punto de la ciudad de Rotterdam pudiera ser atendido dentro del tiempo establecido y con el equipo suficiente. Plane y Hendrick (1977) usaron el mismo procedimiento aplicado a la ciudad de Denver, Schilling et al. (1980) aplicó el procedimiento a la ciudad de Baltimore, mientras que Hogg (1968) usó el procedimiento aplicado a la ciudad de Bristol.

Anna M. Cobes y Ramón Companys (1991), en su trabajo “Modelo de localización de servicios de extinción de incendios”, proponen un modelo de programación por objetivos en el que definieron cinco subdivisiones, cada una responde a un criterio de localización influyente en la decisión, dando lugar a diferentes funciones objetivo. En un primer grupo el objetivo es minimizar costos, en el segundo grupo minimizar tiempos de respuesta, en el tercer grupo el objetivo es maximizar una ponderación de los focos que se consideran bien atendidos, el cuarto grupo tiene como objetivo minimizar las molestias ocasionadas al localizar las instalaciones y el quinto grupo utiliza un objetivo de equidad.

HongzhongJia, Fernando Ordóñez y MagedDessouky (2005), desarrollaron un modelo que busca resolver el problema de localización de instalaciones de suministros médicos para atender emergencias de gran escala como terremotos, atentados terroristas, entre otros en la ciudad de los Ángeles. En este trabajo se propone un modelo de ubicación general que se adapta a emergencias de gran escala, con el fin de minimizar las pérdidas de vidas humanas y económicas.

Ahmad RodziMahmud y VinilIndriasarid, presentaron un modelo para encontrar la mejor ubicación de un número fijo de instalaciones de servicios que permita maximizar el área total cubierta. En este artículo se muestra como fue utilizado el algoritmo de Greedy con adición y con sustitución, para resolver el problema de la optimización del área máxima cubierta por un servicio que permite alcanzar el mejor valor de la función objetivo del modelo evaluando un conjunto de sitios candidatos. En este estudio se hizo uso de la simulación para la ubicación de las estaciones de bomberos en Jakarta-Selatan (Indonesia), se tuvo como consideración la accesibilidad de las carreteras para la localización. Por medio de los dos algoritmos se logró llegar a una mejor cobertura que la proporcionada con las estaciones de bomberos existentes, considerando el mismo número de estaciones de bomberos durante el mismo tiempo de recorrido.

Masood A. Badri, Amr K. Mortagy y ColonelAliAlsayed (1998), proponen en su trabajo un modelo con un enfoque multi-criterio a través del uso de programación entera por metas dado que el problema de localización de la estación de bomberos incluye objetivos directamente relacionados y un conjunto de criterios tangibles e intangibles que se deben considerar. El modelo propuesto describe la situación de una ciudad que evalúa diferentes sitios en 31 sub áreas. El modelo permite determinar la ubicación de las estaciones de bomberos y las áreas que deben atender. Se consideran múltiples objetivos que incorporan tanto los tiempos como las distancias de viaje desde las estaciones de bomberos hacia los sitios de demanda (sub aéreas). Además, el modelo incorpora otros objetivos como los costos y otros criterios de carácter técnico o de carácter político. Los resultados indican que el desarrollo de un modelo de programación entera por metas es una técnica ideal que se aplica para resolver problemas reales de localización de estaciones de bomberos.

Lili Yang, Bryan Jones y Shuang- Hua Yang (2007) determinaron la ubicación óptima de las instalaciones de una estación de bomberos combinando un modelo de programación difusa multi-objetivo y un algoritmo genético. El modelo difuso original multi objetivo se convierte en un modelo con un objetivo único "Min-Max ", lo que facilita la aplicación de un algoritmo genético para la resolución de este

problema. En comparación con los métodos existentes para la ubicación de estaciones de bomberos, el enfoque que se presenta en este artículo tiene tres características que lo distinguen:

1. Se tiene en cuenta la naturaleza difusa de la persona encargada de tomar la decisión (DM) en la optimización del modelo de localización.
2. Se examina a fondo las demandas de las instalaciones de las zonas con diferentes categorías de riesgo de incendio.
3. Este modelo es más comprensible y práctico para la persona encargada de tomar la decisión (DM).

En el anexo B se muestran otros estudios analizados y que se utilizaron para la realización de este trabajo.

Para determinar las distancias de cada uno de los barrios identificados como puntos de demanda en la ciudad de Palmira y las alternativas de localización de subestaciones de bomberos, se utilizó la herramienta Google Maps dada su fácil utilización, a que considera los sentidos viales y a que permite tener una medida cercana a la distancia real entre dos puntos recorrida por carretera.

Google Maps²¹ es una herramienta web gratuita de Google que ofrece imágenes vía satélite de todo el planeta, lo que en algunos países se combina con mapas de sus ciudades y ha dado, debido a su programación abierta, diversas utilidades entre las que se encuentra la determinación de las posibles rutas para llegar de un lugar a otro bien sea en coche ó a pie, considerando condiciones del tráfico en tiempo real, tiempos de viajes, etc. Además, permite añadir destinos de rutas, personalizarlas y realizar previsiones meteorológicas de todos los lugares del mundo.

El algoritmo utilizado por Google Maps para proporcionar las rutas entre los lugares especificados es el ShortestPath A*²² que consiste básicamente en una extensión del algoritmo de Dijkstra usando una heurística, con la ventaja de que consigue mejorar el rendimiento en cuanto a la velocidad de cálculo. El término de heurística en un sentido computacional consiste en una función matemática $h(n)$ que sirve como estimación del coste del camino más económico de un nodo dado

²¹ Página web: www.googlemaps.com

²² SANDERS, Pedro. Planificación de la ruta. Google Tech Talk, 2009.

hasta el nodo objetivo. La búsqueda escogerá el nodo que tiene el valor más bajo en la función heurística. La función $h(n)$ es admisible cuando no supera nunca los costes de encontrar el objetivo.²³

Algunos autores han utilizado la aplicación Google Maps para la determinación de distancias. Entre estos se encuentra Ayoze Nicolás Fumero Alfonso (2008), en su trabajo “GMOR: Google Maps para la Optimización de Rutas”, propone la generación de una interfaz en la que se utiliza la API de Google Maps para la solución de un problema de optimización de rutas.

Roy A. Justo Torres, en su trabajo “Diseño, desarrollo e implementación de una aplicación web-map para la visualización y consulta de los proyectos ejecutados por auditing - intraesa”, propuso la creación de una aplicación web – map, que permitiera mostrar en un mapa la localización de cada proyecto ejecutado por la compañía y la información asociada a estos. La visualización de los proyectos se realiza a través del API de Google Maps.

Andrés Rodríguez (2007), de la Universidad Politécnica de Valencia durante el Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro, presenta los resultados alcanzados en el desarrollo de una herramienta informática profesional que resuelve problemas reales de flotas de vehículos con restricciones de capacidad (CVRP), determinación de rutas y asignación de los vehículos. Este software combina inteligentemente tres elementos: el sistema de información geográfica (GIS), la información del sistema logístico (VRP-XML), los modelos matemáticos y técnicas de optimización combinatoria que conjuntamente permiten resolver los problemas de rutas para flotas de vehículos.

²³BUDHRANI, Roshni. Cálculo de rutas con pgRouting, OpenStreetMap y OpenLayers. Palma de Mallorca España. 2009-2010.

6. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El municipio de Palmira con 294.580 habitantes y un área total de 1.162 km², de los cuales 19,34 km² corresponden a área urbana y 1.142,2 km² corresponden a área rural, es el tercer municipio del Valle del Cauca con mayor población después de Santiago de Cali y Buenaventura. El área urbana del municipio de Palmira la constituyen 140 barrios distribuidos en 7 comunas, mientras que la zona rural está compuesta por 31 corregimientos distribuidos en 8 comunas²⁴.

El municipio de Palmira través del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios cuenta con una estación de bomberos desde el 5 de diciembre de 1931, que se ha utilizado para atender las diferentes emergencias que se presentan en la ciudad y brindar apoyo a los municipios aledaños cuando se ha requerido; Dicha estación de bomberos se encuentra equipada con los elementos asignados según el decreto 3580 del Ministerio del Interior y de Justicia a los municipios en categoría E por tener una población entre 250.000 y 500.000 habitantes, y con los que atiende las emergencias tanto en la zona urbana como en la rural del municipio.

El cuerpo de bomberos voluntarios de la ciudad actualmente representa la principal entidad para la atención no solo de incendios sino de una variedad de calamidades conexas como: Accidentes de tránsito, hechos violentos, emergencias médicas, desastres naturales e incidentes relacionados con servicios públicos, salvamento de personas y animales.

Para conocer el comportamiento de las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos y tener una mejor aproximación de la situación actual de la ciudad de Palmira, se analizó por medio de tablas dinámicas en excel, 10.398 reportes de los incidentes atendidos durante los años 2008, 2009 y 2010.

Con el objetivo de facilitar el manejo de la información, las emergencias atendidas, fueron agrupadas por categorías de acuerdo a la afinidad o correspondencia entre la categoría y el tipo de emergencia. Las categorías de emergencias establecidas, de acuerdo al análisis de los reportes de las emergencias se muestran en la tabla 2.

²⁴Datos obtenidos del anuario estadístico para el año 2010 de la ciudad de Palmira

CATEGORIA	EMERGENCIAS
ACCIDENTES DE TRANSITO	ACCIDENTES DE TRANSITO
AGRESION FISICA	AGRESIÓN FISICA
	ARMA CORTOPUNZANTE
	ARMA DE FUEGO
ASISTENCIAS TECNICAS	ARBOLES EN LA VIA
	CORTO CIRCUITO
	DERRAME COMBUSTIBLES-LIQUIDOS
	EMERGENCIA SANITARIA O AMBIENTAL
	ESTRUCTURA COLAPSADA
	SUSTANCIAS PELIGROSAS
	ESCAPES (GAS NATURAL, G.L.P)
ATAQUE DE ANIMALES	ATAQUE ANIMALES
	CONTROL DE ABEJAS
EMERGENCIAS MÉDICAS	INTENTO DE SUICIDIO
	INTOXICACIONES
	PERSONA ELECTROCUTADA
	PERSONA ENFERMA
	PERSONA FALLECIDA
	PERSONA LESIONADA
	TRABAJO DE PARTO
EMERGENCIAS NATURALES	DESLIZAMIENTO DE TIERRA
	INUNDACIONES
INCENDIOS	AGRICOLAS
	FORESTALES
	EXPLOSIONES
	ESTRUCTURALES
	CONATOS
	AISLADOS
	VEHICULARES
	ELECTRICO
	QUEMA DE BASURA
OTROS	ERROR DIGITACION
	FALSA ALARMA
	SE HIZO PRESENCIA
PREVENCION OPERATIVA	SIMULACROS
RESCATE-SALVAMENTOS	RESCATE ANIMALES
	RESCATE PERSONAS

Tabla 2: Categorización de Emergencias, Fuente: Elaboración propia, con reportes de emergencias, años 2008,2009 y 2010

Para cada una de las categorías establecidas, se analizó su comportamiento según el porcentaje de participación respecto al total de incidentes presentados cada año.

La ilustración 4 muestra los resultados obtenidos para el año 2008.

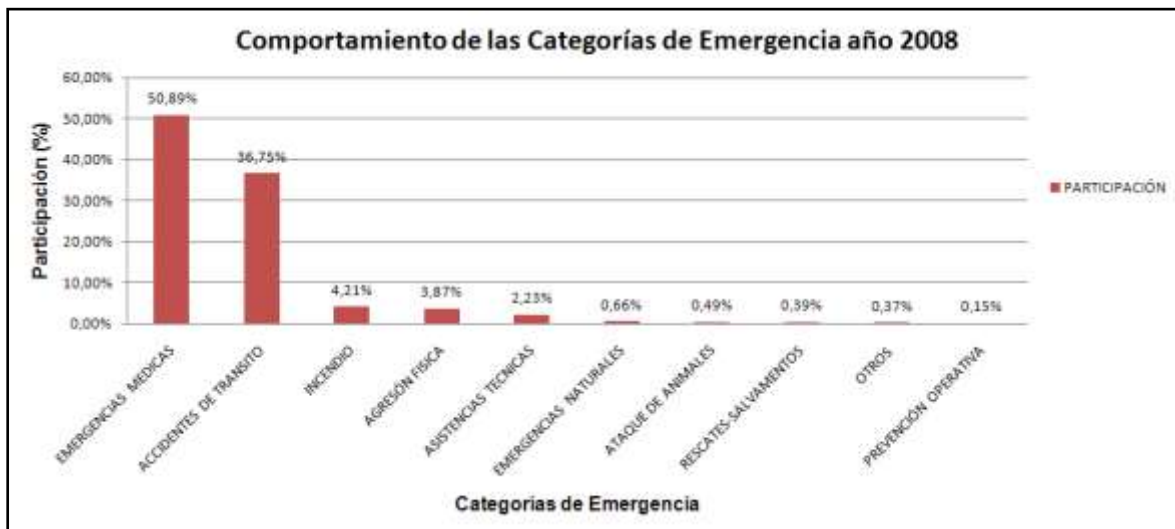


Ilustración 4: Comportamiento de las emergencias, año 2008

La ilustración 5 muestra los resultados obtenidos para el año 2009.

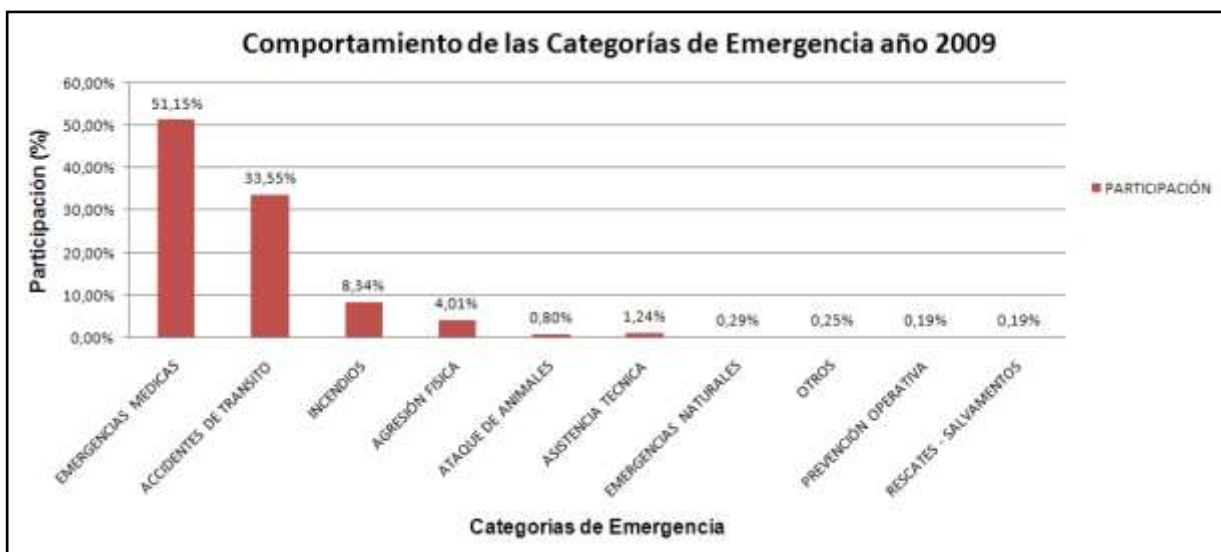


Ilustración 5: Comportamiento de las emergencias, año 2009

La ilustración 6 muestra los resultados obtenidos para el año 2010.

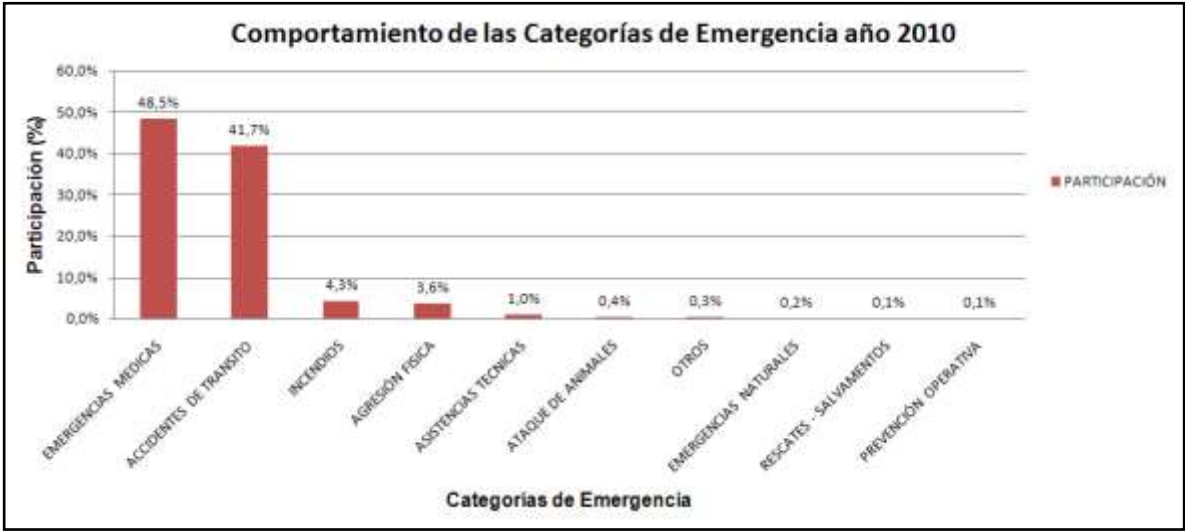


Ilustración 6: Comportamiento de las emergencias, año 2010

Según el comportamiento de cada una de las categorías de emergencias durante los años en estudio, se observa que las emergencias médicas y los accidentes de tránsito han sido las dos categorías de emergencia atendidas con mayor frecuencia por el cuerpo de Bomberos, representando en promedio el 87,51% de las emergencias. Ver tabla 3.

CATEGORIAS	PORCENTAJE PARTICIPACIÓN		
	2008	2009	2010
EMERGENCIAS MEDICAS	50,89%	51,15%	48,50%
ACCIDENTES DE TRANSITO	36,75%	33,55%	41,70%
INCENDIOS	4,21%	8,34%	4,30%
AGRESION FISICA	3,87%	4,01%	3,60%
ASISTENCIAS TECNICAS	2,23%	1,24%	1%
EMERGENCIAS NATURALES	0,66%	0,29%	0,20%
ATAQUE DE ANIMALES	0,49%	0,80%	0,40%
RESCATES-SALVAMENTOS	0,39%	0,19%	0,10%
OTROS	0,37%	0,25%	0,30%
PREVENCIÓN OPERATIVA	0,15%	0,19%	0,10%

Tabla 3: Participación de las Categorías de Emergencia

Como se observa en la tabla 3, los accidentes de tránsito en los últimos años, fue la categoría que presentó mayor ocurrencia después de las emergencias médicas; lo que la convierte en uno de los principales focos de atención para el cuerpo de bomberos.

Se evidencia de acuerdo a la ilustración 7, el comportamiento de los accidentes de tránsito desde el año 2002 hasta el año 2010, donde el año 2008, de los tres años analizados, representa el de mayor accidentalidad; se evidencia además, que el año 2010 presentó un incremento de los accidentes de tránsito del 24,3% respecto al año 2009.



Ilustración 7: Accidentalidad Vial Palmira, años 2002-2010

La ilustración 8 muestra que la ocurrencia de accidentes de tránsito es mucho menor en la zona rural que en la urbana, pues es en esta última donde se ha presentado el mayor número de accidentes. Aunque, en el año 2010 los accidentes de tránsito en la zona urbana se redujeron en 1,98% con respecto al año 2009, en la zona rural se incrementó el 71,3% en el año 2010 con respecto al año 2009.

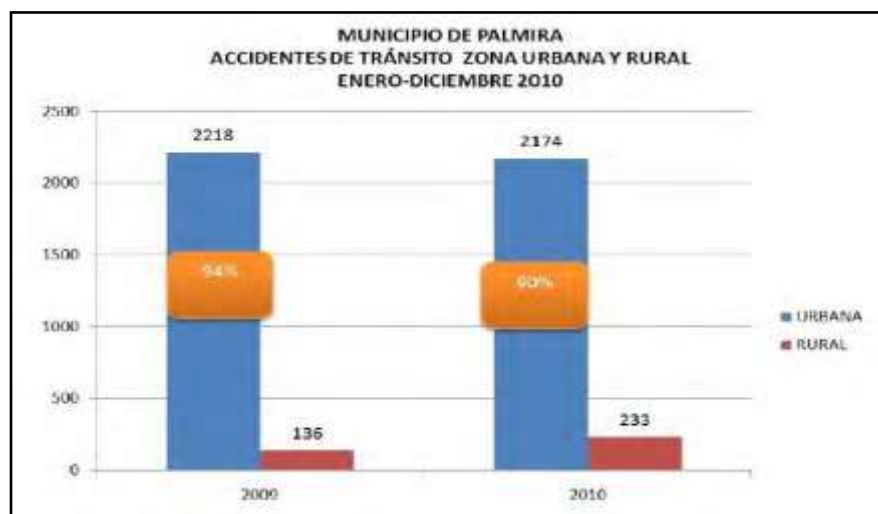


Ilustración 8: Accidentalidad Vial, Rural y urbana, Palmira. Fuente: Procesado observatorio de seguridad, convivencia y cultura ciudadana con datos de la secretaría de tránsito municipal, 2010

La tabla 4 muestra los cruces viales de mayor accidentalidad en la ciudad de Palmira.

CRUCES VIALES DE MAYOR ACCIDENTALIDAD 2006-2010					
NUM	2006	2007	2008	2009	2010
K28C42	55	62	49	50	64
K35C42	41	42	52	46	63
K28C69	-	-	-	-	19
K28C47	33	34	38	22	18
K1#30	-	-	-	-	16
K28C43	-	-	-	-	16
K29C36	-	-	-	-	16
K32C42	22	9	14	10	13
K28C54	10	9	14	14	12
K24C30	-	-	-	-	12
K32C28	14	18	16	8	11
K29C30	-	-	-	-	11
K19C37	-	-	-	-	11
K29C28	-	-	-	-	10
K29C31	7	9	16	13	10
K19C42	10	12	19	19	9
K27C30	-	-	-	-	9
K28C65	12	10	11	14	9
K21C18	-	-	-	-	8
K35C36	12	8	8	17	8
K33AC27	8	11	8	14	6
K24C28	6	8	22	10	6
K24C29	6	6	19	11	5
K31C29	5	16	5	0	4
K35C47	9	5	12	16	4
K1#31	-	-	-	11	3
K30C30	10	2	16	10	0
K35C31	10	12	8	21	0
K45C26A	19	17	12	16	0
K25C33	5	17	16	4	0

1er Cruce vial	
2do Cruce vial	
3er Cruce vial	
4to Cruce vial	
5to Cruce vial	
6to Cruce vial	

Tabla 4: Cruces viales más críticos en la ciudad de Palmira. Fuente: Datos procesados por el observatorio de seguridad, convivencia y cultura ciudadana con datos de la secretaria de movilidad de la ciudad de Palmira, 2010

Según la tabla 4, el primer cruce vial más crítico es el de la carrera 28 con calle 42, seguido por el de la carrera 35 con calle 42 y por el de la carrera 28 con calle 69, lo que los convierte en cruces de total atención para la localización de una subestación de bomberos debido a la frecuencia con que se presentan accidentes en estos lugares.

La ilustración 9 muestra en el área urbana del municipio de Palmira los cruces viales de mayor accidentalidad en el año 2010.

Cruces Viales de mayor accidentalidad, año 2010



Ilustración 9: Cruces viales de mayor accidentalidad año 2010. Fuente: Elaboración propia con Datos procesados por el observatorio de seguridad, convivencia y cultura ciudadana con datos de la secretaria de movilidad de la ciudad de Palmira, 2010.

Debido a que no existe ningún estándar para determinar el número de instalaciones de bomberos a localizar en una ciudad, pues esta decisión depende de las características de cada una y a la autonomía de cada cuerpo de bomberos, se eligieron las ciudades de Bogotá, Cali y Medellín con el fin de contrastar sus condiciones bomberiles respecto a las de Palmira, puesto que se encuentran en el mismo contexto nacional y además son regulados por el mismo ente estatal, que en este caso es el Ministerio del Interior y de Justicia.

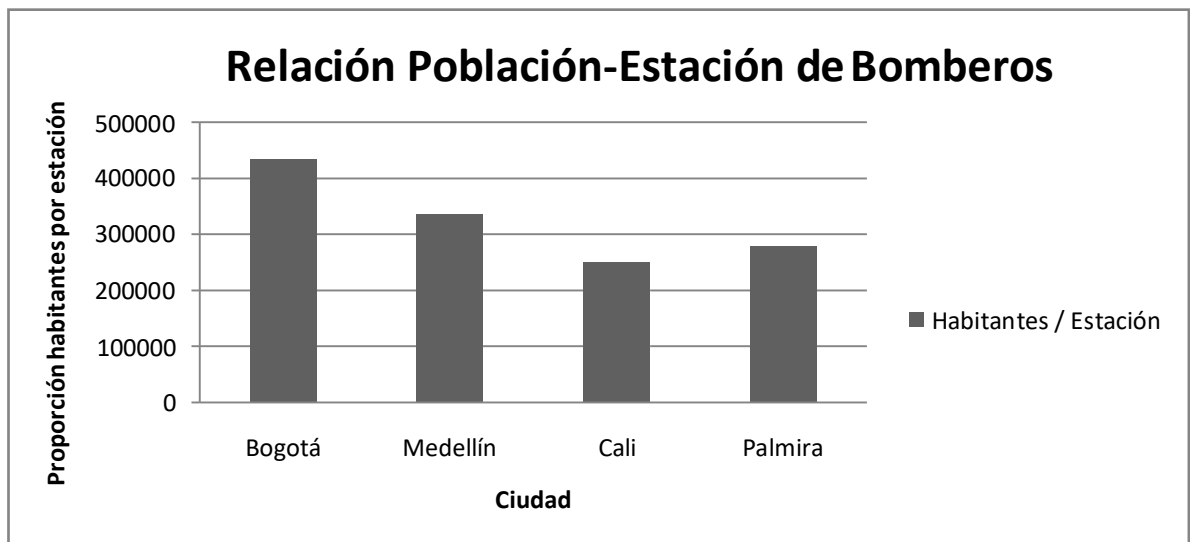


Ilustración 10: Comparativo de la proporción de habitantes por estaciones de bomberos.
Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 10 se compara la situación actual de la ciudad de Palmira, en cuanto a la proporción de habitantes por estación de bomberos; hoy en día, el municipio cuenta con tan solo una estación de bomberos para la atención de 278.547 habitantes, que la hace, según la ilustración 13, la tercer ciudad con mayor número de habitantes asignados por estación; se observa además, que a pesar de Bogotá tiene 17 estaciones en toda la ciudad, es la de mayor proporción de habitantes por estación con 433.164, esto se debe a que es la ciudad más poblada respecto a Medellín, Cali y Palmira. La mayor cobertura de estaciones se logra en la ciudad de Cali, pues tiene una asignación de 249.404 habitantes por estación.

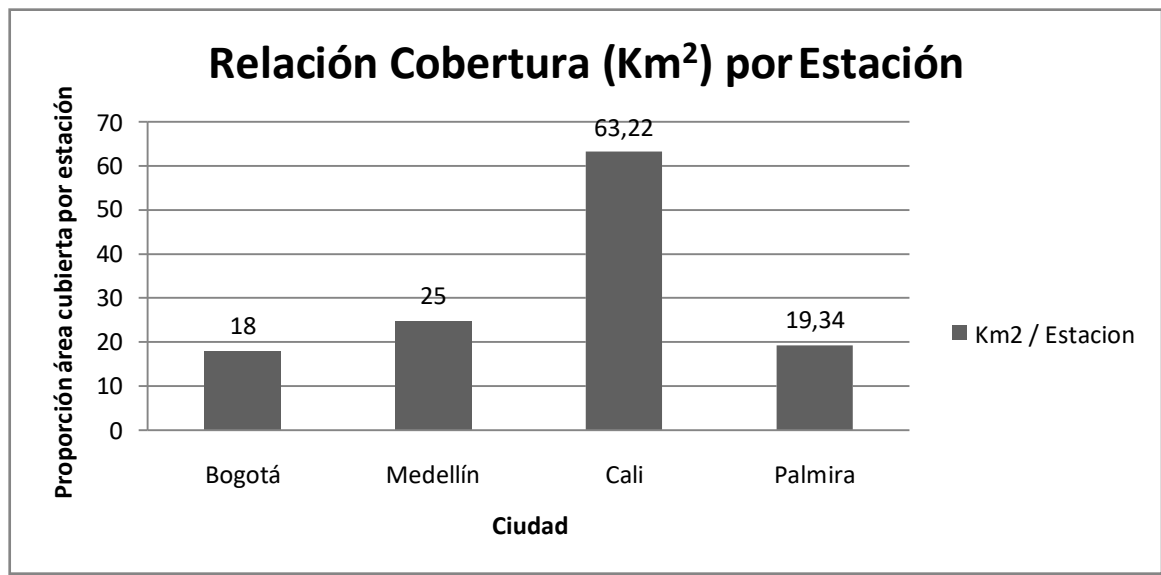


Ilustración 11: Proporción de superficie territorial por estación de bomberos. Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la ilustración 11, que para el indicador de superficie territorial cubierta por una estación de bomberos, el cuerpo de bomberos de Bogotá, tiene asignada un área de atención menor que las estaciones de las otras ciudades, lo que se traduce en una mejor cobertura del espacio geográfico. Palmira, según este indicador, es la segunda ciudad con menor área asignada por estación con 19,34 Km². Mientras que las instalaciones de bomberos de la ciudad de Cali son las que tienen la mayor área asignada con 63,22 Km² por estación.

61 COBERTURA ACTUAL DEL SERVICIO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO

Debido a que en el área urbana del municipio de Palmira se ha presentado en promedio el 85.3% de las emergencias atendidas durante los años 2008, 2009 y 2010, el análisis de la cobertura del servicio del cuerpo de Bomberos y el espacio de búsqueda de lugares potenciales de localización de subestaciones solo se enfocará a esta área.

Para conocer los tiempos en que el cuerpo de bomberos de la ciudad de Palmira ha atendido las tres categorías de emergencias estudiadas (Incendios, Accidentes de Tránsito, Emergencias Naturales), se analizaron 3.125 reportes de todos barrios atendidos durante los años 2008, 2009 y 2010.

Los tiempos de reacción, recorrido, de respuesta dados en horas, minutos y segundos se muestran en la tabla 5:

	2008	2009	2010	Tiempo promedio (Tres años)
Promedio T-Reacción (min : seg)	00:49	01:01	00:54	00:54
Promedio de T-Recorrido (min : seg)	03:06	03:18	03:18	03:14
Promedio de T. Respuesta (min : seg)	03:55	04:19	04:12	04:08
Desviación estándar del T. Respuesta	01:28	01:28	01:27	01:27
Numero de Emergencias Atendidas	1182	896	1047	

Tabla 5: Tiempos Promedio de Respuesta ante Emergencias 2008, 2009 y 2010, con datos de los reportes de emergencia del cuerpo de bomberos voluntarios Palmira

De acuerdo a la tabla 5 y al histórico de los tiempos de las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos de la ciudad durante los años 2008, 2009 y 2010, se tiene que el tiempo promedio de alistamiento del personal y de la disposición de las máquinas para salir a atender una emergencia es de aproximadamente 1 minuto y que el tiempo promedio de recorrido desde la estación hasta los sitios de emergencia es de 3 minutos y 14 segundos, lo que permite identificar un tiempo

promedio de respuesta durante los tres años de 4 minutos y 8 segundos con una desviación estándar de 1 minuto y 27 segundos.

A pesar que en el año 2009 el cuerpo de Bomberos atendió menos emergencias que en el 2008 y 2010, fue el año que presentó el tiempo promedio de reacción más largo en relación a los otros dos, esto se debe a que en el 2009 el cuerpo de Bomberos atendió mayor cantidad de incendios en el municipio en comparación al 2008 y al 2010, lo que incrementó el tiempo promedio de reacción dado que para la atención de este tipo de emergencias se requiere una disposición especial de personas, indumentaria y equipos que aumentan el tiempo de alistamiento (ver tabla 5).

Realizando el análisis de los tiempos de respuesta a cada uno de los 140 barrios de la ciudad en los que se han presentado emergencias durante los tres años de estudio, se encontró que 74 barrios han sido atendidos en un tiempo superior a 5 minutos, tiempo definido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NationalFireProtectionAssociation, NFPA) en la norma 1710 del 2010, como aceptable para la atención de emergencias. Se utilizó los lineamientos de la NFPA dado que es el único referente para conocer la situación de la ciudad pues el cuerpo de bomberos no tiene definido el parámetro de tiempo con el que se deben atender las emergencias en la ciudad.

Los barrios que han sido atendidos por el cuerpo de bomberos en tiempos superiores a 5 minutos se muestran en la ilustración 12.

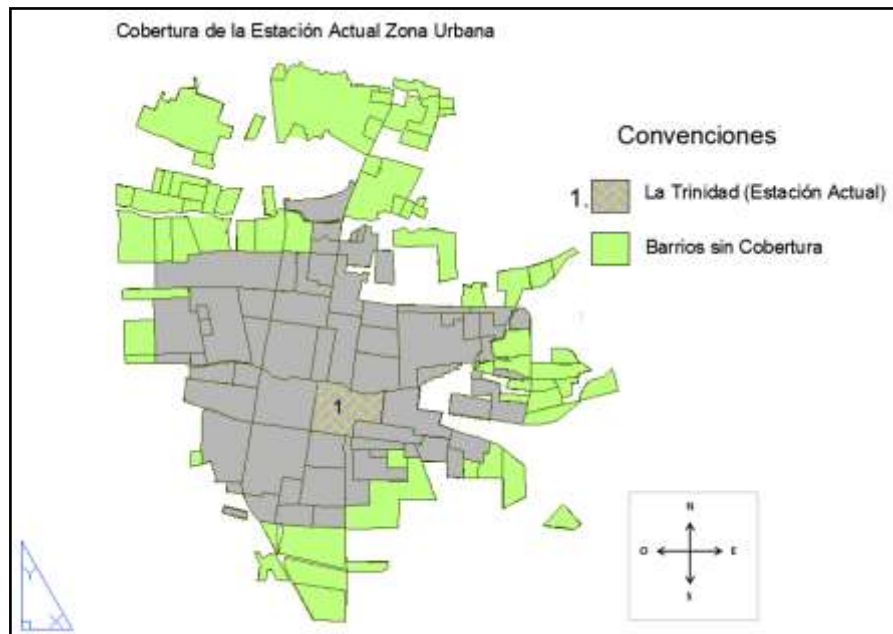


Ilustración 12: Barrios fuera de cobertura estación actual, tiempo de respuesta 5 minutos.
Fuente: Elaboración propia

Del total de emergencias atendidas en el área urbana de la ciudad entre los años 2008, 2009 y 2010, los barrios de la comuna número 1 al norte no se encuentran cubiertos por el servicio del cuerpo de bomberos dentro del tiempo propuesto por la NFPA en la norma 1710 del 2010. Lo anterior se debe a que es una de las comunas más distantes respecto a la estación del cuerpo de bomberos y a que al momento de la atención de una emergencia, las máquinas deben desplazarse por una de las vías de mayor flujo vehicular como es el cruce entre la carrera 28 y la calle 42, reflejándose en el tiempo de respuesta a esta zona de la ciudad. El 61,76% de los barrios de la comuna 2 no se encuentran cubiertos por el servicio del cuerpo de bomberos, dada su cercanía a la comuna 1 y que su acceso se da también por el cruce entre la carrera 28 y la calle 42. Los barrios de las comunas 3, 6, 5 y 7 se encuentran cubiertos en un 40%, 36,4%, 44% y 34,8% respectivamente por el servicio del cuerpo de bomberos. Los barrios de la comunas 4 son los únicos que se encuentran cubiertos en un 100%, dada su cercanía a la comuna 6 donde está ubicada la estación actual del cuerpo de Bomberos.

De lo que se puede concluir que la ciudad no se encuentra cubierta en su totalidad y que todos sus habitantes no reciben un servicio dentro del mismo parámetro de tiempo por parte del cuerpo de bomberos.

7. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS

El objetivo de identificar zonas críticas tanto en el área rural como en el área urbana del municipio de Palmira es conocer de acuerdo al histórico de emergencias atendidas por el cuerpo de Bomberos, los lugares que deben ser considerados como focos de atención, además de que es uno de los criterios a considerar en la localización de las subestaciones de Bomberos. Para ello, se desarrolló una metodología basada en cartografía que tiene como temática la distribución de las emergencias en el municipio de acuerdo a la categorización y priorización de éstas por el cuerpo de bomberos. Se seleccionó el uso de cartografías para la identificación de zonas críticas dado que constituye un método conveniente al estudio del medio ambiente, resultando particularmente aplicable al análisis de las problemáticas que se generan en el mismo con miras al ordenamiento y planificación del territorio. Además se seleccionó en este trabajo porque permite entender de manera conjunta el comportamiento de diferentes variables, es de fácil aplicación y es útil cuando se tiene gran cantidad de información.

La metodología llevada a cabo para la identificación de zonas críticas en el municipio de Palmira, fue:

- Priorización de las categorías de emergencia
- Georeferenciación de las categorías de emergencia priorizadas
- Zonificación
- Superposición Cartográfica
- Identificación de zonas críticas

7.1 PRIORIZACIÓN DE LAS EMERGENCIAS

La selección de información supone “extraer de todo el conjunto de datos disponibles una cantidad adecuada para posibilitar un entendimiento justo y apto, también, para hacer eficaz el conocimiento adquirido en la resolución de problemas²⁵. Dado lo anterior, cada una de las categorías de emergencia fueron priorizadas por el cuerpo de bomberos, seleccionando tres categorías de emergencia que permiten la identificación o caracterización de zonas críticas en el

²⁵Alonso A. y García J.J, “Cartografía ambiental. Desarrollo y propuestas de sistematización. Observatorio Medioambiental, Vol.5 (2002), p.p. 47-48.

municipio, además de ser las más importantes en términos de localización estratégica de las subestaciones de bomberos. La tabla 6 muestra las tres categorías de emergencia seleccionadas.

CATEGORIA	EMERGENCIAS
ACCIDENTES DE TRANSITO	ACCIDENTES DE TRANSITO
EMERGENCIAS NATURALES	INUNDACIONES DESLIZAMIENTOS
INCENDIOS	FORESTALES ESTRUCTURALES AGRICOLAS VEHICULARES EXPLOSIONES CONATOS AISLADOS VEHICULARES INCENDIO ELÉCTRICO QUEMA DE BASURAS

Tabla 6: Categorías de Emergencias Priorizadas

Las restantes 7 categorías (emergencias medicas, agresión física, asistencias técnicas, ataque de animales, rescates-salvamentos, prevención operativa, otros), no fueron seleccionadas como relevantes para la etapa de identificación de zonas críticas, pues, aunque las emergencias medicas representaron en promedio el 50,2% de las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos durante los años 2008, 2009 y 2010, su ocurrencia no es directamente atribuible a las condiciones o características del lugar en que se presentan; además las categorías agresión física, asistencias técnicas, ataque de animales, rescates-salvamentos, prevención operativa y otros solo representaron en promedio el 6,5% de las emergencias atendidas durante los tres años en estudio.

La identificación de zonas críticas en el área urbana y rural del municipio se llevó a cabo mediante la georeferenciación de las categorías de incendios, emergencias naturales y accidentes de tránsito debido a que estas fueron definidas como las de mayor relevancia para la identificación de zonas críticas.

7.2 GEOREFERENCIACIÓN DE LAS EMERGENCIAS

Dado que el cuerpo de bomberos voluntarios de la ciudad de Palmira es el encargado de la atención de incendios y calamidades conexas tanto en la zona rural como en la zona urbana de este municipio, fue necesario georeferenciar las emergencias para cada una de las zonas de manera independiente con el fin de analizar su comportamiento.

Para la georeferenciación de las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos de la ciudad, fue necesaria la generación de cartografía del municipio tanto en la zona rural como en la zona urbana, realizando inicialmente mapas analíticos concernientes a la representación individual de las categorías de emergencia para los tres años en estudio.

7.2.1 Georeferenciación de las emergencias en la zona urbana del municipio

La georeferenciación en la zona urbana de las 3 categorías de emergencias en estudio, fue realizada haciendo uso del software Ezu Enterprise 9.0 facilitado por el Observatorio de Seguridad, Convivencia y Cultura Ciudadana de la Fundación Progresemos de la ciudad.

Para cada una de las 3 categorías de emergencia seleccionadas se llevó a cabo la georeferenciación de los incidentes atendidos durante los años 2008, 2009 y 2010 en el mapa urbano del municipio. Lo anterior con el fin de analizar el comportamiento de las categorías seleccionadas durante los tres años, obteniendo como resultado una cartografía que sintetiza las zonas críticas por cada categoría.

Los mapas con la georeferenciación de las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos durante los años 2008, 2009 y 2010 para las categorías de Incendios, emergencias naturales y accidentalidad vial se muestran en el Anexo C.

7.2.2 Georeferenciación de las emergencias en la zona rural del municipio

En la actualidad el software de localización utilizado por el Observatorio de seguridad, Convivencia y Cultura Ciudadana y la Fundación Progreseemos no cuenta con información geográfica de la zona rural del municipio, por lo que para cada una de las tres categorías de emergencia (incendios, accidentes de tránsito y emergencias naturales) y para los años en estudio (2008, 2009 y 2010), fue necesario georeferenciar manualmente los sitios de ocurrencia sobre un mapa del municipio con sus corregimientos y principales vías de comunicación, obteniendo como resultado 7 mapas analíticos que permiten analizar el comportamiento individual de las 3 categorías de emergencias. Dichos mapas se muestran en el Anexo D.

7.3 ZONIFICACIÓN

Según Pilar Moreno Regidor y Jesús García López de Lacalle en su trabajo “Estado del arte en procesos de zonificación” definen este proceso como la división del territorio de un conjunto de N unidades superficiales, en un número M menor de regiones o zonas que cumplen o que han de verificar criterios temáticos, que son dependientes del contexto ó geográficos que pueden considerar restricciones espaciales.

En este trabajo se utiliza la superposición cartográfica como metodología para la identificación de zonas críticas, debido a su fácil aplicación, comparado con los distintos métodos existentes (heurísticas, meta heurísticas, modelos matemáticos de gran magnitud, etc.) que buscan dar solución al problema de zonificación y a que uno de los objetivos de este trabajo es realizar una zonificación que muestre de manera general y no detallada, los lugares críticos de la ciudad en cuanto a las emergencias atendidas.

7.3.1 Superposición Cartográfica

La superposición cartográfica ha sido una metodología comúnmente utilizada por varios autores en la solución de problemas de zonificación, entre los que se encuentran Julio Uboldi - Ana Casado (2004) en su trabajo “Cartografía geocientífica empleada en la evaluación de riesgos naturales”, donde realiza un análisis de riesgo a través de la superposición de mapas de amenaza y vulnerabilidad para la identificación de un mapa de riesgo de incendio.

Long (1974), en su trabajo “Cartografía de los Ecosistemas y del Medio Natural”, constituye un paradigma del proceso de elaboración cartográfica, en el que plantea la combinación de mapas analíticos, sintético – simples y sintéticos–correlativos para la obtención de mapas que reflejan la interpretación que se ha hecho de un espacio según el análisis de diferentes variables ambientales. En este trabajo se realizó una adaptación de esta metodología modificando el término mapas sintético–correlativo por sintético–doble, dado que el objetivo del trabajo no es analizar la correlación entre las emergencias atendidas, sino la agrupación y coincidencia de estas en el mapa del municipio.

Para la identificación de las zonas críticas por cada categoría de emergencia según los tres años de estudio, se llevó a cabo la combinación o superposición de los mapas analíticos generados en la etapa de georeferenciación; lo anterior con el fin de obtener mapas sintéticos simples que muestran el comportamiento de cada categoría durante los tres años.

7.3.1.1 Superposición cartográfica en el área urbana del municipio

Se georeferenciaron las emergencias atendidas por el cuerpo de bomberos durante los años 2008, 2009 y 2010 con el objetivo de generar mapas sintéticos simples que reflejen la distribución de las categorías de emergencia en el tiempo y de posibilitar la identificación de zonas críticas por categoría, los resultados se muestran en el Anexo E.

7.3.1.2 Superposición cartográfica en el área rural del municipio

Una vez georeferenciadas cada una de las categorías de emergencia para los tres años de estudio se llevó a cabo la superposición de los mapas analíticos obteniendo como resultado tres mapas sintéticos simples que representan las zonas críticas por categoría de emergencia. Los mapas analíticos simples obtenidos para el área rural del municipio de Palmira se pueden observar en el Anexo F.

7.3.2 Identificación de zonas críticas

Con el objetivo de conocer el comportamiento de las tres categorías de emergencia e identificar los sitios de mayor frecuencia en cuanto a las emergencias atendidas durante los tres años de estudio, se combinaron los mapas síntesis simple de las tres categorías, para obtener un mapa de síntesis–doble que permite analizar de manera espacial e integral cada una de las categorías de emergencia.

Las zonas definidas como críticas en el mapa de síntesis-doble fueron clasificadas de acuerdo al número de categorías de emergencias que coincidieron en un lugar y a la frecuencia de atención. Según lo anterior estas zonas fueron clasificadas de la siguiente manera:

- **Zonas críticas primarias:** Corresponden a los lugares en que se presentaron al menos dos categorías de emergencias (incendios, emergencias naturales y accidentes de tránsito).
- **Zonas críticas secundarias:** Son aquellos lugares que a diferencia de las zonas críticas primarias, muestran de manera frecuente la ocurrencia de una sola categoría de emergencia.

La anterior clasificación se realizó con el objetivo de tener un parámetro de decisión que permita definir el orden de apertura de las subestaciones de bomberos, proporcionando mayor importancia a las subestaciones que se encuentran cercanas a los lugares en que se han presentado al menos dos categorías de emergencia, pues en estos lugares se han atendido mas emergencias que en aquellos donde solo se ha atendido una sola categoría de emergencia.

7.3.2.1 Identificación de zonas críticas en el área urbana del municipio

Para conocer las zonas críticas en el área urbana del municipio de Palmira se combinaron inicialmente las zonas críticas identificadas para cada una de las categorías de emergencia en estudio a través del método de superposición cartográfica que permitió obtener el mapa sintético doble mostrado en la ilustración 13.

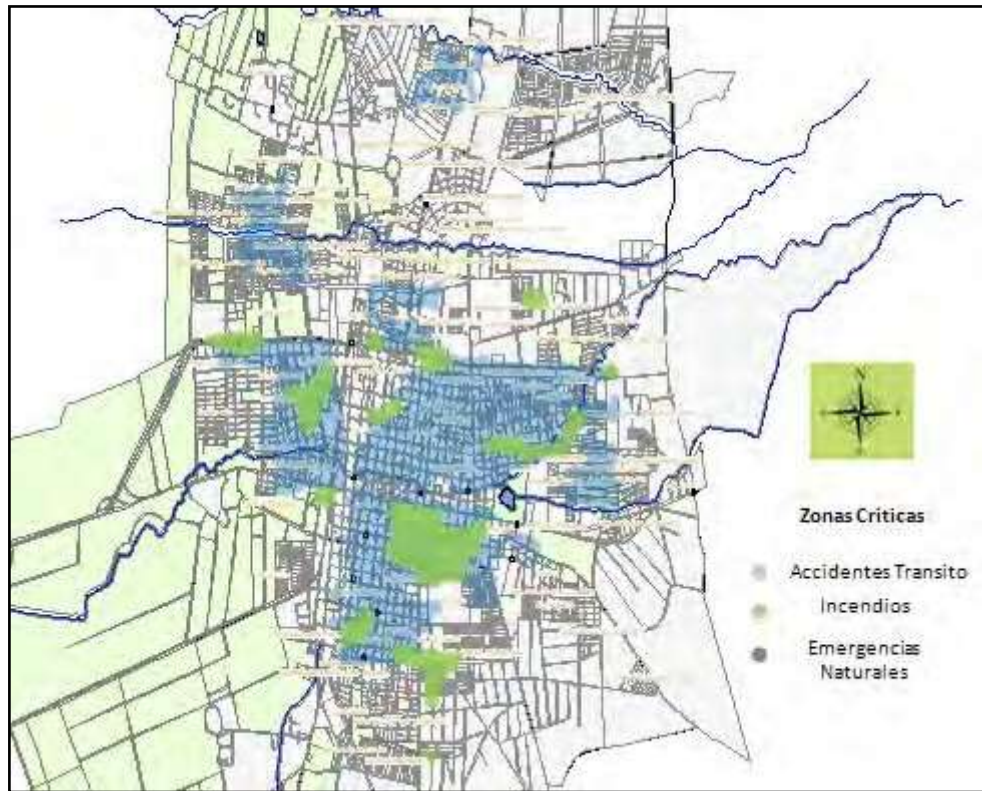


Ilustración 13: Mapa sintético doble categorías Emergencias Naturales, Accidente de Tránsito e Incendios.Fuente: Elaboración propia

A partir de la superposición de las categorías de accidentes de tránsito, emergencias naturales e incendios se realizó la clasificación de las zonas críticas en primarias ó secundarias. Los resultados se muestran en la ilustración 14, donde las zonas de color amarillo representan las zonas críticas primarias, las de color azul y verde representan las zonas críticas secundarias para las categorías de accidentes de tránsito e incendios respectivamente. Debido a que el número de emergencias naturales atendidas en la zona urbana fueron pocos en comparación con las otras dos categorías y a que en la georeferenciación no mostraron una agrupación que permitiera la identificación de zonas críticas, se optó por plasmar con puntos los lugares en que estas ocurrieron considerándolos como lugares críticos para esta categoría.

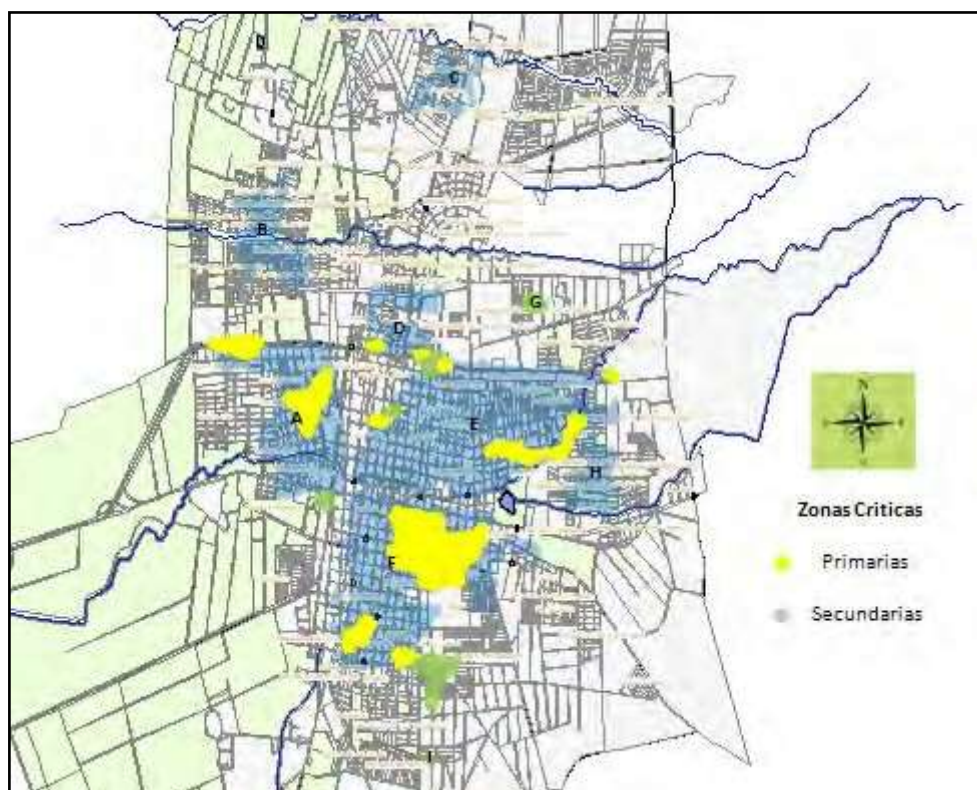


Ilustración 14: Zonas críticas área urbana municipio de Palmira. Fuente: Elaboración propia

Según lo anterior, las zonas críticas identificadas en el área urbana del municipio de Palmira por medio del método de superposición cartográfica son las que se muestran en la tabla 7:

ZONAS CRITICAS PALMIRA URBANO					
ZONA	BARRIO	CLASIFICACION	ZONA	BARRIO	CLASIFICACION
A	FRAY LUIS AMIGÓ	PRIMARIA	E	OBRERO	SECUNDARIA
A	LA EMILIA	PRIMARIA	E	URIBE - URIBE	SECUNDARIA
A	RIVERA ESCOBAR	SECUNDARIA	E	SAN PEDRO	SECUNDARIA
B	BETANIA DE COMFANDI	SECUNDARIA	E	BIZERTA	SECUNDARIA
B	U. EL CAIMITO	SECUNDARIA	E	SAN CAYETANO	SECUNDARIA
B	U. SANTA TERESITA	SECUNDARIA	F	CENTRAL	PRIMARIA
C	U. LOS MANGOS	SECUNDARIA	F	LA TRINIDAD	PRIMARIA
C	ZAMORANO	SECUNDARIA	F	LIBERTADORES	PRIMARIA
D	VERSALLES	PRIMARIA	F	TREBOL	PRIMARIA
D	ESTONIA	PRIMARIA	F	LAS DELICIAS	PRIMARIA
D	BERLIN	SECUNDARIA	F	BARRIO NUEVO	PRIMARIA
D	SANTAISABEL	SECUNDARIA	F	RECREO	PRIMARIA
E	COLOMBIA	PRIMARIA	F	COLOMBINA	SECUNDARIA
E	SANTA RITA	SECUNDARIA	F	U. EL SEMBRADOR	SECUNDARIA

Tabla 7: Zonas criticas identificadas en el área urbana del municipio de Palmira
Fuente: Elaboración propia

Las zonas críticas identificadas representaron el 72% de todas las emergencias que atendió el cuerpo de Bomberos durante los años 2008, 2009 y 2010 en el área urbana del municipio de Palmira.

7.3.2.2 Identificación de zonas críticas en el área rural del municipio

La ilustración 15 muestra las zonas críticas identificadas en la zona rural del municipio de Palmira para cada una de las categorías de emergencia y a partir del cual se establecieron tanto las zonas críticas primarias como las secundarias.

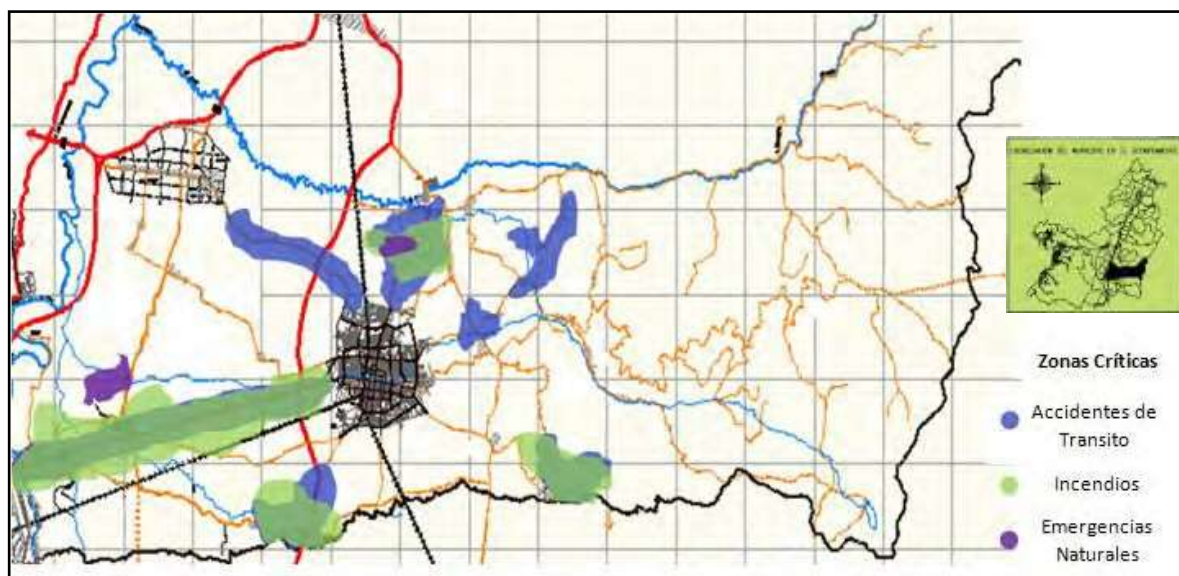


Ilustración 15: Mapa sintético-doble área rural del municipio de Palmira. Fuente: Elaboración propia

A partir del mapa sintético-doble mostrado anteriormente, se identificaron zonas críticas primarias y secundarias en la zona rural del municipio de Palmira; La ilustración 16 muestra de color amarillo las zonas críticas primarias, las de color azul, verde y morado representan las zonas críticas secundarias de las categorías de accidentes de tránsito, incendios y emergencias naturales respectivamente.

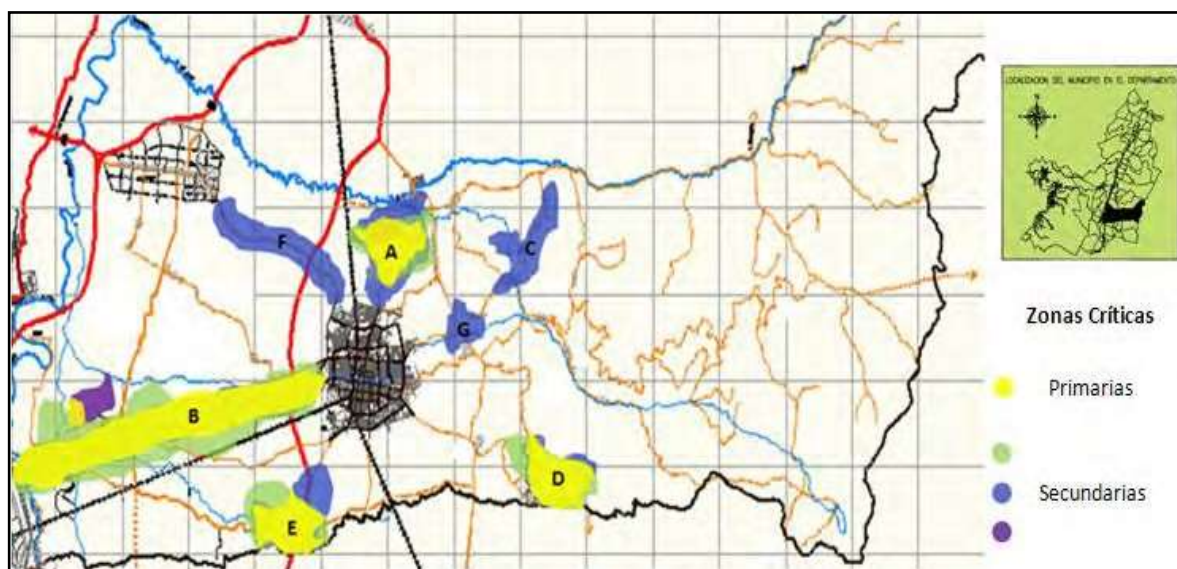


Ilustración 16: Zonas críticas Palmira área rural.Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la superposición cartográfica, fueron identificadas las siguientes zonas críticas en el área rural del municipio. Los resultados se muestran en la tabla 8.

ZONA	COMPONENTES (VÍAS/CORREGIMIENTOS)	CLASIFICACIÓN
A	AMAIME	PRIMARIA
	VIA PALMIRA AMAIME	PRIMARIA
	BOYACÁ	SECUNDARIA
B	VIA PALMIRA - CALI	PRIMARIA
	PALMASECA	PRIMARIA
	LA DOLORES	PRIMARIA
C	TIENDA NUEVA	PRIMARIA
	VIA PALMIRA-TIENDA NUEVA	PRIMARIA
	VIA TIENDA NUEVA-TABLONES	PRIMARIA
D	AGUA CLARA	PRIMARIA
	LA BUITRERA	PRIMARIA
	VIA PALMIRA-PRADERA	PRIMARIA
E	BOLO SAN ISIDRO	PRIMARIA
	VIA PALMIRA-BOLO SAN ISIDRO	PRIMARIA
F	ROZO	PRIMARIA
	VIA PALMIRA-ROZO	SECUNDARIA
G	VIA PALMIRA-GUAYABAL	PRIMARIA

Tabla 8: Zonas critica identificadas en el área rural del municipio de Palmira
Fuente: Elaboración propia

Según lo anterior, las zonas criticas identificadas representan el 80,2% de todas las emergencia atendidas en el área rural del municipio de Palmira.

8. MODELO PARA LA LOCALIZACIÓN DE SUBESTACIONES DE BOMBEROS EN LA CIUDAD DE PALMIRA

Con este trabajo, se busca determinar cuántas subestaciones de bomberos son necesarias y en qué lugares de la ciudad de Palmira deben estar ubicadas para la que la población se encuentre totalmente cubierta por el servicio del cuerpo de bomberos. Por lo que se plantea, la integración de dos métodos: el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), utilizado para jerarquizar las alternativas de localización de acuerdo al cumplimiento de criterios de tipo cualitativo y la programación matemática con la que se obtiene una respuesta a partir de la integración de los criterios tanto cualitativos como cuantitativos, pues son consideradas las calificaciones obtenidas por cada una de las alternativas con el proceso analítico jerárquico (AHP) y los tiempos de respuesta desde las alternativas de localización hasta los barrios de demanda.

El modelo de localización planteado representa una herramienta de apoyo para los cuerpos de bomberos que deban tomar la decisión acerca de donde localizar sus instalaciones, además presenta una metodología lógica y muy aproximada a la realidad pues considera factores del entorno relevantes para la toma de este tipo de decisión.

8.1 METODOLOGIA DEL MODELO

El modelo para la localización de subestaciones de bomberos cuenta con las siguientes etapas:

- **Jerarquización de las alternativas para la localización de subestaciones de bomberos**

Para jerarquizar los lugares potenciales de localización de subestaciones de bomberos, fue necesario encontrar un método que permitiera evaluar de manera conjunta diferentes criterios relevantes para la localización de este tipo de instalaciones. Realizando una revisión literaria de diferentes métodos, se encontró que los métodos de análisis multi-criterio, en especial de análisis multi-atributo responden adecuadamente a la solución de este tipo de problemas.

Dentro de los métodos de análisis multi-atributo el proceso analítico jerárquico (AHP) es uno de los métodos más utilizados para la solución de problemas en los que deben considerarse múltiples criterios, dado que permite analizar variables cuantitativas y cualitativas que en muchas ocasiones son complejas por la dificultad para encontrar una forma adecuada de medirlas. Por lo anterior, por su facilidad y porque permite la inclusión de la experiencia y el conocimiento a través de juicios de expertos, se seleccionó el AHP como un método confiable para la jerarquización de las alternativas de localización respecto al cumplimiento de criterios de tipo cualitativo.

El proceso de jerarquización de las alternativas de localización consta de las siguientes etapas:

- ✓ La estructuración del Proceso Analítico Jerárquico (AHP): Consiste en la Identificación del problema a resolver, definición del objetivo, identificación de alternativas de localización, Identificación de criterios de evaluación y la definición de los participantes expertos.
 - ✓ La selección de la medida: Corresponde a la elección de la medida relativa o la absoluta, teniendo en cuenta el número de alternativas a evaluar.
 - ✓ La evaluación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP): Consiste en la priorización de los criterios definidos por los expertos, la evaluación de las alternativas respecto a la medida seleccionada y por último, la jerarquización de las alternativas de acuerdo a la calificación obtenida.
-
- **Determinación del número y la ubicación de las subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira**

La localización de subestaciones de bomberos se modeló como un problema de cobertura de conjuntos, por tratarse de la ubicación de instalaciones de servicio de carácter público en el que todos los lugares de la ciudad deben atenderse con la misma importancia. Para resolver el problema de cobertura de conjuntos, se evaluaron las alternativas de localización jerarquizadas en el proceso analítico jerárquico (AHP) a través de un modelo de programación lineal que permite:

- Cubrir todos los puntos de demanda de la ciudad que la estación actual de bomberos no cubre dentro del tiempo de respuesta establecido.

- Minimizar la suma de las desviaciones en las calificaciones obtenidas por las alternativas de localización en el AHP respecto a la calificación ideal (100%).

Para la determinación del número y la ubicación de las subestaciones de bomberos se llevaron a cabo las siguientes etapas:

- Estructuración de modelo de programación lineal: En esta etapa se determinan los conjuntos, la función objetivo, las variables de decisión, las restricciones y se identifican los parámetros que permitirán formular el modelo de programación lineal.
- Formulación del modelo de Programación Lineal
- Solución del modelo de Programación Lineal

El modelo de localización propuesto en este trabajo se muestra en la ilustración 17.

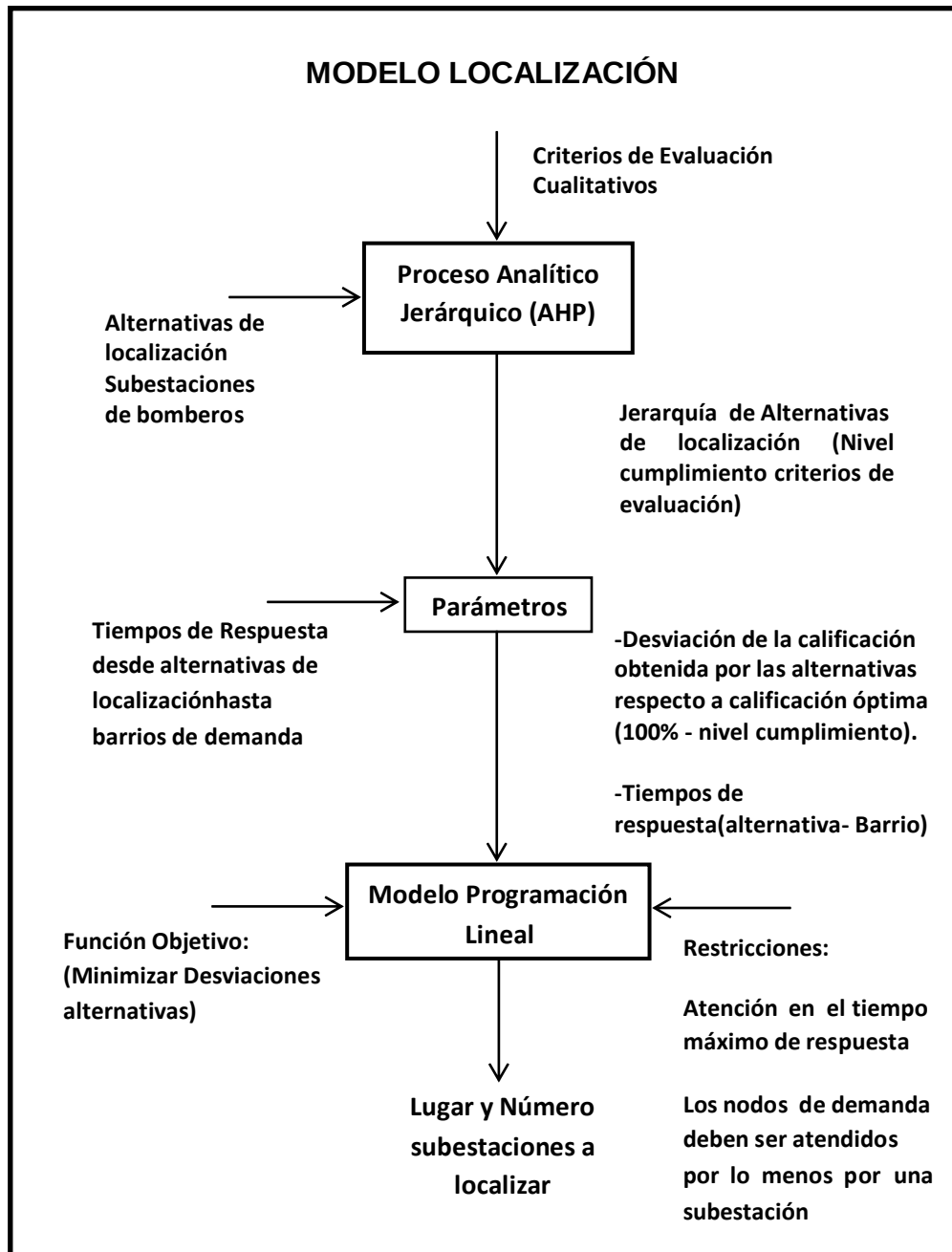


Ilustración 17: Modelo de localización de Subestaciones de Bomberos propuesto. Fuente: Elaboración propia

8.2 DESARROLLO DEL MODELO DE LOCALIZACIÓN

8.2.1 Jerarquización de alternativas para la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira por medio del Proceso Analítico Jerárquico(AHP).

8.2.1.1 Estructuración del proceso analítico jerárquico (AHP)

La estructuración del proceso analítico jerárquico que permitirá jerarquizar las alternativas para la localización de subestaciones en la ciudad de Palmira es:

- **Identificación del problema.** Determinar el nivel de cumplimiento de los criterios en cada una de las alternativas de localización.
- **Definición del objetivo.** Jerarquizar las alternativas de localización de acuerdo al nivel de cumplimiento de los criterios de tipo cualitativo evaluados.
- **Identificación de alternativas de localización.** La identificación de las alternativas de localización fue realizada considerando dos restricciones sin las que no es posible realizar la localización de subestaciones de bomberos en un lugar de la ciudad. Lo anterior se realizó con el objetivo de asegurar la viabilidad y obtener una respuesta aterrizada del modelo respecto a los lugares en que el cuerpo de bomberos puede localizar subestaciones en la ciudad de Palmira. Las restricciones consideradas fueron:
 - ✓ **Localización según lineamientos del Plan de Ordenamiento Territorial.**

Para cualquier proyecto de localización es de gran importancia conocer las disposiciones de la ley respecto a las actividades que se van a llevar a cabo en las instalaciones que se desean localizar; en este proyecto fueron considerados los lineamientos del Acuerdo 109, del 2001 con que adopta el “Plan de Ordenamiento Territorial” con el propósito de asegurar que la localización de las subestaciones cumplen los requisitos establecidos por el municipio en cuanto a los usos del suelo.

En la actualidad, la ciudad de Palmira no tiene establecidos los lugares adecuados para la localización de subestaciones de bomberos, razón por la que las alternativas de localización fueron identificadas de acuerdo a la asignación de los usos del suelo por grupos en áreas de actividad, mostrados en el Plan de Ordenamiento Territorial del 2001, seleccionando como alternativas de localización aquellos lugares en los que por las actividades que se desarrollan, tienen compatibilidad con las subestaciones de bomberos.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Palmira, año 2001, las estaciones de bomberos son consideradas como equipamientos colectivos para la seguridad, pues se encargan de la “Prestación de servicios para la prevención de riesgos asociados a amenazas naturales, tecnológicas o criminalidad”.

De acuerdo al anexo No.1 del POT, las instalaciones bomberiles pertenecen al grupo 3 de los equipamientos, que son de uso principal en las áreas de tipo dotacional, destinadas a la prestación de servicios institucionales y equipamientos de orden administrativo, seguridad y otros, planteados para cubrir demandas de ámbito municipal o regional. Ver en la tabla 9, la compatibilidad de los equipamientos grupo 3 con las áreas de uso dotacional.

ACTIVIDADES/ ÁREAS		MULTIPLE			RESIDENCIAL			RESIDENCIAL MIXTO			INDUSTRIAL			DOTACIONAL			PARQUE, CULTURA Y RECREACION		
Clasificación	Grupo	PP	CP	CD	PP	CP	CD	PP	CP	CD	PP	CP	CD	PP	CP	CD	PP	CP	CD
COMERCIO (bienes y servicios)	1	X				X			X			X							
	2	X				X			X			X							
	3			X								X							
INDUSTRIA	1		X								X								
	2										X								
	3												X						
EQUIPAMIENTOS	1		X			X			X					X					
	2		X				X							X			X		
	3													X			X		
RESIDENCIAL	1				X														
	2	X			X														
	3	X			X														

PP: Uso principal
CP: Uso compatible
CD: Uso condicional

Tabla 9: Asignación de los usos del suelo por grupos en áreas de actividad. Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial de Palmira, 2001.

Los usos del suelo según el Plan de Ordenamiento Territorial, 2001 pueden ser de:

Uso Principal: señalado como predominante y determina el carácter de la zona.

Uso Compatible: No perturba ni obstaculiza la actividad principal.

Uso Condicionado: Su funcionamiento está supeditado al cumplimiento de requisitos especiales.

Considerando la compatibilidad y cercanía a las áreas de uso dotacional plasmadas en el plano A37 del POT (Ver Anexo G1), se identificaron 34 barrios como alternativas de localización de subestaciones de bomberos (Ver anexo G2)

La ilustración 18, demarca con color amarillo la distribución de los barrios considerados como alternativas de localización en el municipio de Palmira según lineamientos del POT.

Lugares Potenciales para la Localización de Subestaciones de Bomberos Palmira

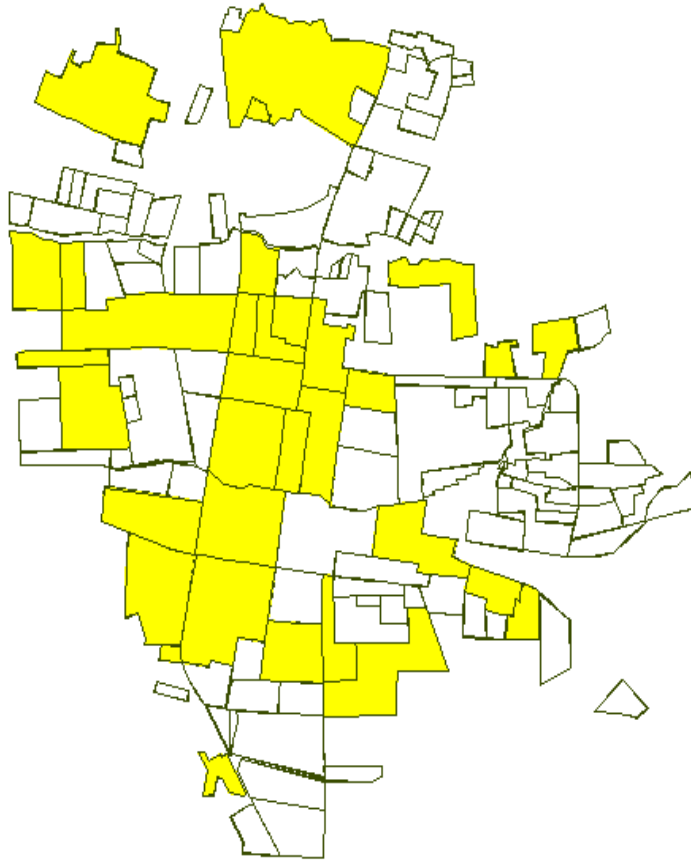


Ilustración 18: Lugares potenciales de localización de subestaciones de bomberos de acuerdo cercanía a zonas de uso dotacional. Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Fuera de zona de riesgos naturales.** Los 34 barrios identificados como alternativas para la localización de subestaciones, fueron evaluados con el criterio fuera de zonas de riesgos naturales (Inundaciones, Derrumbes, Sismos) con el fin de identificar los barrios de menor vulnerabilidad donde sea posible localizar una subestación de bomberos y así dar cumplimiento a uno de los requisitos establecidos por el Ministerio de Justicia artículo 120 de la resolución 3580 para la localización de este tipo de instalaciones. Debido a que el terreno de la zona urbana del municipio de Palmira es plano, no se evaluaron los barrios identificados como alternativas de

localización respecto al riesgo de derrumbes o deslizamientos; en su lugar se evaluó la estabilidad del terreno con respecto al criterio de licuación del suelo.

Las alternativas de localización respecto al criterio fuera de zona de riesgos naturales fueron evaluadas por expertos del Comité Local de Prevención y Atención de Desastres (CLOPAD) de la ciudad, por medio de tres escalas (Alto, Medio, Bajo) según el nivel de riesgo. Ver la evaluación realizada en el en Anexo H.

Los barrios que obtuvieron una calificación de “Alto” en cualquiera de los tres criterios evaluados, no se tuvieron en cuenta para el desarrollo del método analítico jerárquico (AHP), por no cumplir con las condiciones mínimas de localización.

La tabla 10 muestra los barrios que cumplen las restricciones de localización evaluadas y que serán considerados como alternativas para la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira.

ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION	
COMUNA	BARRIO
1	1. Zamorano
	2. Emanuel de la Merced
2	3. Estonia
	4. Berlín
	5. Santa Isabel
3	6. Rivera escobar
	7. Olímpico
4	8. San Cayetano
	9. Santa Rita
	10. Alfonso López
	11. Colombia
	12. Obrero
6	13. Colombina
7	14. Barrio nuevo

Tabla 10: Alternativas para la localización de Subestaciones de Bomberos
Fuente: Elaboración propia

Es fundamental para la identificación de las alternativas, que estas cumplan con el área requerida para la construcción de una subestación, que según cálculos del cuerpo de bomberos de la ciudad debe estar entre 400 y 500 m². Debido a que la información referente a los lotes disponibles de la ciudad con el tamaño mínimo requerido por una subestación no fue suministrada a tiempo por la entidad encargada del manejo de dicha información en la ciudad, la restricción del tamaño del lote no fue considerada en el desarrollo de este trabajo. Ver documento de soporte en el Anexo I.

- **Identificación de criterios.** Los criterios de evaluación necesarios para estructurar el proceso analítico jerárquico (AHP), se consideraron teniendo en cuenta los requisitos de la resolución 3580 del Ministerio del Interior y de justicia, en el que se expide el Reglamento General Administrativo, Operativo y Técnico del Sistema Nacional de Bomberos; debido a que es fundamental que este proyecto cumpla con la legislación aplicable, además de criterios adicionales que en compañía de expertos del cuerpo de bomberos de la ciudad se han establecido como relevantes para la localización de las subestaciones.

Los criterios o factores con los que se mide la factibilidad de una alternativa para la localización de subestaciones de bomberos son:

✓ **Condiciones adecuadas de la red de acueducto y de alcantarillado.**

Uno de los recursos más importantes para cualquier cuerpo de bomberos es el agua, por lo que es de vital importancia que la zona de localización de subestaciones de bomberos cuente con una red de suministro de agua que cumpla todas las características requeridas en cuanto a los diámetros de la tubería, disponibilidad de hidrantes, presión y racionamiento del servicio, además de que el sitio debe tener una red de drenaje de aguas residuales en perfecto estado con el fin de que esta no genere ningún tipo de problemas como inundaciones.

✓ **Cercanía a zonas críticas.**

Las zonas críticas han sido definidas como aquellas en las que el cuerpo de bomberos ha atendido emergencias de manera frecuente, por lo que son consideradas focos de atención que hacen necesaria la cercanía de las subestaciones para facilitar la atención de las emergencias que se presenten en dichos lugares.

✓ **Seguridad pública.**

Los sitios donde se encuentren localizadas las subestaciones de bomberos deben contar con condiciones de seguridad que eviten cualquier alteración de orden social y garanticen la integridad física del personal y de los bienes materiales pertenecientes al cuerpo de bomberos.

✓ **Cercanía a proyectos de desarrollo urbanístico, comercial o industrial.**

Se requiere que en la ubicación de las subestaciones de bomberos sean considerados los proyectos de desarrollo bien sea urbanístico, comercial e industrial de la ciudad con el fin de que estos lugares se encuentren cubiertos a medida que se da la expansión de la ciudad.

✓ **Cercanía a sitios con alta potencialidad de incidentes.**

Son lugares en los que debido a las actividades que se realizan y al movimiento masivo de personas, representan focos de atención por las consecuencias negativas que puede traer una emergencia en cuanto a pérdidas humanas y materiales; entre estos se encuentran las zonas industriales, zonas comerciales, estadios, penitenciarias y establecimientos públicos.

Además de los criterios anteriores se reconoce la importancia de otras condiciones que deben cumplir las alternativas de localización, como la movilidad y la accesibilidad pues estas influyen en el desarrollo de las operaciones de los cuerpos de bomberos. Estas condiciones no fueron consideradas en este modelo debido a que son atributos netamente dependientes o muy específicos del terreno en que se realice la ubicación y no de un barrio como es el caso de las alternativas de localización estudiadas.

• **Definición de los Participantes.**

Los actores o participantes en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la jerarquización de las alternativas de localización para subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira, que colaboraron con la emisión de juicios, definición de criterios, selección de medidas y suministro de información fueron:

- ✓ **Cuerpo de Bomberos de la ciudad de Palmira:** Es el principal interesado en mejorar la prestación del servicio, además de que conoce los criterios, parámetros y demás variables para definir la localización estratégica de las subestaciones de bomberos.
- ✓ **Secretaria de Planeación:** Es el ente encargado de la formulación y definición de planes de desarrollo, control urbanístico y territorial en el municipio.

- ✓ **Policía Nacional:** Ente que conoce la problemática actual de la ciudad en cuanto a seguridad pública, lo que le permite evaluar las alternativas con respecto a este criterio.
- ✓ **Acuaviva S.A:** Es la entidad encargada del suministro del servicio de acueducto y alcantarillado en la ciudad de Palmira. Por lo que se encuentra capacitado para evaluar los barrios identificados como alternativas para localización, en cuanto a las condiciones de la red de acueducto y de alcantarillado.

8.2.1.2 Selección de la medida

Dado que el número de alternativas de localización es superior a 7, se utilizó para el desarrollo del proceso analítico jerárquico (AHP) la medida absoluta, que consiste en comparar las alternativas contra un estándar definido mediante escalas con las que los expertos valoran las alternativas de localización.

En la tabla 11, se muestra la matriz con los estándares definidos por los expertos para la evaluación de las alternativas de localización.

ESCALA ABSOLUTA PARA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS				
CRITERIOS	VALORACION DEL CRITERIO			
	EXCELENTE = 4	BUENO = 3	REGULAR = 2	MALO = 1
1. CONDICIONES DE LA RED HIDRAULICA	Las condiciones de la red hidráulica son las mejores para la ubicación de subestaciones de bomberos	Las condiciones de la red hidráulica son adecuadas para la ubicación de subestaciones de bomberos	La red hidráulica cuenta con las condiciones mínimas para la localización de subestaciones de bomberos	Las condiciones de la red hidráulica no son adecuadas para la localización de subestaciones de bomberos
2. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	Las condiciones de la red de alcantarillado son las mejores para la ubicación de subestaciones de bomberos	Las condiciones de la red alcantarillado son adecuadas para la ubicación de subestaciones de bomberos	La red de alcantarillado cuenta con las condiciones mínimas para la localización de subestaciones de bomberos	Las condiciones de la red de alcantarillado no son adecuadas para la localización de subestaciones de bomberos
3.CERCANIA A ZONAS CRITICAS	Dentro de un radio de cobertura de 777 m	Dentro de un radio de cobertura de 1556 m	Dentro de un radio de cobertura de 2333 m ²⁶	Con radio de cobertura >2333 m
4. SEGURIDAD PÚBLICA	Altamente seguro	Seguro	Inseguro	Muy inseguro
5. CERCANIA A PROYECTOS DE DESARROLLO URBANISTICO, COMERCIAL O INDUSTRIAL	Dentro de un radio de cobertura de 777 m	Dentro de un radio de cobertura de 1556 m	Dentro de un radio de cobertura de 2333 m	Con radio de cobertura >2333 m
6. CERCANÍA A ZONAS CON ALTA PROBABILIDAD DE INCIDENTES	Dentro de un radio de cobertura de 777 m	Dentro de un radio de cobertura de 1556 m	Dentro de un radio de cobertura de 2333 m	Con radio de cobertura >2333 m

Tabla 11: Matriz estándar para la evaluación de alternativas de localización
Fuente: Elaboración propia

²⁶Escala definida con expertos del cuerpo de bomberos de acuerdo a la distancia recorrida en 5 minutos (tiempo máximo de respuesta definido por la NFPA 1710, 2010 para la atención de emergencias) a una velocidad de 35 Km/h.

8.2.1.3 Evaluación del método jerárquico (AHP)

El proceso de evaluación de alternativas consta de las siguientes etapas:

- **Priorización de criterios.** La emisión de juicios para la priorización de criterios fue realizada por expertos del cuerpo de Bomberos de la ciudad de Palmira por medio de la comparación binaria (por pares) de los criterios; en cada comparación los expertos priorizaron la importancia de un criterio respecto al otro, haciendo uso de la escala de Saaty. En la tabla 12 se presenta la matriz de comparación de criterios:

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS						
CRITERIOS	1	2	3	4	5	6
1. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED HIDRAULICA	1	3	1/3	1/7	1/3	1/3
2. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	1/3	1	1/7	1/9	1/5	1/7
3. CERCANIA A ZONAS CRITICAS	3	7	1	1	5	1
4. SEGURIDAD PÚBLICA	7	9	1	1	5	3
5. CERCANIA A PROYECTOS DE DESARROLLO URBANISTICO, COMERCIAL O INDUSTRIAL	3	5	1/5	1/5	1	1/5
6. CERCANÍA A ZONAS CON ALTA PROBABILIDAD DE INCIDENTES	3	7	1	1/3	5	1

Tabla 12: Matriz de comparación de criterios

Una vez realizada la matriz de comparación, se normalizó, dividiendo cada juicio sobre la suma de su columna; ver resultados en la tabla 13.

MATRIZ NORMALIZADA						
CRITERIOS	1	2	3	4	5	6
1. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED HIDRAULICA	0,06	0,09	0,09	0,05	0,02	0,06
2. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	0,02	0,03	0,04	0,04	0,01	0,03
3. CERCANIA A ZONAS CRITICAS	0,17	0,22	0,27	0,36	0,3	0,18
4. SEGURIDAD PÚBLICA	0,4	0,28	0,27	0,36	0,3	0,53
5. CERCANIA A PROYECTOS DE DESARROLLO URBANISTICO, COMERCIAL O INDUSTRIAL	0,17	0,16	0,05	0,07	0,06	0,04
6. CERCANÍA A ZONAS CON ALTA PROBABILIDAD DE INCIDENTES	0,17	0,22	0,27	0,12	0,3	0,18

Tabla 13: Matriz de comparación de criterios normalizada

A partir de la matriz normalizada y promediando los valores de las filas, se obtiene la prioridad para cada uno de los criterios; en la tabla 14 se muestra el vector de prioridad para los criterios de evaluación.

CRITERIOS	Vector De Prioridad
1. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED HIDRAULICA	6,20%
2. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	2,77%
3. CERCANIA A ZONAS CRITICAS	25,02%
4. SEGURIDAD PÚBLICA	35,78%
5. CERCANIA A PROYECTOS DE DESARROLLO URBANISTICO, COMERCIAL O INDUSTRIAL	9,19%
6. CERCANÍA A ZONAS CON ALTA PROBABILIDAD DE INCIDENTES	21,03%

Tabla 14: Priorización de criterios de localización

Debido a la necesidad de validar que los juicios de los expertos no tienen errores, se calculó un índice de consistencia considerando todos los criterios, utilizando el siguiente algoritmo²⁷:

- Para cada línea de la matriz de comparación por pares determinar una suma ponderada con base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa o criterio correspondiente.
- Para cada línea, dividir su suma ponderada por la prioridad de su alternativa o criterio correspondiente.
- Determinar la media $\lambda_{\max}$ del resultado de la etapa anterior.
- Calcular el índice de consistencia (IC) para cada alternativa o criterio.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - m)}{(m - 1)}$$

Donde,

λ = Valor propio de la matriz de comparación, asociado al vector de prioridad

m = Número de alternativas

- Determinar el Índice Aleatorio (IA) en la tabla 15 correspondiente al número de elementos evaluados
- Determinar la razón de consistencia (RC)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

²⁷Anderson, David R., D. J. Sweeney y T. A. Williams, An Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making, WestPublishing Company, Minneapolis, 1994, pp. 390-392.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CI_{random}	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Tabla 15: Índice aleatorio para el cálculo del coeficiente de consistencia
Fuente: Thomas L. Saaty (1980)

Los resultados del vector de sumas ponderadas y del valor propio de la matriz de comparación (λ) se muestran en la tabla 16:

CRITERIOS	Vector de Sumas Ponderadas	λ
1. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED HIDRAULICA	0,3803	6,1346
2. CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	0,1723	6,2198
3. CERCANIA A ZONAS CRITICAS	1,6577	6,6255
4. SEGURIDAD PÚBLICA	2,3817	6,6565
5. CERCANIA A PROYECTOS DE DESARROLLO URBANISTICO, COMERCIAL O INDUSTRIAL	0,5801	6,3119
6. CERCANÍA A ZONAS CON ALTA PROBABILIDAD DE INCIDENTES	1,4192	6,7483

Tabla 16: Vector de sumas ponderadas y valor de λ para cada criterio

Como se observa en la tabla 17, La razón de consistencia de los criterios evaluados es de 0.07, por lo que se concluye que los juicios realizados por los expertos no presentaron ninguna contradicción pues dicho valor es menor a 0.10, parámetro definido como aceptable por Thomas Saaty.

λ Máximo	6,4494
Índice de consistencia (IC)	0,0899
Numero de criterios (n)	6,0000
Índice aleatorio (IA)	1,2500
Razón de Consistencia (RC)	0,0719

Tabla 17: Determinación de la razón de consistencia para la matriz de comparación de los criterios

De acuerdo a los juicios emitidos por los expertos del cuerpo de bomberos, se concluye que el criterio de mayor importancia para la localización de las subestaciones es el de seguridad pública con un 35,78% de preferencia, seguido por el de cercanía a zonas críticas con una importancia del 25,02% y cercanía a zonas con alta probabilidad de incidentes 21,03%, los criterios de menor importancia según los expertos del cuerpo de bomberos son cercanía a proyectos de desarrollo urbanístico, comercial o industrial, condiciones de la red de acueducto y las condiciones de la red de alcantarillado.

La ilustración 19 muestra la jerarquía determinada para cada uno de los criterios de evaluación.

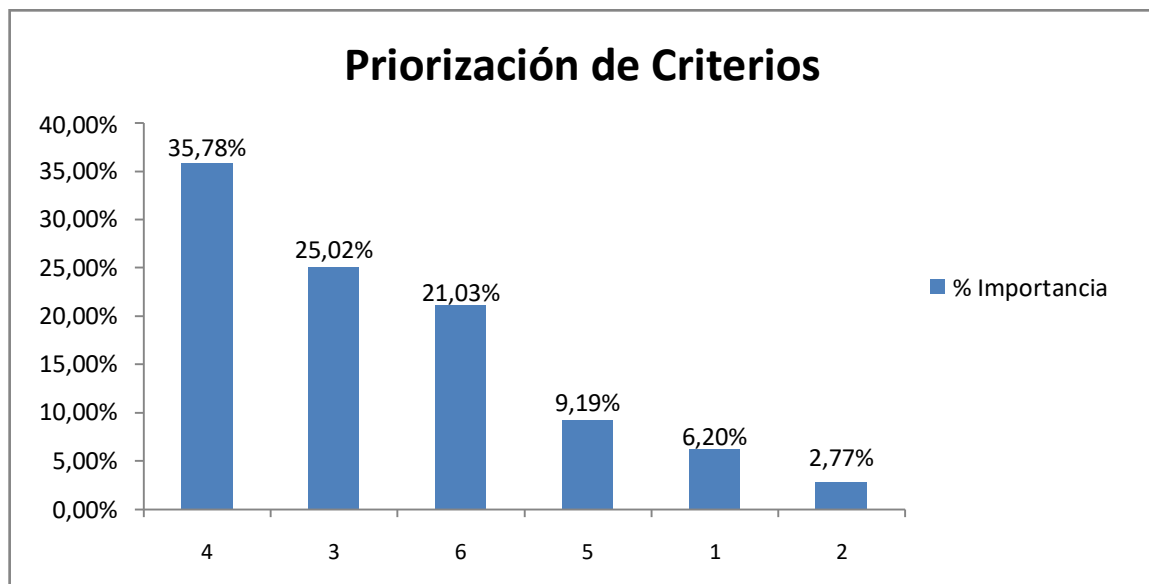


Ilustración 19: Jerarquización criterios de evaluación. Fuente: Elaboración propia

Una vez priorizados los criterios, se realizó la evaluación de las alternativas de localización.

- **Evaluación de alternativas**

Una vez priorizados los criterios, los participantes del proceso AHP evaluaron cada una de las alternativas de localización con respecto a la matriz estándar definida. Cada experto calificó de manera independiente los criterios afines a su área de actividad, en el caso del criterio cercanía a proyectos de desarrollo urbanístico, comercial o industrial, fue calificado por el cuerpo de bomberos con información proporcionada por Planeación municipal, ya que es a quien corresponde el establecimiento del parámetro que define la distancia a la que deben encontrarse las alternativas de localización, de dichos proyectos. En el caso de los criterios “Condiciones adecuadas de la red de Acueducto y de Alcantarillado”, las alternativas obtuvieron calificación de “Excelente” puesto que la empresa prestadora del servicio en la ciudad, garantiza todas las condiciones necesarias para la operación de las instalaciones bomberiles. Los documentos de soporte sobre las calificaciones emitidas por cada uno de los expertos para la evaluación de las alternativas de localización se pueden observar en el Anexo J.

La matriz que contiene los juicios emitidos por los expertos se muestra en la tabla 18:

ALTERNATIVAS	CRITERIOS DE LOCALIZACIÓN					
	CONDICIONES DE LA RED DE ACUEDUCTO	CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED DE ALCANTARILLADO	CERCANIA A ZONAS CRITICAS	SEGURIDAD PÚBLICA	CERCANIA A PROYECTOS DE DESARROLLO URBANISTICO, COMERCIAL O INDUSTRIAL	CERCANÍA A ZONAS CON ALTA PROBABILIDAD DE INCIDENTES
Zamorano	EXCELENTE	EXCELENTE	MALO	REGULAR	REGULAR	MALO
Emanuel de la Merced	EXCELENTE	EXCELENTE	MALO	BUENO	REGULAR	MALO
Estonia	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR
Berlín	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR
Santa Isabel	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR
Rivera escobar	EXCELENTE	EXCELENTE	REGULAR	REGULAR	MALO	BUENO
Olímpico	EXCELENTE	EXCELENTE	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BUENO
San Cayetano	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR
Santa Rita	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	REGULAR	REGULAR
Alfonso López	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR
Colombia	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	REGULAR	BUENO
Obrero	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR
Colombina	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	MALO	REGULAR
Barrio nuevo	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	REGULAR	BUENO

Tabla 18: Matriz de evaluación de las alternativas de localización, Fuente: Juicios de expertos

- **Priorización de escalas de calificación**

Las escalas de calificación establecidas en cuatro niveles (Excelente, Bueno, Regular y Malo), fueron comparadas de a pares por medio de la asignación de valores de la escala de Saaty como se muestra en la tabla 19:

Matriz de Comparación				
ESCALA	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO
EXCELENTE	1	3	7	9
BUENO	1/3	1	5	7
REGULAR	1/7	1/5	1	3
MALO	1/9	1/7	1/3	1
	$\Sigma = 1.5873$	$\Sigma = 4.3428$	$\Sigma = 13.333$	$\Sigma = 20$

Tabla 19: Matriz de comparación para las escalas de evaluación

Posteriormente se normalizó la matriz de comparación al dividir cada juicio en la sumatoria de las calificaciones de cada columna, obteniendo los resultados de la tabla 20.

Matriz Normalizada				
ESCALA	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO
EXCELENTE	0,63	0,6908	0,525	0,45
BUENO	0,21	0,2303	0,375	0,35
REGULAR	0,09	0,0461	0,075	0,15
MALO	0,07	0,0329	0,025	0,05

Tabla 20: Matriz de comparación normalizada para las escalas de evaluación

Una vez normalizados los juicios de las escalas, se promedian las calificaciones obtenidas por cada una, dando como resultado el vector de prioridad mostrado en la tabla 21:

Priorización de Escalas	
ESTANDAR	PRIORIDAD
EXCELENTE	0,57395
BUENO	0,29132
REGULAR	0,09026
MALO	0,04447

Tabla 21: Priorización de las escalas de evaluación

De la misma manera en que se evalúa la consistencia para los criterios, se procede a la evaluación de las escalas de calificación para establecer si hubo errores en la asignación de los juicios. La tabla 22 muestra el vector de sumas ponderadas y el valor propio de la matriz asociado al vector de prioridad (λ).

ESTANDAR	Vector de sumas ponderadas	λ
Excelente	2,48	4,320953691
Bueno	1,25	4,274616079
Regular	0,36	4,031986672
Malo	0,18	4,0462102

Tabla 22: Vector de sumas ponderadas y valor de λ para cada escala de evaluación

En la tabla 23, se muestra la razón de consistencia, que representa la validez de las calificaciones emitidas para las escalas de valoración.

λ Máximo	4,1684
Índice de consistencia (IC)	0,0561
Índice aleatorio (IA)	0,8900
Razón de Consistencia (RC)	0,0631

Tabla 23: Determinación de la razón de consistencia para la matriz de comparación de las escalas de evaluación

Cómo se observa en la tabla 23 la razón de consistencia es inferior al 0,1, de lo que se puede concluir, que los juicios no presentan contradicciones y que son confiables.

Posteriormente se procedió a definir las intensidades de cada escala respecto a la prioridad de cada criterio por medio de la fórmula siguiente:

$$A_{ij} = Y_j * J_i$$

Donde,

A_{ij} = Intensidad de la escala i respecto al criterio j

Y_j = prioridad del criterio j

J_i = Prioridad de la escala i

Para determinar la valoración de las escalas en cada criterio, se dividió cada una de las intensidades obtenidas, entre la mayor intensidad de cada columna, de acuerdo a la formula siguiente:

$$B_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_{ijmax}}$$

Donde,

B_{ij} = Valoración de la escala i en el criterio j

A_{ij} = Intensidad de la escala i respecto al criterio j

A_{ijmax} = Máxima intensidad de la escala i respecto al criterio j

Los resultados de las intensidades y de las valoraciones, se muestran en la tabla 24.

CRITERIOS	CONDICIONES DE LA RED ACUEDUCTO		CONDICIONES ADECUADAS DE LA RED DE ALCANTARILLADO		CERCANIA A ZONAS CRITICAS		SEGURIDAD PÚBLICA		CERCANIA A PROYECTOS DE DESARROLLO URBANISTICO, COMERCIAL O INDUSTRIAL		CERCANÍA A ZONAS CON ALTA PROBABILIDAD DE INCIDENTES	
ESTANDAR	0,062		0,0277		0,2502		0,3578		0,0919		0,2103	
	Aij	Bij	Aij	Bij	Aij	Bij	Aij	Bij	Aij	Bij	Aij	Bij
EXCELENTE	0,036	1,000	0,016	1,000	0,144	1,000	0,205	1,000	0,053	1,000	0,121	1,000
BUENO	0,018	0,508	0,008	0,508	0,073	0,508	0,104	0,508	0,027	0,508	0,061	0,508
REGULAR	0,006	0,157	0,003	0,157	0,023	0,157	0,032	0,157	0,008	0,157	0,019	0,157
MALO	0,003	0,077	0,001	0,077	0,011	0,077	0,016	0,077	0,004	0,077	0,009	0,077

Tabla 24: Determinación de intensidades para cada criterio en cada escala de evaluación

• Resultados

Finalmente es obtenida la calificación de cada alternativa, sumando el producto entre las valoraciones de cada una de las escalas de calificación y la prioridad de cada uno de los criterios de evaluación, lo anterior se muestra por medio de la siguiente expresión:

$$C = \sum_{j=1}^n Bij * Yj$$

Donde:

C = Calificación de la alternativa de localización

Bij = Valoración de la escala i asociada a la calificación de las alternativas realizadas por los expertos en el criterio j

Yj = Prioridad del criterio j

Las calificaciones obtenidas y la jerarquía de las alternativas para la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira se muestran en la tabla 25.

COMUNA	ALTERNATIVA	CALIFICACIÓN	JERARQUIA
7	Barrio nuevo	51,95%	1
2	Estonia	44,58%	2
2	Berlín	44,58%	3
2	Santa Isabel	44,58%	4
5	San Cayetano	44,58%	5
4	Alfonso López	44,58%	6
4	Obrero	44,58%	7
6	Colombina	43,85%	8
4	Colombia	39,42%	9
1	Emanuel de la Merced	32,14%	10
4	Santa Rita	32,05%	11
3	Olímpico	30,65%	12
3	Rivera escobar	29,92%	13
1	Zamorano	19,61%	14

Tabla 25: Jerarquización de las alternativas de localización

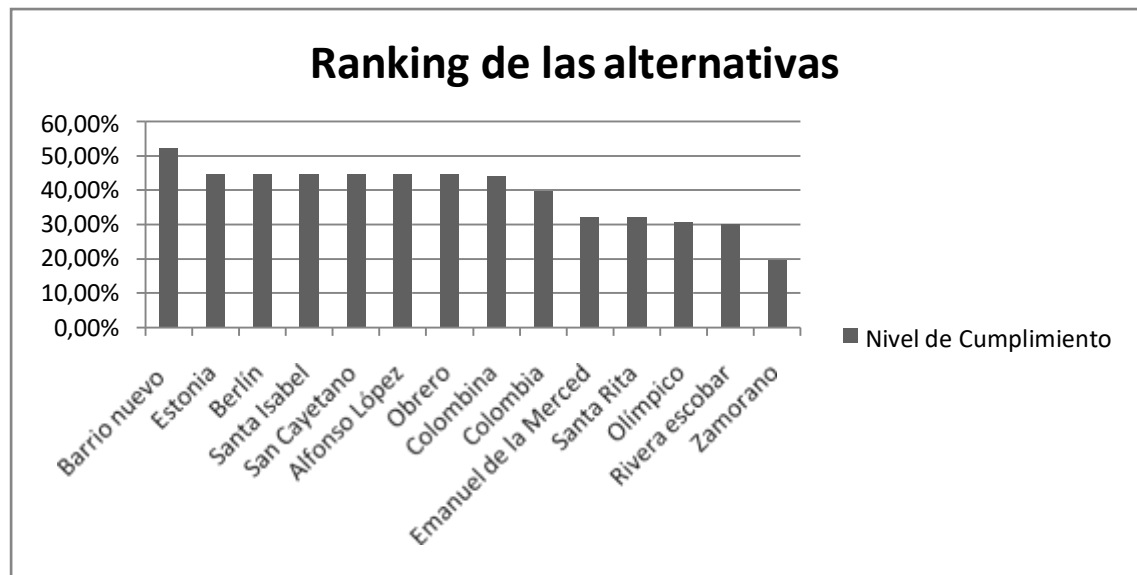


Ilustración 20: Ranking de las alternativas para la localización subestaciones de bomberos.
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la ilustración 20, el barrio con las mejores condiciones para la localización de subestaciones respecto a los criterios evaluados es Barrio Nuevo, con una calificación del 51,95%. De acuerdo a la priorización de las alternativas, se observa homogeneidad en los niveles de cumplimiento de los criterios evaluados, pues los barrios Estonia, Berlín, Santa Isabel, San Cayetano, Alfonso López y Obrero presentaron iguales calificaciones, lo que se atribuye a la similitud de sus características debido a la cercanía geográfica entre ellos y refleja la consistencia de los juicios emitidos por los expertos en el AHP.

Se evidencia, además, que la comuna 2 es la más apta para la localización de subestaciones de bomberos, pues los tres barrios que fueron analizados de esta comuna obtuvieron las segundas mejores calificaciones después de barrio nuevo, lo que se justifica por la ubicación sobre las dos vías principales de la ciudad, como son la carrera 28 y la calle 42, que representan los más altos índices de accidentalidad, por la cercanía a dotaciones como el comando de la Policía Nacional, la clínica Palma Real, la zona industrial Loreto y por la alta accesibilidad.

La factibilidad que presentan los barrios que se encuentran entre las comunas 2 y 4 puede influir en el modelo de cobertura de conjuntos puesto los tiempos de respuesta a los diferentes barrios de la ciudad pueden ser similares debido a la cercanía existente entre ellos.

Una vez conocidas las calificaciones obtenidas por las alternativas respecto a los criterios evaluados, se dio paso a la introducción de dichas calificaciones a un modelo de programación lineal que tiene como objetivo dar respuesta al problema de localización integrando las calificaciones del AHP y los tiempos de respuesta desde las alternativas hasta los nodos de demanda.

8.2.2 Determinación del número y la ubicación de las subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira

8.2.2.1 Estructuración del modelo programación lineal

A continuación se muestran los componentes del modelo de programación lineal propuesto para resolver el problema de cobertura de conjuntos:

- **Conjuntos**

Los conjuntos utilizados en este trabajo para formular el modelo de programación lineal corresponden a las 14 alternativas de localización previamente jerarquizadas mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y a los 140 barrios de la ciudad definidos como puntos de demanda.

- **Función Objetivo**

Comúnmente la minimización del número de instalaciones a localizar es un objetivo utilizado para la solución de problemas de cobertura de conjuntos. En este trabajo se realizó una adaptación a este problema, dado que además de buscar que todos los puntos de demanda sean cubiertos por el servicio del cuerpo de bomberos ubicando el menor número de subestaciones, se busca que los lugares donde se localicen cumplan de la mejor manera con los criterios de tipo cualitativo definidos en el proceso analítico jerárquico (AHP). Por lo anterior, La función objetivo en este trabajo obedece a minimizar la suma de las desviaciones de las calificaciones obtenidas por cada alternativa de localización con respecto al cumplimiento ideal (100%) de cada uno de los criterios anteriormente evaluados.

Función objetivo,

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^N P_i * y_i$$

Donde,

P_i : Valor de desviación de la calificación obtenida por cada alternativa de localización $i \in N$ con respecto al cumplimiento ideal (100%) de cada uno de los criterios evaluados.

- **Variables de decisión**

Las variables de decisión identificadas en este trabajo son de tipo binario, dado que representan las decisiones de localizar o no una subestación en una alternativa y de si se asigna o no un barrio de demanda a la atención de una subestación.

$$X_{ij} \begin{cases} 1 & \text{Si el barrio de demanda } j \in M \text{ se asigna a la alternativa de localización } i \in N \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases}$$

$$Y_i \begin{cases} 1 & \text{Si se ubica una subestación de bomberos en la alternativa de localización } i \in N \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases}$$

Donde:

N : Conjunto de alternativas potenciales para realizar la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad.

M : Conjunto de barrios de la ciudad a ser cubiertos por el servicio del cuerpo de bomberos.

- **Restricciones**

Son las condiciones o limitaciones que tienen que cumplir las variables de decisión definidas. Las siguientes restricciones se plantearon de acuerdo a las restricciones identificadas en diferentes trabajos de localización de instalaciones de bomberos y a las restricciones básicas del problema de cobertura de conjuntos:

- Un barrio de demanda debe ser atendido por al menos una subestación de bomberos dentro del parámetro del tiempo establecido para atender una emergencia.

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in M$$

- Se asigna un barrio a una subestación de bomberos, si el tiempo de recorrido desde la subestación hasta el barrio es menor o igual al parámetro de tiempo de respuesta definido.

$$T_{ij} * X_{ij} \leq TR \quad \forall i \in N, j \in M$$

Donde:

T_{ij} : Tiempo de recorrido desde una alternativa de localización $i \in N$ para atender una emergencia en el barrio $j \in M$.

TR : Parámetro que representa el tiempo crítico de recorrido establecido por el cuerpo de bomberos para atender una emergencia

- Un barrio de demanda puede asignarse a una subestación, solo si se localiza una subestación de bomberos en una alternativa de localización.

$$Y_i \geq X_{ij} \quad \forall i \in N, j \in M$$

- **Parámetros**

Son las directrices o puntos de referencia utilizados para la evaluación de las alternativas de localización. Los parámetros considerados en este modelo para obtener una respuesta al problema de localización son:

- Tiempo de recorrido:

Representa el tiempo de viaje para ir desde una alternativa de localización hasta los barrios de demanda del servicio.

Realizar de manera manual las mediciones de los tiempos de recorrido entre las 14 alternativas de localización y los 140 barrios de la ciudad es una tarea dispendiosa que requiere una gran cantidad de tiempo y recursos con los que no se cuenta, considerando lo anterior, se optó por el uso de un método que facilitara este proceso y que a su vez proporcionara respuestas confiables; por lo que se hizo uso de la ecuación del desplazamiento²⁸ que relaciona las distancias entre nodos oferta–demanda y la velocidad promedio de viaje de los vehículos de emergencia. Dicha ecuación se muestra a continuación:

$$t = \frac{d}{v}$$

Donde,

t = Tiempo de recorrido desde la alternativa de localización hasta el barrio de demanda. (Expresado en minutos)

d = Distancia desde la alternativa de localización hasta el barrio de demanda. (Expresado en Km)

v = Velocidad promedio para la atención de emergencias en la ciudad. (Expresado en Km/h)

²⁸ TIPLER A., Paul y MOSCA Gene, Física para la ciencia y la tecnología: Mecánica, oscilaciones y ondas. Editorial: Reverté, 2003.

Como se observa, para la determinación del tiempo de recorrido con la ecuación del desplazamiento son necesarios dos datos de entrada:

- La Velocidad promedio de viaje de los vehículos de emergencia;

Proporcionada por el cuerpo de bomberos de la ciudad a través de reuniones con el personal encargado de la conducción de las máquinas, quienes la definieron en 35 km/h.

- Distancia entre las alternativas de localización y los puntos de demanda:

Por lo dispendioso de la tarea de medir distancias desde las alternativas de localización hasta los barrios de demanda, se dio la búsqueda de diferentes opciones que permitieran la determinación de distancias de manera sencilla y real; dichas opciones son la aplicación Google Maps, Google Earth, el método del factor de circuito y el método del círculo mayor; estos dos últimos propuestos por Ronald H. Ballou para la estimación de kilometrajes.²⁹

Para seleccionar la mejor opción, se realizó la comparación entre las distancias determinadas con un plano a escala natural de la ciudad y las obtenidas por los diferentes métodos para 5 puntos escogidos aleatoriamente de la matriz de origen-destino (ver Anexo K); los resultados se muestran en la tabla 26:

²⁹Ballou R., Logística Administración de la Cadena de Suministros “, Capítulo 14: Proceso de planeación de la red, libro 5ta edición, 2004)

Alternativa/Destino	Distancia con Factor de Circuito	Distancia Circulo Mayor	Google MAPS	Medida Real
San Cayetano/ Urb. Papayal	2,58	1,69	2,1	2,2
Colombina/Urb. Papayal	0,47	0,33	0,7	0,76
Colombina/Samanes de la Merced	3,28	2,08	2,6	2,69
Santa Rita/ Olímpico	2,20	1,42	2	2,08
Alfonso López/Las Flores	4,44	3,07	4,4	4,49
Error respecto a la medida real (%)	16,9	33,1	4,3	

Tabla 26: Comparación de métodos para la determinación de distancias

Distancia con Factor de Circuito

Para la determinación de la distancia con el factor de circuito fue necesario conocer las distancias lineales desde las alternativas de localización hasta los puntos de demanda (barrios) y las distancias por carretera (reales); Ronald Ballou propone la siguiente fórmula para determinar el factor de circuito:

$$F_{cij} = \frac{D_{ij}}{d_{ij}}$$

Donde,

D_{ij} = Distancia Real desde la alternativa de localización i hasta el barrio de demanda j.

d_{ij} = Distancia Lineal desde la alternativa de localización i hasta el barrio de demanda j.

Para hallar el factor de circuito con que se estimaron las distancias desde las alternativas de localización hasta los barrios que deben ser atendidos, fue necesario promediar los factores de circuito determinados para cada

uno de los cinco puntos seleccionados, obteniendo así un factor de circuito de 1,56.

$$Fc_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{cij}}{n}$$

Donde,

F_{cij} = Factor de circuito determinado para la distancia desde la alternativa de localización i hasta el barrio de demanda j .

n = número de distancias analizadas de la matriz origen – destino.

De acuerdo al análisis de las opciones y a los errores proporcionados por cada una respecto a la medida real Ver Tabla 26, se concluye que Google Maps es la mejor alternativa pues suministra las distancias con menos variaciones de acuerdo a la información real, adicionalmente es una herramienta sencilla, rápida de usar y proporciona diferentes alternativas de rutas para llegar desde las alternativas de localización de subestaciones de bomberos hasta los puntos de demanda considerando los sentidos viales, posibilidades que no son suministradas por las demás alternativas.

Las distancias y los tiempos de recorrido determinados entre cada una de las 14 alternativas de localización y los 140 barrios de demanda, se muestran en el Anexo K.

- Tiempo de respuesta

Directriz definida por el cuerpo de bomberos, que representa el tiempo objetivo de la institución bomberil para la atención de emergencias en la ciudad y a partir del cual se define la cobertura de las alternativas de localización. Actualmente este parámetro no se encuentra establecido, por lo que se generaron tres escenarios para diferentes tiempos de respuesta.

El tiempo de respuesta es definido por los bomberos como el tiempo que transcurre desde que se recibe la alarma de emergencia hasta que se llega al sitio donde ocurrió; este a su vez se descompone en dos tiempos; el de reacción y el de recorrido; en cada uno de los tres escenarios se analizaron diferentes valores para el tiempo de recorrido, pues el tiempo de reacción se determinó como un tiempo constante de un minuto, como aproximación de los 0.55 segundos del historial de las emergencias atendidas durante los años 2008, 2009 y 2010.

Los escenarios analizados por recomendación del cuerpo de bomberos son:

Escenario 1: Supone que el tiempo transcurrido desde que las unidades salen de la subestación hasta que llegan al sitio de emergencia es de 3 minutos; con este escenario se logra un tiempo de respuesta de 4 minutos ante una emergencia.

Escenario 2: Supone que el tiempo transcurrido desde que las unidades salen de la subestación hasta que llegan al sitio de emergencia es de 4 minutos; con este escenario se logra un tiempo de respuesta de 5 minutos ante una emergencia.

Escenario 3: Supone que el tiempo transcurrido desde que las unidades salen de la subestación hasta que llegan al sitio de emergencia es de 5 minutos; con este escenario se logra un tiempo de respuesta de 6 minutos ante una emergencia.

Los escenarios analizados se resumen en la tabla 27.

ESCENARIOS PLANTEADOS			
Tiempos	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Tiempo de Reacción (min)	1	1	1
Tiempo de Recorrido (min)	3	4	5
Tiempo de Respuesta (min)	4	5	6

Tabla 27: Escenarios definidos para la determinación del parámetro de tiempo máximo de respuesta ante emergencias

- Alternativas de localización jerarquizadas

Este parámetro corresponde a la desviación de la calificación que obtuvo cada alternativa de localización respecto a la calificación ideal (100% del nivel de cumplimiento de cada criterio evaluado en el proceso analítico jerárquico). En la tabla 28 se muestran los resultados obtenidos:

ALTERNATIVA	DESVIACIÓN
Barrio nuevo	48.05%
Estonia	55.42%
Berlín	55.42%
Santa Isabel	55.42%
San Cayetano	55.42%
Alfonso López	55.42%
Obrero	55.42%
Colombina	56,15%
Colombia	60,58%
Emanuel de la Merced	67,86%
Santa Rita	67,95%
Olímpico	69,35%
Rivera escobar	70,08%
Zamorano	80,39%

Tabla 28: Alternativas de localización Jerarquizadas. Fuente: Elaboración propia

8.2.2.2 Formulación del modelo de programación lineal

La formulación matemática del modelo de programación lineal utilizado para resolver el problema de cobertura de conjuntos, que permitirá identificar la cantidad y el número de subestaciones de bomberos a localizar en la ciudad de Palmira es:

Variables de Decisión,

$$X_{ij} \begin{cases} 1 & \text{Si el barrio de demanda } j \in M \text{ se asigna a la alternativa de localización } i \in N \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases}$$

$$Y_i \begin{cases} 1 & \text{Si se ubica una subestación de bomberos en la alternativa de localización } i \in N \\ 0 & \text{De lo contrario} \end{cases}$$

Función Objetivo,

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^N P_i * Y_i \quad (1)$$

Sujeto a,

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} \geq 1 \quad \forall j \in M \quad (2)$$

$$T_{ij} * X_{ij} \leq TR \quad \forall i \in N, j \in M \quad (3)$$

$$Y_i \geq X_{ij} \quad \forall i \in N, j \in M \quad (4)$$

$$X_{ij}, Y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in N, j \in M \quad (5)$$

Donde,

N: Conjunto de alternativas potenciales para realizar la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad.

M: Conjunto de barrios de la ciudad a ser cubiertos por el servicio del cuerpo de bomberos.

T_{ij} : Tiempo de recorrido desde una alternativa de localización $i \in N$ para atender una emergencia en el barrio $j \in M$.

TR: Parámetro que representa el tiempo crítico de recorrido establecido por el cuerpo de bomberos para atender una emergencia.

P_i : Valor de desviación de la calificación obtenida por cada alternativa de localización $i \in N$ con respecto al cumplimiento ideal (100%) de cada uno de los criterios evaluados.

La ecuación (1) del modelo de programación lineal representa la función objetivo, que es minimizar la suma de las desviaciones de las calificaciones obtenidas por cada alternativa de localización con respecto al cumplimiento ideal (100%) de cada uno los criterios evaluados en el AHP. Las ecuaciones (2) y (3) representan las restricciones del modelo y pretenden lograr la cobertura de todos los barrios dentro del parámetro de tiempo establecido para atender una emergencia. La ecuación (4) es una restricción que asegura que un barrio de demanda no se asigne a un lugar potencial de localización, si en dicho lugar no se ubica una subestación de bomberos. Finalmente la ecuación (5) representa la naturaleza de las variables de decisión.

8.2.2.3 Solución del modelo de programación lineal

Una vez formulado el modelo de programación lineal y determinados los parámetros, fue necesario buscar una herramienta que permitiera obtener una respuesta al modelo de optimización propuesto. Entre las herramientas más comunes utilizadas para resolver este tipo de modelos son:

- LINGO: Es una herramienta diseñada para ayudar a construir y resolver modelos de optimización lineal, no lineal, y de tipo entero de forma rápida, fácil y eficiente. Las capacidades de la versión de prueba son: 150 restricciones, 300 variables de decisión y 30 variables de decisión de tipo entero.
- WIN QSB: Es un sistema interactivo de ayuda a la toma de decisiones que contiene herramientas muy útiles para resolver distintos tipos de problemas en el campo de la investigación operativa. El sistema está formado por distintos módulos, uno para cada tipo de modelo o problema. Entre ellos se destacan la programación lineal entera, programación por metas, modelo de redes, programación lineal, etc.

Por tratarse de un modelo de programación lineal compuesto por 1 función objetivo, 1.974 variables de decisión (todas binarias) y 4.060 restricciones, no es posible obtener una solución a partir de las herramientas mostradas anteriormente, dado que se sobre pasan las limitaciones en capacidad de solución de cada una. Por lo anterior, se utilizó un lenguaje de modelado algebraico para obtener una solución al problema en estudio. Entre los lenguajes de modelado se encuentran:

- Lenguaje de Modelado de Programación Matemática (AMPL): Es un lenguaje de modelado algebraico para expresar problemas de programación lineal, no lineal, entera y cuadrática en notación algebraica. Este lenguaje de modelado es especialmente útil para solucionar problemas que sean grandes y complejos. La versión estudiantil de AMPL permite la solución de problemas hasta de 300 variables de decisión y 300 restricciones.
- GAMS: El Sistema General de Modelaje Algebraico (GAMS) está diseñado específicamente para modelar problemas de optimización tanto lineales, no lineales o de enteros mezclados. GAMS está disponible en versiones para computadores personales, estaciones de trabajo, bases de datos y súper computadores. Las limitaciones de la versión estudiantil son: 300 filas, 300

columnas, 2.000 elementos distintos de cero, 1.000 elementos no lineales y 50 variables discretas.

En este trabajo se utilizará el lenguaje AMPL para representar el modelo de programación lineal propuesto, debido a que es uno de los lenguajes más utilizados para la solución de este tipo de problemas, es de fácil uso y a que se cuenta con el conocimiento necesario para su formulación.

Debido a que las limitaciones en capacidad de solución de cada una versiones estudiantiles de los dos lenguajes de modelado nombrados anteriormente son menores a los requerimientos del modelo propuesto, se utilizó el solucionador para la Resolución de los programas de restricción de enteros (SCIP) del servidor de Neos³⁰ para obtener una solución al problema planteado³¹, pues del grupo de solucionadores para problemas de programación lineal entera mixta fue el único que proporcionó respuestas lógicas.

8.2.2.4 Resultados

A partir del modelo propuesto en este trabajo, se obtuvo una respuesta al problema de localización de subestaciones de bomberos. Dicha respuesta consistió en identificar:

- El número de subestaciones de bomberos a localizar en la ciudad necesario para cubrir en conjunto con la estación actual de bomberos todos los barrios de demanda de la ciudad.
- La ubicación de las subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira.

³⁰ Sitio Web servidor Neos: <http://www.neos-server.org/neos/solvers/index.html>

³¹El artículo de J. Czyzyk, Mesnier M., y J. Moré, El servidor NEOS, que apareció en IEEE Diario de Ciencia Computacional e Ingeniería, 5 (1998), páginas 68-75, analiza el diseño e implementación del servidor de NEOS.

El trabajo de W. Gropp y J. Moré, entornos de optimización y el servidor de NEOS, que apareció en la Teoría de Aproximación y Optimización, MD Buhmann y Iserles A., eds., páginas 167-182, Cambridge University Press, 1997, analiza los NEOS servidor como un ambiente de resolución de problemas, que simplifica la formulación de problemas de optimización y el acceso a los recursos computacionales.

Dado que un barrio de demanda puede ser atendido por varias instalaciones de bomberos (estaciones y subestaciones), se realizó la asignación de los barrios teniendo en cuenta el menor tiempo de atención, con el objetivo de reducir el tiempo promedio de respuesta. Lo anterior no implica que un barrio deba ser estrictamente atendido en el menor tiempo, pues la restricción fundamental es que su atención no se dé en un tiempo superior al parámetro establecido en cada uno de los escenarios.

Para facilitar el ingreso de los parámetros al archivo de datos de AMPL, fue necesario asignar un código a cada barrio de la ciudad de Palmira. Los códigos y el nombre de los barrios se muestran en la tabla 29.

CODIGO	BARRIO	CODIGO	BARRIO	CODIGO	BARRIO
B1	Acacias	B48	Libertadores	B95	Urb. Emmanuel de la Merced
B2	Alfonso López	B49	Llanogrande	B96	Urb. Guayacán
B3	Altamira	B50	Loreto	B97	Urb. Harold Eder
B4	Barrio el bosque	B51	Los Cristales	B98	Urb. Hernán Acevedo
B5	Barrio Nuevo	B52	Los Sauces	B99	Urb. Hugo Varela Mondragón
B6	Berlín	B53	Luis Carlos Galán	B100	Urb. Ignacio Torres Giraldo
B7	Betania de Comfandi	B54	María Cano	B101	Urb. Juan Pablo II
B8	Bizerta	B55	Mirriñao	B102	Urb. La Esperanza
B9	Bosques de Morelia	B56	Municipal	B103	Urb. Las Américas
B10	Caicelandia	B57	Obrero	B104	Urb. Las Flores
B11	Campestre	B58	Olímpico	B105	Urb. Llanogrande
B12	Central	B59	Palma Real	B106	Urb. Los Mangos
B13	Chapinero	B60	Palmeras	B107	Urb. Los Robles
B14	Ciudadela Comfaunión	B61	Palmeras de Marsella	B108	Urb. Los Samanes
B15	Ciudadela Palmira	B62	Parques de la Italia	B109	Urb. Monteclaro
B16	Colombia	B63	Petruc	B110	Urb. Palmeras del Oriente
B17	Colombina	B64	Poblado de Comfaunión	B111	Urb. Papayal
B18	Condominio Campestre Paraíso de las Mercedes	B65	Pomona	B112	Urb. Poblado de Lourdes
B19	Condominio Entre palmas	B66	Popular Modelo	B113	Urb. Portales del Recreo

B20	Conjunto de Villas de las Palmas	B67	Portal de las Palmas	B114	Urb. Quintas de Zamorano
B21	Coop. Trabajadores Manuelita	B68	Portales de Niza	B115	Urb. Samanes de la Merced
B22	Coronado	B69	Prados de Oriente	B116	Urb. Santa Ana
B23	Danubio	B70	Primero de Mayo	B117	Urb. Santa Teresita
B24	El Prado	B71	Providencia	B118	Urb. Siete de Agosto
B25	El Recreo	B72	Reserva de las Mercedes	B119	Urb. Simón Bolívar
B26	El Sembrador	B73	Rivera Escobar	B120	Urb. Villa Claudia
B27	El Triunfo	B74	San Carlos	B121	Urb. Villa de las Palmas
B28	Emilia	B75	San Cayetano	B122	Urb. Villa del Rosario
B29	Estonia	B76	San Jorge	B123	Urb. Villa Diana
B30	Fátima	B77	San José	B124	Urb. Villas de Caimitos
B31	Fray Luis Amigó	B78	San Pedro	B125	Urb. Almenares de la Merced
B32	Guayacanes del Ingenio	B79	Santa Bárbara	B126	Urb. Altos del Bosque
B33	Industrial	B80	Santa Clara	B127	Urb. Casas de Alicanto
B34	Jorge Eliécer Gaitán	B81	Santa Isabel	B128	Urb. Conjunto de las Mercedes
B35	José Antonio Galán	B82	Santa María del Palmar	B129	Urb. Guayacanes del Parque
B36	La Alameda	B83	Santa Rita	B130	Urb. la Hacienda
B37	La Benedicta	B84	Sesquicentenario	B131	Urb. la Perseverancia
B38	La Concordia	B85	Urb. 20 de Julio	B132	Urb. palo verde
B39	La Cosecha	B86	Urb. Beltrán	B133	Urb. Paraíso de las Mercedes
B40	La Independencia	B87	Urb. Buenos Aires	B134	Urb. parque de las mercedes
B41	La Libertad	B88	Urb. Campestre	B135	Urb. Plazuela de las Mercedes
B42	La Orlidia	B89	Urb. Departamental	B136	Urb. Portales del sembrador
B43	La Trinidad	B90	Urb. El Bosque	B137	Uribe Uribe
B44	La Vega	B91	Urb. El Caimito	B138	Versalles
B45	Las Delicias	B92	Urb. El Jardín	B139	Villas de Caña Miel
B46	Las Mercedes	B93	Urb. El Paraíso	B140	Zamorano
B47	Las Victorias	B94	Urb. El Trébol		

Tabla 29: Códigos asignados a los 140 barrios de la ciudad de Palmira

Los resultados obtenidos para los escenarios 1, 2 y 3 son:

Escenario 1

Este escenario supone que el tiempo máximo de respuesta es de 4 minutos, compuesto por 1 minuto de reacción y 3 minutos que deben transcurrir desde que las unidades salen de la subestación hasta que llegan al sitio de emergencia. Además se considera la estación actual del cuerpo de bomberos.

Los resultados obtenidos para el escenario 1 con el modelo de localización propuesto se muestran en la tabla 30.

Tiempo de Respuesta	Número de Subestaciones de Bomberos	Estaciones de Bomberos	Instalaciones de Bomberos Total	Función Objetivo	Cobertura de los Barrios de la Ciudad
4 Minutos	9	1	10	558,14%	76,42%

Tabla 30: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 1

Según los resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 1, deben ubicarse en la ciudad 9 subestaciones de bomberos considerando la ubicación de la estación actual, para lograr una cobertura del 76.42% de los barrios de demanda.

La función objetivo para este escenario fue de 558.14%, representando el 37.98%³² de cumplimiento de los criterios evaluados en el AHP para las 9 subestaciones de bomberos a localizar respecto a la calificación ideal (900%).

En la ilustración 21 se muestran los barrios atendidos en la ciudad de Palmira por la estación actual de bomberos, los barrios a atender por cada una de las subestaciones y los barrios no cubiertos dentro del tiempo máximo de respuesta de 4 minutos.

³²Cumplimiento de los criterios evaluados en el AHP para las 9 subestaciones de bomberos a localizar = $(1 - (\text{Desviación de la calificación obtenida por las subestaciones a localizar } (558.14\%) / \text{Calificación ideal del número de subestaciones a localizar } (900\%))) * 100\%$

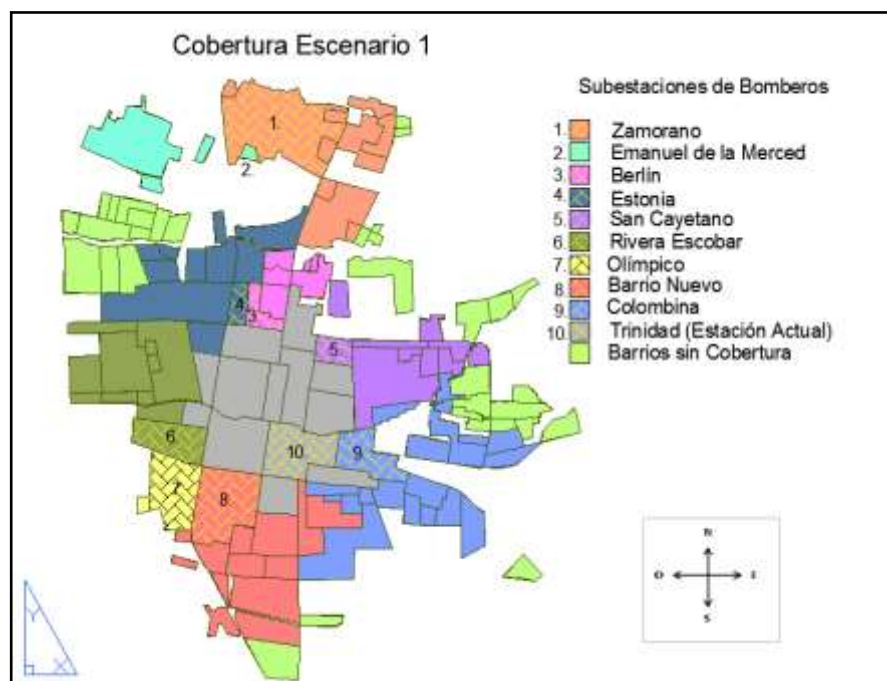


Ilustración 21: Cobertura en la ciudad de Palmira para un tiempo máximo de respuesta de 4 minutos. Fuente: Elaboración propia

Las subestaciones de bomberos que se proponen abrir en la ciudad de Palmira y los barrios asignados a cada una para el escenario 1 se muestran en la tabla 31.

TIEMPO DE RESPUESTA DE 4 MIN			
SUBESTACIONES	CODIGO	CODIGO DE BARRIOS A CUBRIR	TOTAL
1. Zamorano	B140	B14, B21, B36, B39, B44, B46, B106, B109, B128, B134, B140	11
2. Emanuel de la Merced	B95	B85, B86, B95, B22	4
3. Estonia	B29	B7, B29, B33, B34, B37, B55, B89, B100, B102, B117, B120	11
4. Berlín	B6	B3, B6, B9, B81, B108, B115, B125	7
5. Rivera Escobar	B73	B1, B20, B28, B38, B49, B73, B116, B79, B121, B127, B130, B24, B31	13
6. San Cayetano	B75	B11, B41, B64, B70, B71, B74, B75, B78, B88, B110, B139	11
7. Colombina	B17	B4, B10, B15, B17, B23, B26, B27, B30,	20

		B32, B35, B56, B66, B76, B90, B92, B94, B104, B111, B126, B129	
8. Barrio Nuevo	B5	B5, B13, B25, B40, B47, B53, B63, B68, B80, B84, B96, B103, B107, B113, B136	15
9. Olímpico	B58	B19, B58	2
TOTAL			93

Tabla 31: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 4 minutos

Los barrios cubiertos por la estación actual de bomberos en un tiempo máximo de respuesta de 4 minutos, se muestran en la tabla 32.

ESTACION	CODIGO	BARRIOS CUBIERTOS	TOTAL
La Trinidad	B43	B2, B8, B12, B16, B43, B45, B48, B50, B57, B65, B83, B137, B138	13

Tabla 32: Barrios atendidos por la Estación de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 4 minutos

La tabla 33 muestra los barrios que no son cubiertos por ninguna de las alternativas de localización ni por la estación actual del cuerpo de bomberos dentro del tiempo máximo de respuesta de 4 minutos.

BARRIOS NO CUBIERTOS POR LAS ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION	TOTAL
B18, B77, B98, B132, B42, B51, B52, B54, B59, B60, B61, B62, B67, B69, B72, B82, B87, B91, B93, B97, B99, B101, B105, B112, B114, B123, B118, B119, B122, B124, B131, B135, B133	33

Tabla 33: Barrios no atendidos en un tiempo máximo de respuesta 4 minutos

Escenario 2

Supone que el tiempo máximo de respuesta es de 5 minutos, compuesto por 1 minuto de reacción y 4 minutos que deben transcurrir desde que las unidades salen de la subestación hasta que llegan al sitio de emergencia. Además se considera la estación actual del cuerpo de bomberos.

Los resultados obtenidos para el escenario 2 con el modelo de localización propuesto se muestran en la Tabla 34.

Tiempo de Respuesta	Número de Subestaciones de Bomberos	Estaciones de Bomberos	Instalaciones de Bomberos Total	Función Objetivo	Cobertura de los Barrios de la Ciudad
5 Minutos	7	1	8	423,87%	96,42%

Tabla 34: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 2

Según los resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 2, deben ubicarse en la ciudad 7 subestaciones de bomberos considerando la ubicación de la estación actual, para lograr una cobertura del 96.42% de los barrios de demanda.

La función objetivo para este escenario fue de 423.87%, representando el 39.44%³³ de cumplimiento de los criterios evaluados en el AHP para las 7 subestaciones de bomberos a localizar respecto a la calificación ideal (700%).

En la ilustración 22 se muestra los barrios atendidos en la ciudad de Palmira por la estación actual de bomberos, los barrios a atender por cada una de las subestaciones de bomberos y los barrios no cubiertos dentro del tiempo máximo de respuesta de 5 minutos.

³³Cumplimiento de los criterios evaluados en el AHP para las 9 subestaciones de bomberos a localizar = $(1 - (\text{Desviación de la calificación obtenida por las subestaciones a localizar } (423.87\%) / \text{Calificación ideal del número de subestaciones a localizar } (700\%))) * 100\%$

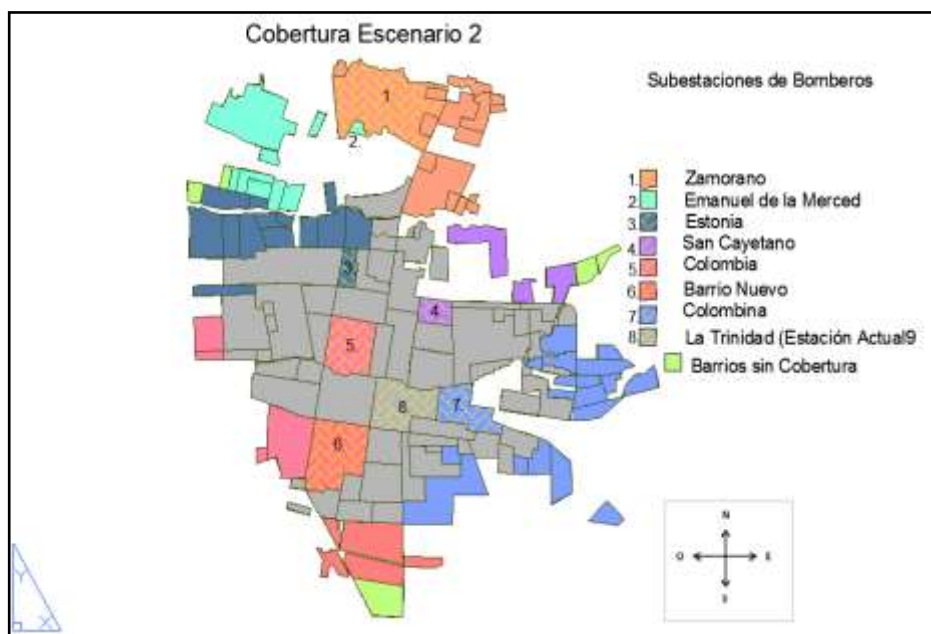


Ilustración 22: Cobertura en la ciudad de Palmira para un tiempo máximo de respuesta de 5 minutos. Fuente: Elaboración propia

Las subestaciones de bomberos que se proponen abrir en la ciudad de Palmira y los barrios asignados a cada una para el escenario 2 se muestran en la tabla 35.

TIEMPO DE RESPUESTA DE 5 MIN			
SUBESTACIONES	CODIGO	BARRIOS A CUBRIR	TOTAL
Zamorano	B140	B14, B18, B21, B36, B39, B44, B46, B72, B106, B109, B114, B128, B132, B133, B134, B135, B140	17
Emanuel de la Merced	B95	B22, B85, B86, B95, B97, B112, B119, B122, B123, B124	10
Estonia	B29	B7, B29, B31, B37, B67, B89, B91, B100, B101, B102, B105, B117, B120	13
San Cayetano	B75	B64, B75, B82, B88	4
Colombia	B16	B16, B19, B58, B116, B130	5
Colombina	B17	B10, B17, B26, B27, B32, B52, B54, B56, B60, B61, B66, B69, B77, B92, B93, B98, B104, B87	18

Barrio Nuevo	B5	B5, B13, B53, B84, B103, B131	6
--------------	----	-------------------------------	---

Tabla 35: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 5 minutos

Los barrios cubiertos por la estación actual de bomberos en un tiempo máximo de respuesta de 5 minutos, se muestra en la tabla 36.

ESTACION	CODIGO	BARRIOS CUBIERTOS	TOTAL
La Trinidad	B43	B1, B2, B3, B4, B5, B8, B9, B11, B12, B15, B20, B23, B24, B25, B28, B30, B33, B34, B35, B38, B40, B41, B43, B45, B47, B48, B49, B50, B55, B57, B63, B65, B68, B70, B71, B73, B74, B76, B78, B79, B80, B81, B83, B90, B94, B96, B107, B108, B110, B111, B113, B115, B118, B121, B125, B126, B127, B129, B136, B137, B138, B139	62

Tabla 36: Barrios atendidos por la Estación de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 5 minutos

La tabla 37 muestra los barrios que no son cubiertos por ninguna de las alternativas de localización ni por la estación actual del cuerpo de bomberos dentro del tiempo máximo de respuesta de 5 minutos.

BARRIOS NO CUBIERTOS POR LAS ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION	TOTAL
B42,B51,B59,B62,B99	5

Tabla 37: Barrios no atendidos en un tiempo máximo de respuesta 5 minutos

Escenario 3

Supone que el tiempo máximo de respuesta es de 6 minutos, compuesto por 1 minuto de reacción y 5 minutos que deben transcurrir desde que las unidades salen de la subestación hasta que llegan al sitio de emergencia. Además se considera la estación actual del cuerpo de bomberos.

Los resultados obtenidos para el escenario 3 con el modelo de localización propuesto se muestran en la Tabla 38.

Situación Actual	Tiempo de Respuesta	Número de Subestaciones de Bomberos	Estaciones de Bomberos	Instalaciones de Bomberos Total	Función Objetivo	Cobertura de los Barrios de la Ciudad
Escenario 3	6 Minutos	4	1	5	227,48%	100%

Tabla 38: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 3

Según los resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario 3, deben ubicarse en la ciudad 4 subestaciones de bomberos considerando la ubicación de la estación actual, para lograr una cobertura del 100% de los barrios de demanda.

La función objetivo para este escenario fue de 227.48%, representando el 43.13%³⁴ de cumplimiento de los criterios evaluados en el AHP para las 4 subestaciones de bomberos a localizar respecto a la calificación ideal (400%).

En la ilustración 23 se muestra los barrios atendidos en la ciudad de Palmira por la estación actual de bomberos y los barrios a atender por cada una de las subestaciones de bomberos dentro del tiempo máximo de respuesta de 6 minutos.

³⁴Cumplimiento de los criterios evaluados en el AHP para las 9 subestaciones de bomberos a localizar = $(1 - (\text{Desviación de la calificación obtenida por las subestaciones a localizar (227.48\%)} / \text{Calificación ideal del número de subestaciones a localizar (400\%)})) * 100\%$

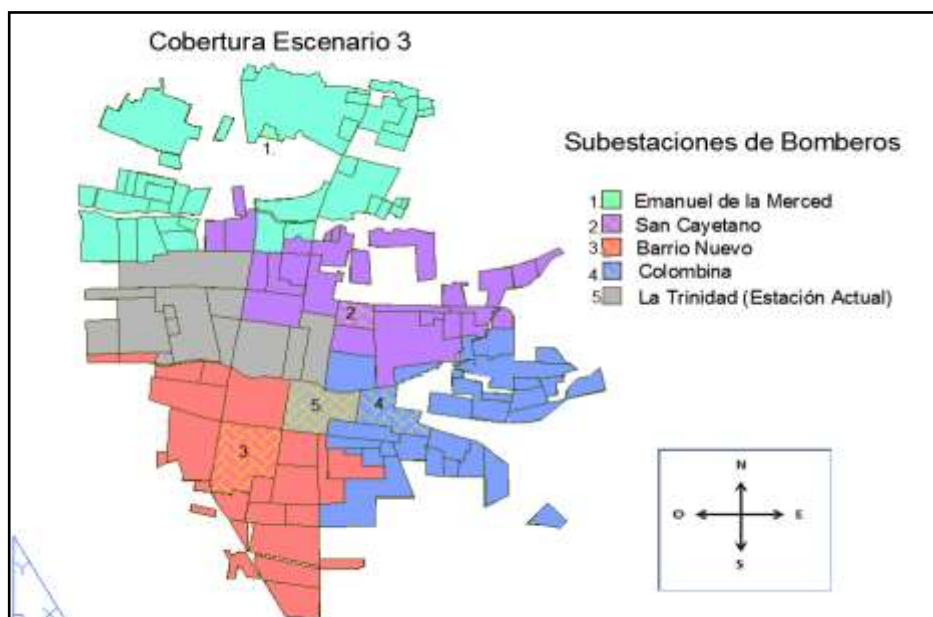


Ilustración 23: Cobertura en la ciudad de Palmira para un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos. Fuente: Elaboración propia

Las subestaciones de bomberos que se proponen abrir en la ciudad de Palmira y los barrios asignados a cada una para el escenario 3 se muestran en la tabla 39.

TIEMPO DE RESPUESTA DE 6 MIN			
SUBESTACIONES	CODIGO	BARRIOS A CUBRIR	TOTAL
Emanuel de la Merced	B95	B7, B9, B14, B18, B21, B22, B36, B39, B44, B46, B55, B59, B67, B72, B85, B86, B89, B91, B95, B97, B99, B100, B101, B105, B106, B109, B112, B114, B117, B119, B122, B123, B124, B128, B132, B133, B134, B135, B140	39
San Cayetano	B75	B2, B3, B6, B8, B11, B29, B37, B41, B42, B51, B64, B70, B71, B74, B75, B78, B81, B82, B88, B102, B108, B110, B115, B120, B125, B138, B139	27
Colombina	B17	B4, B10, B15, B17, B23, B26, B27, B30, B32, B35, B48, B52, B54, B56, B60, B61, B66, B69, B76, B77, B87, B90, B92, B93, B94, B98, B104, B111, B118, B126, B129, B137	32
Barrio Nuevo	B5	B5, B12, B13, B19, B25, B38, B40, B45, B47, B53, B58, B62, B63, B65, B68, B79, B80, B84, B96, B103, B107, B113, B121, B127, B130, B131, B136	27

Tabla 39: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un tiempo máximo de respuesta 6 minutos

Los barrios cubiertos por la estación actual de bomberos en un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos, se muestra en la tabla 40.

ESTACION	CODIGO	BARRIOS CUBIERTOS	TOTAL
La Trinidad	B43	B1, B16, B20, B24, B28, B31, B33, B34, B43, B49, B50, B57, B73, B83, B116	15

Tabla 40: Barrios no atendidos por las alternativas de localización en un tiempo máximo de respuesta 6 minutos

A partir de la presentación al cuerpo de bomberos de la ciudad de los resultados obtenidos con el modelo de localización, se determinó el escenario 3 con un tiempo de respuesta de 6 minutos como el más favorable, pues, genera los mayores beneficios comparados con los escenarios 1 y 2 desde las dos variables de decisión más importantes: los costos, relacionados en este trabajo con el número de instalaciones a ubicar y la equidad, representada con la posibilidad de que todos los barrios de la ciudad puedan ser atendidos dentro del mismo tiempo máximo de respuesta.

A pesar de que los escenarios 1 y 2 son los mejores en cuanto al servicio, pues contemplan la atención de los barrios de la ciudad en tiempos máximos de respuesta menores al establecido en el escenario 3, se observan falencias pues no se logra la cobertura de todos los barrios de la ciudad; además, para los expertos del cuerpo de bomberos es inviable desde el número propuesto de subestaciones a localizar, considerando la dificultad para que los recursos sean asignados, los altos costos a asumir por la compra de terrenos y la construcción de las instalaciones.

En la tabla 41 se muestra una síntesis de los resultados obtenidos a través del modelo de localización propuesto para cada uno de los 3 escenarios:

Situación Actual	Tiempo de Respuesta	Estaciones de Bomberos	Número de Subestaciones de Bomberos	Instalaciones de Bomberos Total	Porcentaje de Cobertura
Escenario 1	4 Minutos	1	9	10	76,42
Escenario 2	5 Minutos	1	7	8	96,42
Escenario 3	6 Minutos	1	4	5	100

Tabla 41: Comparación de los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios propuestos

La ilustración 24 muestra de manera grafica los resultados obtenidos por los 3 escenarios analizados:



Ilustración 24: Comparación de resultados obtenidos en escenarios planteados.

En sentido general, un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos, muestra una respuesta más ajustada con los objetivos del cuerpo de bomberos, desde el punto de vista del número de instalaciones a localizar y la cobertura que se logra en la ciudad. Además, localizando 4 subestaciones de bomberos y manteniendo la estación actual se logra proporcionar en la ciudad un tiempo promedio de respuesta de 3,6 minutos. En la tabla 42 se muestran los tiempo promedio de respuesta para cada una de las instalaciones de bomberos a localizar.

Instalaciones de Bomberos	Número de Barrios atendidos	Tiempo Promedio de Respuesta (min)
Sub. Emanuel de la Merced	39	4,1
Sub. San Cayetano	27	3,4
Sub. Colombina	32	3,3
Sub. Barrio Nuevo	27	3,4
Estación de Bomberos	15	4
Total	140	3,6

Tabla 42: Número de barrios asignados y tiempo promedio de respuesta de las instalaciones de Bomberos para el escenario 3

La ilustración 25 muestra la distribución de las subestaciones de bomberos según el escenario 3 (tiempo máximo de respuesta igual a 6 minutos).

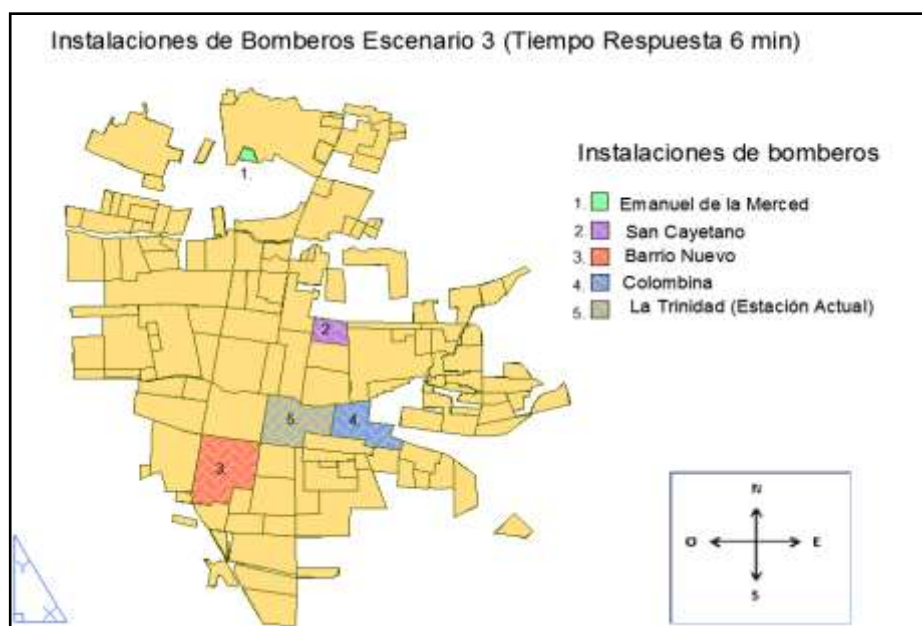


Ilustración 25: Propuesta de localización de subestaciones de bomberos en el área urbana del municipio de Palmira. Fuente: Elaboración propia

A continuación se caracterizan los barrios identificados para realizar la localización de las subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira:

Barrio Emanuel de la Merced: Se encuentra ubicado en la comuna 1, colindante con el barrio Zamorano considerado como zona crítica y el de mayor densidad poblacional de la ciudad. Cercano a la Universidad del Valle y al plan parcial la Carbonera, con fácil acceso a una de las vías principales de la ciudad como la carrera 28, que comunica a Palmira con corregimientos como Amaime y El Placer.

Barrio San Cayetano: Ubicado en la comuna 5 de la ciudad, sobre la calle 42, que es considerada una de las vías con altos índices de accidentalidad; próximo a las zonas críticas de los barrios Uribe Uribe, San Pedro, Bizerta, Versalles y el Obrero. Con fácil acceso a los barrios del oriente de la ciudad y con capacidad de proporcionar atención a los sitios de entretenimiento y de alta afluencia de público que hay en la zona como supermercados, hospitales, discotecas, colegios e iglesias.

Barrio Colombina: Se encuentra ubicado en la comuna 7, colindante con las zonas críticas del Trébol, Uribe Uribe, los Libertadores y la Trinidad. Cercano a vías como la calle 30 que comunican a la ciudad con el municipio de Pradera; además de encontrarse próximo a zonas de uso dotacional como el Batallón Codazzi y al Bosque Municipal.

Barrio Nuevo: Ubicado en la comuna 7 de la ciudad, limita con las zonas críticas del Central, Rivera Escobar, las Delicias, la Trinidad y el Recreo; considerado como zona de uso múltiple según el POT del municipio, cercano al eje industrial Colombates, Harineras del Valle y a la zona centro donde se encuentra concentrada la mayor cantidad de establecimientos comerciales. Este barrio se encuentra cercano a zonas de uso dotacional como la Penitenciaría y el cementerio de la ciudad.

Debido a que la apertura de una instalación implica una cantidad considerable de recursos económicos y de un proceso que resulta en muchas ocasiones prolongado, se propone de acuerdo al número de barrios a atender y a la cercanía a zonas críticas primarias la siguiente priorización de las subestaciones de bomberos para su apertura:

- Subestación de Bomberos Emanuel de la Merced: Debido a que se encuentra en la zona norte de la ciudad, específicamente en la comuna 1 donde actualmente la estación del cuerpo de bomberos no cubre ningún barrio dentro de un tiempo máximo de respuesta de 5 minutos. Además tiene el mayor número de barrios asignados para la atención de emergencias en un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos (39 barrios).
- Subestación de Bomberos Colombina: Debido al número de barrios asignados a atender en un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos (32) y a que la mayoría de estos corresponden a la zona oriental de la ciudad donde también se presenta una de las menores coberturas por parte de la estación actual.
- Subestación de Bomberos Barrio nuevo: Debido a que el número de barrios asignados para la atención de emergencias en un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos es de 27 barrios y a que obtuvo la mejor calificación(51,95%) respecto al cumplimiento de los criterios de tipo cualitativo evaluados en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) .
- Subestación de Bomberos San Cayetano: Aunque presenta igual número de barrios asignados para la atención de emergencias en un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos con respecto a Barrio Nuevo, obtuvo una calificación del 44,58% respecto al cumplimiento de los criterios de tipo cualitativo evaluados en el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) .

Además de conocer el número de subestaciones y el lugar en que se deben ubicar para atender la demanda no cubierta por la estación actual, se planteó un escenario bajo el supuesto de que no existe ninguna instalación de bomberos en la ciudad y que el tiempo de respuesta es de 6 minutos; lo anterior, para conocer el número de instalaciones de bomberos necesarias para que la ciudad sea cubierta completamente por el servicio del cuerpo de bomberos y los lugares donde podría estar ubicada la estación principal, en caso de que se considere su reubicación. Los resultados se muestran en la Tabla 43.

Escenario	Tiempo de Respuesta	Número de Instalaciones de Bomberos	Cobertura de los Barrios de la Ciudad
Generalizado	6 Minutos	5	100%

Tabla 43: Resultados obtenidos con el modelo de localización para el escenario generalizado

Las instalaciones de bomberos que se proponen abrir en la ciudad de Palmira y los barrios asignados a cada una para el escenario generalizado se muestran en la tabla 44.

TIEMPO DE RESPUESTA DE 6 MIN			
SUBESTACIONES	CODIGO	BARRIOS A CUBRIR	TOTAL
Emanuel de la Merced	B95	B14, B18, B21, B22, B36, B39, B44, B46, B59, B72, B85, B86, B95, B97, B99, B106, B109, B112, B114, B119, B122, B123, B124, B128, B132, B133, B134, B135, B140	29
Estonia	B29	B1, B2, B3, B6, B7, B9, B16, B24, B28, B29, B31, B33, B34, B37, B38, B49, B50, B55, B67, B81, B89, B91, B100, B101, B102, B105, B108, B115, B116, B117, B120, B125, B130	33
San Cayetano	B75	B8, B11, B41, B42, B51, B57, B64, B70, B71, B74, B75, B78, B82, B83, B88, B110, B138, B139	18
Colombina	B17	B4, B10, B15, B17, B23, B26, B27, B30, B32, B35, B43, B48, B52, B54, B56, B60, B61, B66, B69, B76, B77, B87, B90, B92, B93, B94, B98, B104, B111, B118, B126, B129, B137	33
Barrio Nuevo	B5	B5, B12, B13, B19, B20, B25, B40, B45, B47, B53, B58, B62, B63, B65, B68, B73, B79, B80, B84, B96, B103, B107, B113, B121, B127, B131, B136	27

Tabla 44: Barrios atendidos por las Subestaciones de Bomberos en un escenario que no considera la ubicación de la Estación actual

La distribución de las subestaciones de bomberos y los barrios asignados a cada una para su atención se muestran en la ilustración 26.

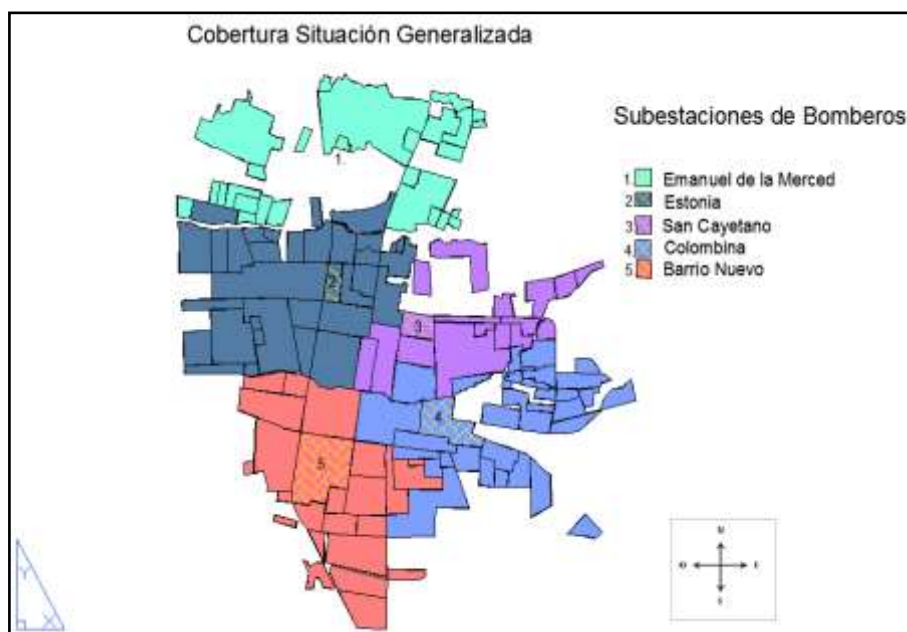


Ilustración 26: Cobertura en la ciudad sin la consideración de la estación actual

De acuerdo a los resultados obtenidos, el modelo propone para el total cubrimiento de la ciudad bajo un tiempo de respuesta de 6 minutos, la apertura de 5 instalaciones de bomberos, de las cuales el cuerpo de bomberos debe decidir dónde ubicar la estación principal.

Comparando los resultados del modelo obtenidos para el escenario en que se considera la ubicación actual del cuerpo de bomberos bajo un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos y el escenario generalizado en el que no se considera la estación actual del cuerpo de bomberos, se puede decir que coinciden en el número de instalaciones a ubicar (5) para atender todos los barrios de la ciudad.

De acuerdo a la Tabla 45 se observa que los dos escenarios coinciden en 4 de las cinco instalaciones de bomberos a ubicar en la ciudad de Palmira.

Instalaciones de Bomberos a Localizar en la Ciudad de Palmira								
Escenario	Tiempo de Respuesta	Emanuel de la Merced	San Cayetano	Colombina	Barrio Nuevo	La Trinidad	Estonia	Total
Escenario 3	6 Minutos	X	X	X	X	X		5
Generalizado	6 Minutos	X	X	X	X		X	5

Tabla 45: Comparación de resultados obtenidos para el escenario 3 y el escenario generalizado

La diferencia en la asignación de las instalaciones de bomberos se presenta por que en el escenario 3 la estación actual del cuerpo de bomberos se encuentra ubicada en el barrio la trinidad.

9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Por tratarse de un servicio público que es financiado por toda la población del municipio, se requiere que este sea equitativo, permitiendo que todos los habitantes de la ciudad en caso de requerir el servicio del cuerpo de bomberos puedan ser atendidos de manera oportuna sin importar el lugar de la emergencia.

Comparando bajo un tiempo máximo de respuesta de 6 minutos la situación actual en la que la ciudad cuenta con una única estación y el escenario 3 en el que se propone la apertura de 4 subestaciones considerando la estación actual, se evidencia que el modelo de localización propuesto en este trabajo contribuye a la mejora del servicio del cuerpo de bomberos, pues con el escenario 3 se logra un incremento del 36% en el número de barrios atendidos, pasando de 103 cubiertos, a la cobertura de los 140 barrios de la ciudad; además de lo anterior, se logra una reducción en el tiempo promedio de respuesta del 25%, contribuyendo a una atención más oportuna, por ende, a la reducción de pérdidas tanto humanas como materiales. En la ilustración 27 se muestra la comparación realizada entre el escenario 3 y la situación actual.

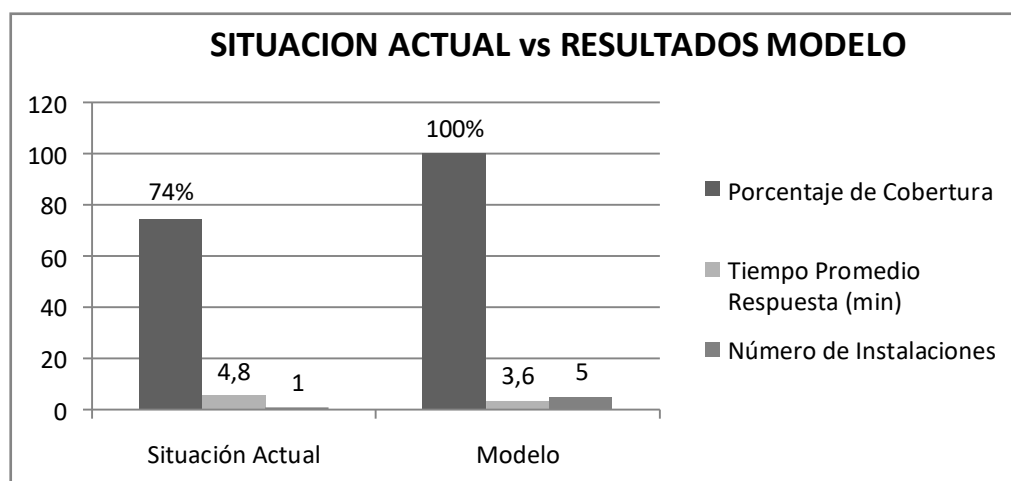


Ilustración 27: Comparación de la situación actual con los resultados del modelo de localización (Escenario 3). Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la situación actual, la relación estaciones-población es de 278.547 habitantes por estación, mientras que con los resultados proporcionados por el modelo en el que se localizan 4 subestaciones para brindar apoyo a la estación actual, esta relación sería de 55,709 habitantes por cada estación, mostrando una mejor distribución de los habitantes de la ciudad respecto a las instalaciones bomberiles y una reducción de la carga de la estación actual, que por ser la única en la ciudad se encuentra saturada, afectado el nivel de servicio. Además, comparada con tres ciudades principales de Colombia logra una mayor cobertura de los habitantes respecto al número de estaciones localizadas. Ver ilustración 28.

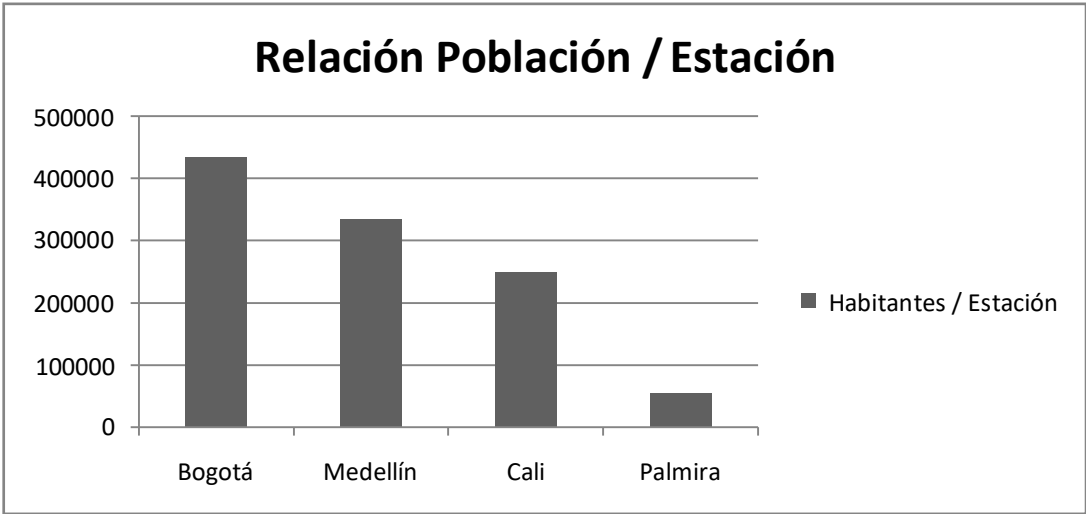


Ilustración 28: Relación población de habitantes por estación de bomberos. Fuente: Elaboración propia

Además de lo anterior, se observan los beneficios del modelo con la relación entre la superficie de la ciudad y el número de estaciones, pues la proporción Km² por estación del modelo, es menor que las tres ciudades referencia y la situación actual. Ver ilustración 29.

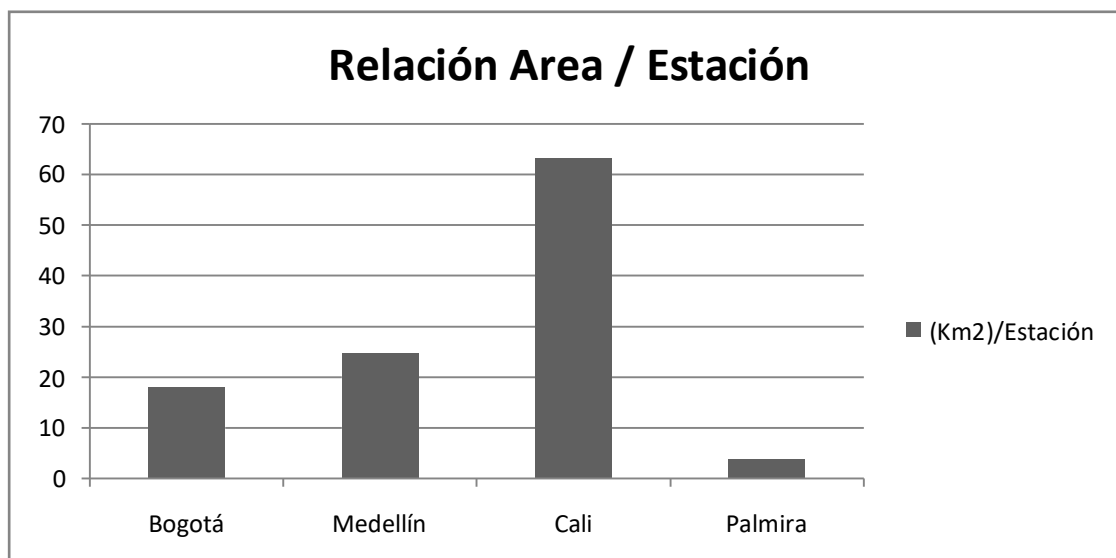


Ilustración 29: Relación Área de cobertura por estación. Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos con el modelo fueron divulgados al Benemérito cuerpo de Bomberos Voluntarios de la ciudad de Palmira como respuesta a uno de los objetivos planteados en este trabajo. Ver anexo L.

10. CONCLUSIONES

Con la finalización de este trabajo se puede concluir que:

- Las emergencias más atendidas por el cuerpo de bomberos voluntarios de la ciudad de Palmira durante los años 2008, 2009 y 2010 corresponden a las categorías de emergencias médicas y accidentes de tránsito con una participación de estas categorías respecto al total de emergencias atendidas en los tres años del 87,51%.
- Palmira cuenta con 12 zonas críticas primarias y 16 secundarias según las categorías de emergencia: Incendios, Accidentes de tránsito y Emergencias naturales las que se encuentran mayormente concentradas entre las comunas 6 y 7 de la ciudad.
- para apoyar el servicio de la estación actual del cuerpo de bomberos y lograr la atención de toda la zona urbana de la ciudad de Palmira es necesaria la apertura de 4 subestaciones, ubicadas en Emanuel de la Merced, San Cayetano, Colombina y Barrio Nuevo, que son los barrios más aptos para la localización de dichas subestaciones de acuerdo a la evaluación de los criterios cualitativos y cuantitativos del modelo de localización propuesto.
- El modelo de localización propuesto contribuye a la mejora del servicio del cuerpo de bomberos de la ciudad de Palmira, pues con la estación existente y la ubicación de las 4 subestaciones se logra un incremento del 36% en el número de barrios atendidos, pasando de 103 cubiertos, a la cobertura de los 140 barrios de la ciudad; además de permitir una reducción en el tiempo promedio de respuesta del 25%, proporcionando una atención más oportuna y por ende, una reducción de pérdidas tanto humanas como en bienes materiales.
- La integración del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) con un modelo de programación lineal proporcionó una respuesta real al problema de la localización de subestaciones de bomberos pues, permitió la cobertura de todos los barrios de la ciudad de manera equitativa considerando criterios relevantes de localización.

11. TRABAJOS FUTUROS

Cómo trabajos futuros se pueden considerar entre otros:

- Con base en los resultados del modelo propuesto, realizar la búsqueda de terrenos disponibles en los barrios que propone el modelo localizar subestaciones y realizar análisis de costos.
- Adicionar nuevas variables cuantitativas al modelo de programación lineal.
- Desarrollar un modelo en el que se determine la localización de subestaciones de bomberos de manera específica, considerando restricciones del tamaño del lote, accesibilidad y análisis de costos.

BIBLIOGRAFÍA

- ACEVES GARCIA, Ricardo. El problema de localización de servicios. En: Semana regional de Investigación y Docencia en Matemáticas (17: agosto, 2007: Departamento de Matemáticas, Universidad Sonora, México). Memorias. Mosaico Matemático No. 20, 2007.
- ALONSO A. y GARCIA J., Cartografía ambiental. Desarrollo y propuestas de sistematización. Observatorio Medio Ambiental, Vol.5, 2002. Pp. 47-48.
- ANDERSON, David; SWEENEY, D. and WILLIAMS, T., An Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making. WestPublishing Company, Minneapolis, 1994. pp. 390-392.
- AVILA MOGOLLON, Ruth Maritza. AHP (Proceso analítico jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras, Caso Brasil. FAO, Santiago de Chile, 2000.
- BADRI, Masood. Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location–allocation problem, Int. J. Product. Econ. 62, 1999. pp. 237–248.
- BADRI, Masood; MORTAGY, Amr and COLONEL, Ali Alsayed. A multi-objective model for locating fire stations. European Journal of Operational Research 110, 1998. pp. 243-260.
- BALLOU R., Logística Administración de la Cadena de Suministros, Capítulo 14: Proceso de planeación de la red, libro 5ta edición, 2004.
- BOSQUE SENDRA, Joaquín y MORENO JIMENEZ, Antonio. Localización-Asignación y justicia/equidad espacial con sistemas de información geográfica. Universidad de Alcalá de Henares y Universidad Autónoma de Madrid, España. s.f.
- BOSQUE SENDRA, Joaquín y RAMIREZ Liliana. Localización de hospitales: Analogías y diferencias del uso del modelo P-Mediano en SIG

raster y vectorial. Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid, No. 21, Madrid, España. pp. 53-79.

- CANÓS, María; MARTINEZ, Marisa y MOCHOLI, Manuel. Localización de centros de servicio en Kinshasa. Universidad de Valencia, Florida Universitaria y Universidad de Valencia. s.f.
- CÉSPEDES, S. M.; AMAYA, C. A. y VELASCO, N., Localización y relocalización de ambulancias del centro regulador de urgencias y emergencias de Bogotá. Universidad de los Andes, 2008.
- COBES, Anna y COMPANYYS, Ramón. Modelo de localización de servicios de extinción de incendios. QUESTIÓ, Vol. 15, 1991. pp. 199-210.
- COHON, J. L., Multiobjective Programming and Planning. Academic Press, New York, 1978.
- CURRENT, J.; MIN, H. and SCHILLING, D., Multiobjective analysis of facility location decisions. European Journal of Operational Research 49, 1990. pp. 295–307.
- DASKIN, M. S., Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications. Wiley Interscience, New York, 1995.
- DIAZ, J. y SANDOVAL, L., Algoritmo exacto para el problema de cobertura con restricciones de capacidad. Universidad de la Américas, Puebla-México. s.f.
- FIGUEROA, Daniel Sierra, Métodos cuantitativos para la toma de decisiones. Octubre 2002. pp. 10-11.
- HANDLER, G. y MIRCHANDANI, P. B., Location on Networks: Theory and Algorithms. MIT Press, Cambridge, 1979.
- Herbert S., The New Science of Management Decision. Harper and Row, New York, 1960.

- HOGG, J., The siting of fire stations. *Operational Research Quarterly* 19, 1968.
- HONGZHONG, Jia; ORDÓÑEZ, Fernando y DESSOUKY, Maged. A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies, febrero 2005.
- LIU, Nan; HUANG, Bo y CHANDRAMOULI, Magesh. Optimal siting of fire stations using GIS and ANT algorithm. 2006
- MAHMUD, Ahmad Rodzie INDRIASARID, Vini. Facility location models development to maximize total service area. University Putra Malaysia, Selangor, Malaysia. s.f.
- MARTINEZ, E., Apoyo a la selección de emplazamientos óptimos de edificios. Localización de un edificio universitario mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). *Informes de la Construcción*, Vol. 62, 2010. pp. 35-45.
- MARTÍNEZ, E. y ESCUDEY, M., Evaluación y Decisión Multicriterio. Reflexiones y Experiencias. Capítulo 1: Evaluación y Decisión Multicriterio: Una Perspectiva. Primera Edición en editorial Universidad de Santiago, 1998. pp. 9 -16.
- OSORIO GÓMEZ, Juan Carlos y OREJUELA CABRERA, Juan Pablo. El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio, ejemplo de aplicación. Universidad tecnológica de Pereira. Septiembre 2008.
- PEDERNERA, Patricio; JULIO, Guillermo y CASTILLO, Enrique. Modelo de optimización para el diseño de sistemas de torres de detección de incendios forestales. Laboratorio de incendios forestales, Universidad de Chile. s.f.
- PENAGOS, Andrés Felipe y ROSAS CASTRO, Paula Andrea. Propuesta de solución al problema de localización de centros de distribución basándose en la meta-heurística Grasp. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. Mayo 2009.

- PLANE, D. y HENDRICK, T., Mathematical programming and the location of fire companies for the Denver fire department. *OperationsResearch* 25, 1977.
- QUINTERO RICO, Andrés Felipe y VASQUEZ JARAMILLO, Marco Antonio. Uso del AHP combinado con un modelo de optimización determinística para la localización de instalaciones en Colombia. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial. Universidad del Valle, Colombia, 2008.
- RAMIREZ, Mirta Liliana. Empleo de modelos de localización incorporados en SIG para definir la ubicación optima de equipamientos hospitalarios. Departamento de Geografía, Facultad Humanidades. Universidad Nacional del Noroeste, Argentina, 2001.
- REVELLE, C. and EISELT, A., Location analysis: A synthesis and survey. *EuropeanJournal of OperationalResearch*, 2005. pp. 165 1-19.
- RUIZ HUETE, Pedro Francisco. Análisis de criticidad de los equipos de un hospital aplicando el método AHP. Escuela Universitaria Politécnica, Universidad de Sevilla, 2008.
- SAATY, Thomas. *TheAnalyticHierarchyProcess*. Editorial McGrawHill. 1980.
- SCHILLING, D., et al., Somemodelsfor fire protection locational decisions. *EuropeanJournal of OperationalResearch*, 1980.
- SCHREUDER, J., Application of a location model to fire stations in Rotterdam. *EuropeanJournal of OperationalResearch* 6, 1981. pp. 212.
- STUMMER, C., et al., Determining location and size of medical departments in a hospital network: a multiobjective decision support approach. *Health Care Manage. Sci.* 7, 2004. pp. 63–71.
- SZIDAROVSKY, F.; GERSHON, M. E. and DUCHSTEIN L., *Techniques for Multi-objective Decision Making in Systems Management*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1986.

- TOSKANO HURTADO, Gerard. El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores”. Tesis Digitales UNMSN, 2005.
- TUZKAYA, G., et al., An analytic network process approach for locating undesirable facilities: an example from Istanbul, Turkey, J. Environ. Manage. 88, 2008. pp.970–983.
- YANG Lili.; JONES, Bryan and YANG, Shuang. A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. European Journal of Operational Research 181, 2007. pp. 903–915.
- ZANJIRANI FARAHANI, Reza y STEADIE SEIFI, Maryam, Nasrin Asgar. Multiple criteria facility location problems: A survey, 2009.

ANEXOS

ANEXO A

ACUERDO 086 DEL 5 DE DICIEMBRE DE 2011

“Por el cual se señalan las tarifas, tasas, derechos, impuestos y contribuciones municipales que se aplicaran en el Municipio de Palmira para la vigencia fiscal del 2012”

5 DIC. 2011

ACUERDO No. 086

"POR EL CUAL SE SEÑALAN LAS TARIFAS, TASAS, DERECHOS, IMPUESTOS Y CONTRIBUCIONES MUNICIPALES QUE SE APLICARAN EN EL MUNICIPIO DE PALMIRA PARA LA VIGENCIA FISCAL DEL 2012".

EL CONCEJO DE PALMIRA, en uso de sus atribuciones legales y en especial las conferidas por los artículos 313 numeral 4º y 338 de la Constitución Nacional.

ACUERDA:

ARTICULO 1º.

Las Rentas que por Ley, Ordenanza y Acuerdo le corresponde aplicar al Municipio de Palmira para la vigencia fiscal del 2012, según el presente Acuerdo serán las siguientes:

CAPITULO I

IMPUESTOS

ARTICULO 2º.

IMPUESTO PREDIAL UNIFICADO

Este impuesto es un tributo Municipal que grava la propiedad o posesión de los bienes inmuebles existentes en la Jurisdicción Municipal.

El Contribuyente o responsable del impuesto es el Propietario y/o Poseedor del Bien Inmueble. La Base Gravable está constituida por el Avalúo Catastral determinado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Ley 55 Art. 61 Junio 18 de 1985. Decreto 1333/85. Art. 173 y SS.
Ley 44 de 1990 -Art. 4º. Decreto 2388 de 1991.

PARÁGRAFO PRIMERO: El Impuesto Predial Unificado para la zona urbana estratificada se liquidará así:

Estrato 1	3.0 x 1.000
Estrato 2	3.7 x 1.000
Estrato 3	5.5 x 1.000
Estrato 4	7.5 x 1.000
Estrato 5	8.5 x 1.000
Estrato 6	11.5 x 1.000

PARÁGRAFO SEGUNDO: Para la Vivienda Urbana no estratificada, el Impuesto Predial Unificado se liquidará de acuerdo a los siguientes rangos de Avalúo Catastral:

De	0	Hasta	610.88	uvr	3.5 x 1.000
Mayor que	610.88	Hasta	814.50	uvr	4.0 x 1.000
Mayor que	814.50	Hasta	1018.12	uvr	6.0 x 1.000
Mayor que	1018.12	Hasta	1221.75	uvr	9.0 x 1.000
Mayor que	1221.75	uvr	en adelante		14.0 x 1.000

CAPITULO II

INGRESOS CORRIENTES NO TRIBUTARIOS

DEFINICIÓN: Los Ingresos no Tributarios se originan por la prestación de un servicio público, la explotación de bienes o la participación en los beneficios que por efecto de vinculación de capital generan un determinado rendimiento por la explotación de bienes, minas o derivados y servicios.

ARTICULO 15º:

ESTAMPILLA PRO-UNIVALLE
Acuerdo No. 15 de diciembre 10 de 1990.

ARTICULO 16º:

ESTAMPILLA PROCULTURA

Modifíquese el Artículo 2 Numeral 1, Numeral 2 literales a, del Acuerdo 064 del 26 de agosto de 2010, el cual quedará así:

A) Los actos sobre los cuales es obligatorio el uso y cobro de la estampilla Pro cultura en el Municipio de Palmira, serán los que se determinan a continuación:

1. Sobre todos los contratos y adiciones si las hubiere, que celebren personas naturales y jurídicas, con el Municipio, las Entidades Descentralizadas del Orden Municipal, las empresas sociales del estado, las Empresas Industriales y Comerciales, las Sociedades de Economía Mixta y las Empresas por Acciones con participación municipal, pagarán el uno punto por ciento (1%) del valor del contrato por concepto de la estampilla Procultura.

2. Los actos y documentos sobre los cuales es obligatorio el uso y cobro de la estampilla serán los que se determinan a continuación:

A.

Trámite de Especies Venales definidos en el Acuerdo de tasas y tarifas vigente	2% del Valor Cobrado
Documentos de Especies Venales definidos en el Acuerdo de tasas y tarifas vigente	2% del Valor Cobrado

Modifíquese el artículo 4 del Acuerdo 064 de 2010 quedando de la siguiente manera:

PARÁGRAFO:

No pagaran estampilla Procultura, los contratos que suscriba el Municipio de Palmira con entidades de derecho público, con las comunidades indígenas, las Juntas de Acción Comunal, las Ligas Deportivas Municipales y Locales con Personería Jurídica reconocida por la entidad competente, y los contratos de empréstitos y las operaciones de crédito público, tampoco pagaran los contratos que no superen el monto de 50 salarios mínimos legales mensuales vigentes.

ARTICULO 17º:

SOBRETASA A LA GASOLINA MOTOR

La Sobretasa a la Gasolina Motor se liquidará en su modalidad de Corriente y/o Extra a la Tarifa del 15%. (Ley 488 de 1998)

ARTICULO 18°-

SOBRETASA DEL MEDIO AMBIENTE

Es la Sobretasa que se aplica sobre el Avalúo Catastral de los Inmuebles ubicados en la Jurisdicción del Municipio de Palmira, con destino a la protección del medio y los recursos naturales.

PARÁGRAFO:

Se liquidará conjuntamente dentro de los plazos señalados por el Municipio de Palmira para el pago del Impuesto Predial Unificado a razón del 1.5 x 1.000 (Art. 44 de la Ley 99 de 1993).

La C.V.C. durante los tres primeros meses de cada año, hará devolución o reembolso total o parcial según el caso, de las cuantías consignadas por concepto de sobretasa ambiental y que no hayan sido ejecutadas como proyectos ambientales durante la vigencia inmediatamente anterior. Este cruce de cuentas será requisito para efectuar la primera consignación correspondiente al primer trimestre de la vigencia presente.

ARTICULO 19°:

SOBRETASA BOMBERIL

Equivale al 5% del Impuesto Predial Unificado que determine la Administración Municipal para cada predio de su jurisdicción.

ARTICULO 20°:

TASA CONTRIBUTIVA DE ESTRATIFICACIÓN: será pagada por las empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios, de acuerdo al costo que determine la Administración Municipal, en aplicación a la Ley 505 de 1999.

OTROS INGRESOS NO TRIBUTARIOS

ARTICULO 21°:

FONDO ROTATORIO DE GOBIERNO

Los recursos del fondo rotatorio de gobierno están constituidos por los siguientes cobros:

- 1 Los Permisos para Bailes y Espectáculos Públicos en la Jurisdicción del Municipio de Palmira, expedida por la Coordinación de Apoyo al Consumidor y Control al Espacio Público, sin perjuicio del pago del Impuesto del Espectáculo Público 0.70 UVT
- 2 Los Permisos expedidos por la oficina de protección al Consumidor y Control al Espacio Público, para instalar Pasacalles y Pendones tendrá un costo de 3.64 UVT hasta por quince (15) días y hasta diez (10) pendones. De once (11) en adelante se cobrará una tarifa de 3.64 UVT Por cada pasacalle o pendón adicional instalado.

La Administración Municipal determinará las vías sobre las cuales no debe permitir la actividad aquí prevista.

La oficina de Protección al consumidor y Control al Espacio Público, sancionará el incumplimiento del anterior literal con 1.4 UVT por cada día o fracción.

- 3 Los Permisos o Conduces que expida la Inspección Urbana, para el Transporte de Trasteos fuera de la Ciudad, se cobrará a razón de 0.70 UVT por Vehículo

ANEXO B

ESTADO DEL ARTE

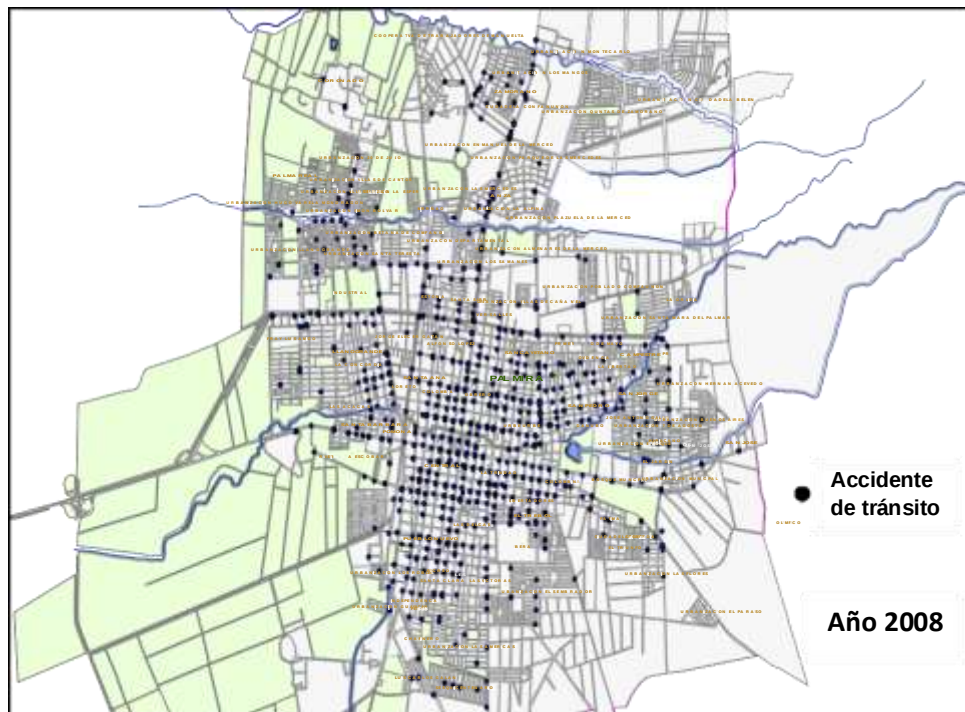
NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR	METODO UTILIZADO	CRITERIOS	FUNCIÓN OBJETIVO	% COBERTURA INICIAL	% COBERTURA MODELO
Algoritmo exacto para el problema de cobertura con restricciones de capacidad	J. Díaz, L. Sandoval Departamento de Ingeniería Industrial y Mecánica Universidad de las Américas, Puebla San Andrés Cholula, Puebla.	Algoritmo de ramificación y acotamiento para resolver el problema de cobertura con restricciones de capacidad	Cada cliente debe ser cubierto por exactamente una instalación. Capacidad de atención de las instalaciones. Restricción para no asignar clientes a una instalación cerrada	Minimizar número de instalaciones a abrir.	N.E	N.E
Modelo de optimización para el diseño de sistemas de torres de detección de incendios forestales	Patricio Pedemera, Guillermo Julio, Enrique Castillo	Programación Lineal. Problema de máxima cobertura	Cobertura del servicio. Visibilidad	Minimizar el número de instalaciones a localizar	Actualmente cuenta con 32 puntos de control	51,40%
Localización y relocalización de ambulancias del CRUE Bogotá. 2008	Sergio Céspedes y Velasco Andrés	Metaheurística Búsqueda Tabú	Cobertura, Tiempo de Respuesta, Colas	Máximizara la población cubierta al menos dos veces, obtener el mayor número de personas que se encuentren al alcance de una ambulancia dentro de un rango de tiempo de respuesta rápida, para lograr un servicio ágil y eficiente	Tiempo de respuesta 26,65 min	8,49 min promedio, 3,94 % del óptimo, 29,527 puntos de demanda cubiertos
El Problema de localización de servicios. 2007	Ricardo Aceves García	Análisis problema de localización de servicios	N.E	N.E	N.E	N.E

N.E

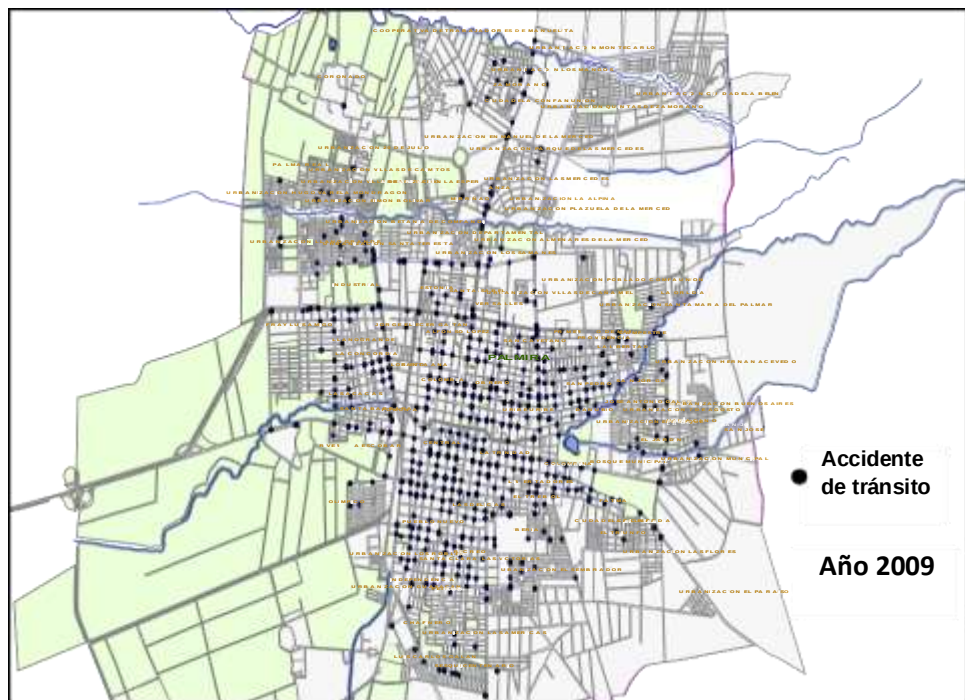
No Especificado

ANEXO C

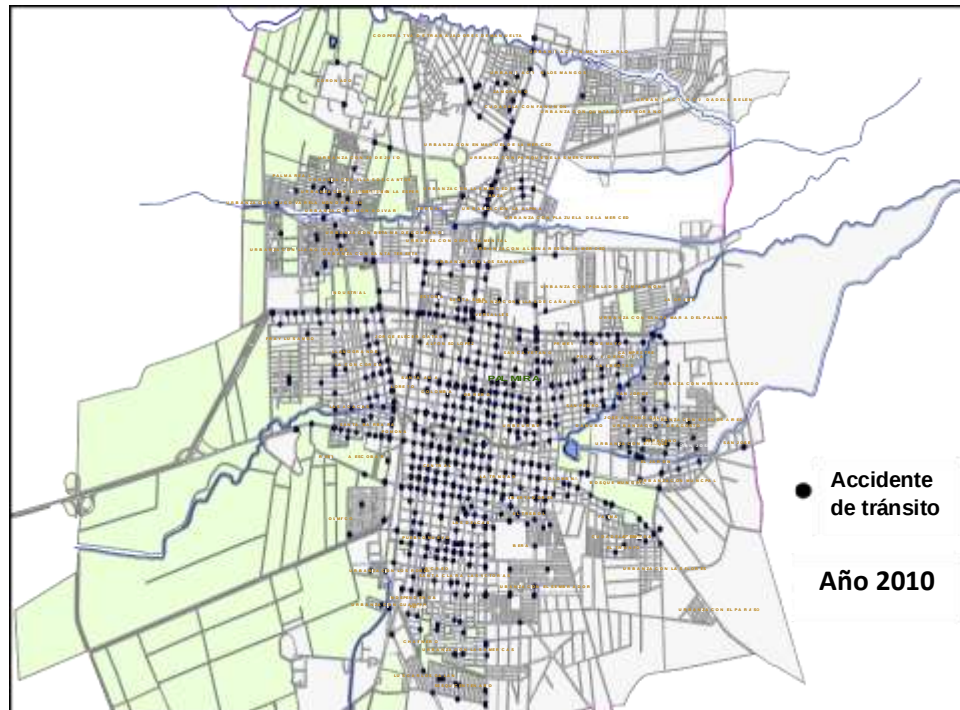
MAPAS ANALITICOS CON LA GEOREFERENCIACIÓN DE LAS EMERGENCIAS
ATENDIDAS POR EL CUERPO DE BOMBEROS EN EL ÁREA URBANA DEL
MUNICIPIO DE PALMIRA



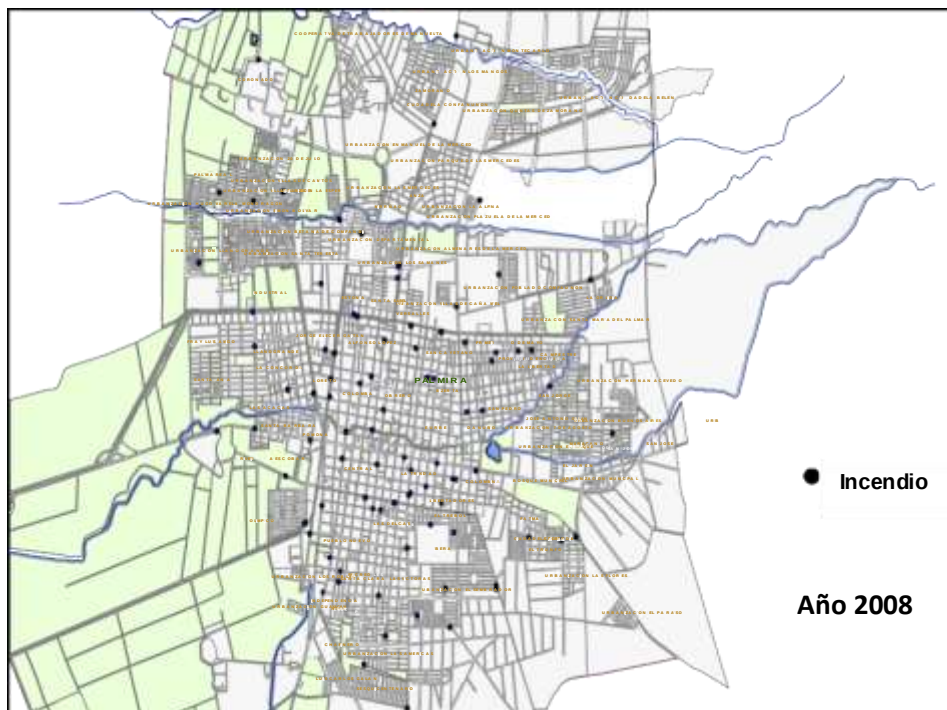
Anexo C.1 Accidentes de tránsito atendidos durante el año 2008, área urbana



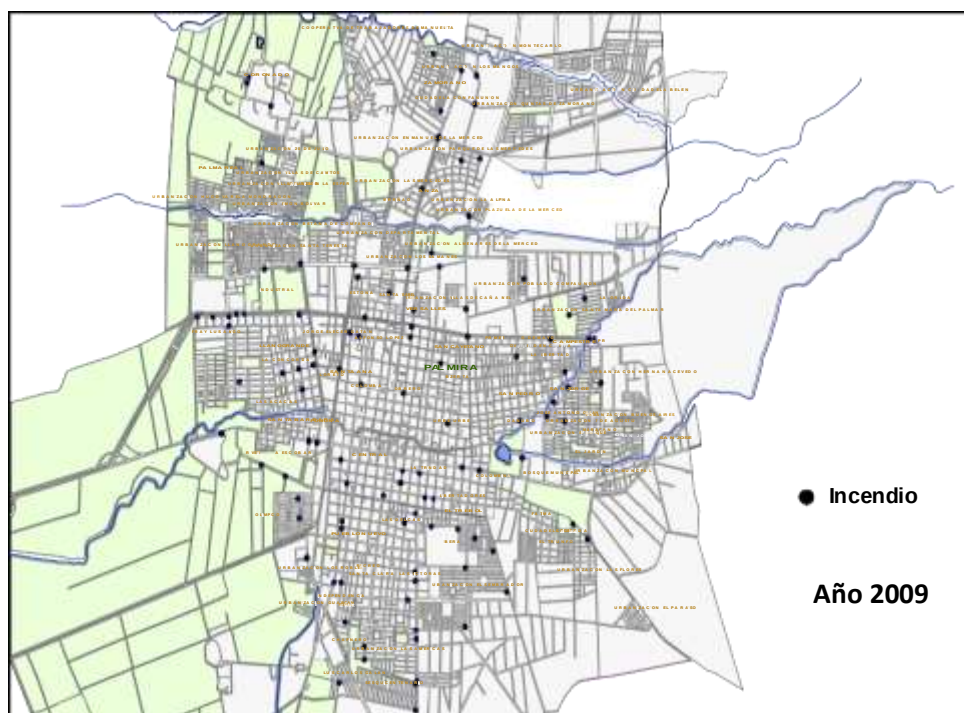
Anexo C.2 Accidentes de tránsito atendidos durante el año 2009, área urbana



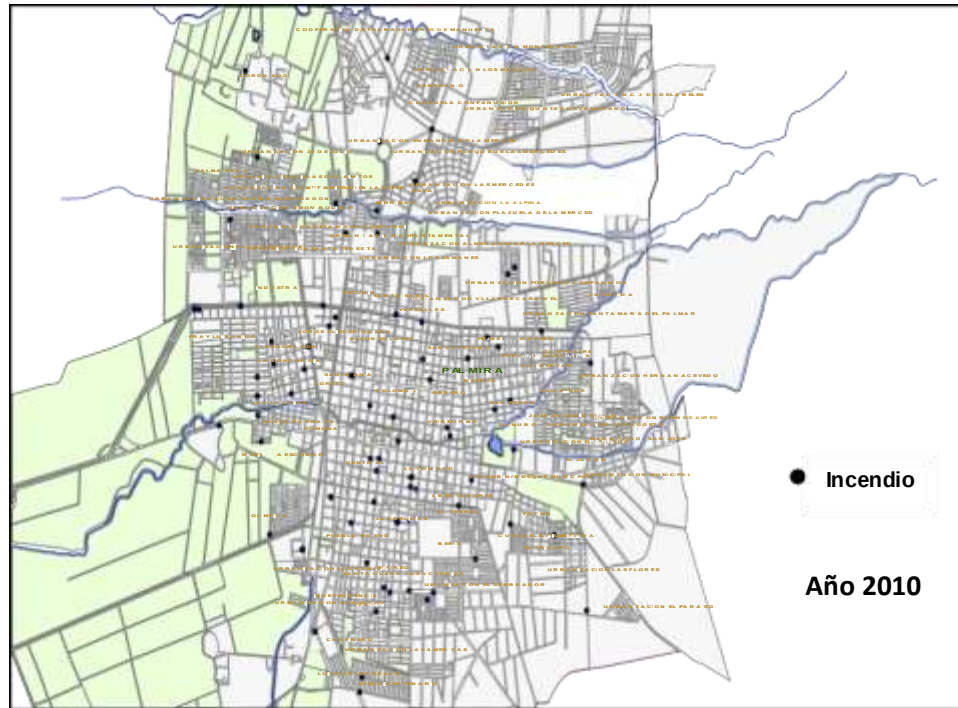
Anexo C.3 Accidentes de tránsito atendidos durante el año 2010, área urbana



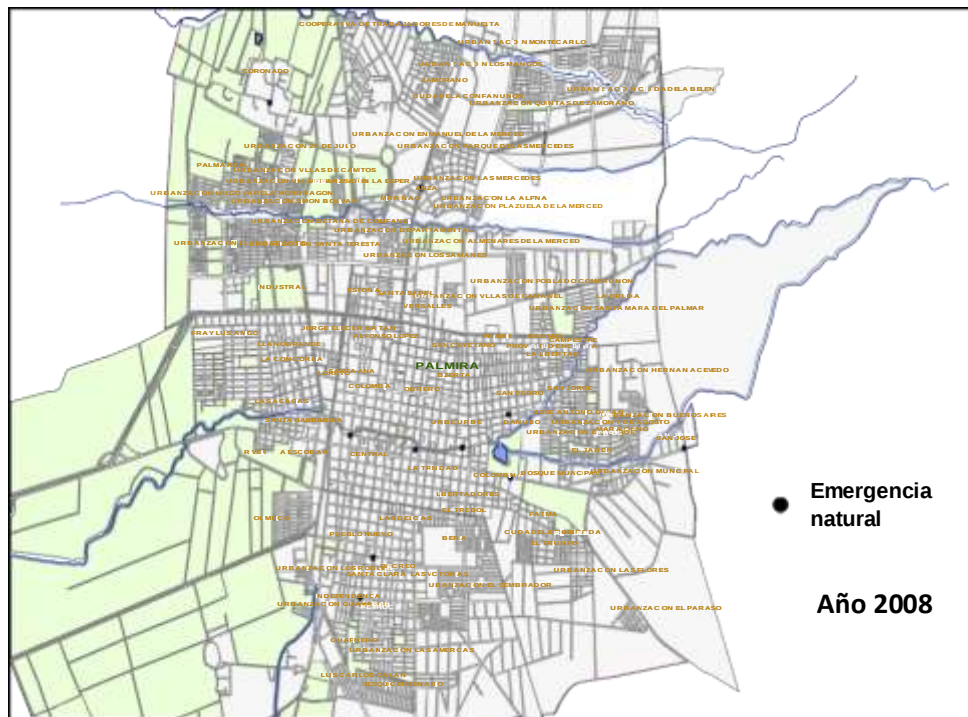
Anexo C.4 Incendios atendidos durante el año 2008, área urbana



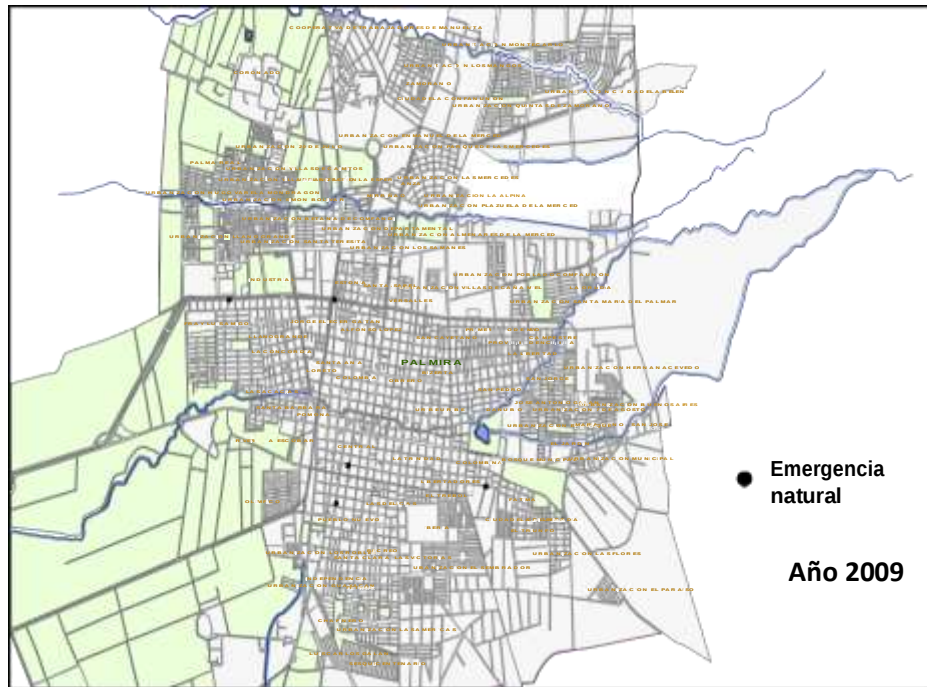
Anexo C.5 Incendios atendidos durante el año 2009



Anexo C.6 Incendios atendidos durante el año 2010



Anexo C.7 Emergencias Naturales durante el año 2008, área urbana



Anexo C.8 Emergencias Naturales atendidas durante el año 2009, área urbana

F 558 11
Palmira, 02 de noviembre de 2011

Srta.
DANIELA GARCIA RENDON
Sr.
JHON FREDDY SERRANO Q

Cordial saludo,

El Observatorio de Seguridad, Convivencia y Cultura Ciudadana de Palmira, liderado por la Alcaldía Municipal, la Cámara de Comercio de Palmira, La Fundación Progresamos, y el Comité Cívico Intergremial, se permite remitirle los mapas gerreferenciados y los reportes solicitados de:

1. Accidentalidad 2008, uno para accidentalidad 2009 y otro para accidentalidad 2010
2. Un mapa para incendios 2008, uno para incendios 2009 y otro para incendios 2010
3. Un mapa para agresión física 2008, uno para agresión física 2009 y otro para agresión física 2010
4. Un mapa para emergencias naturales 2008, uno para emergencias naturales 2009

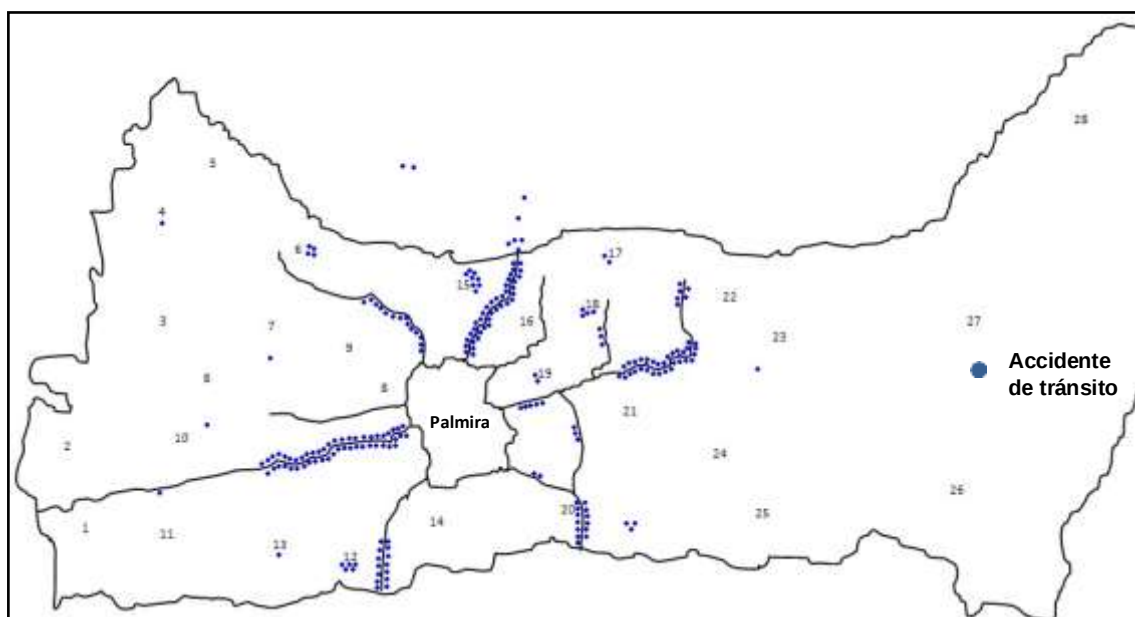
Cordialmente,



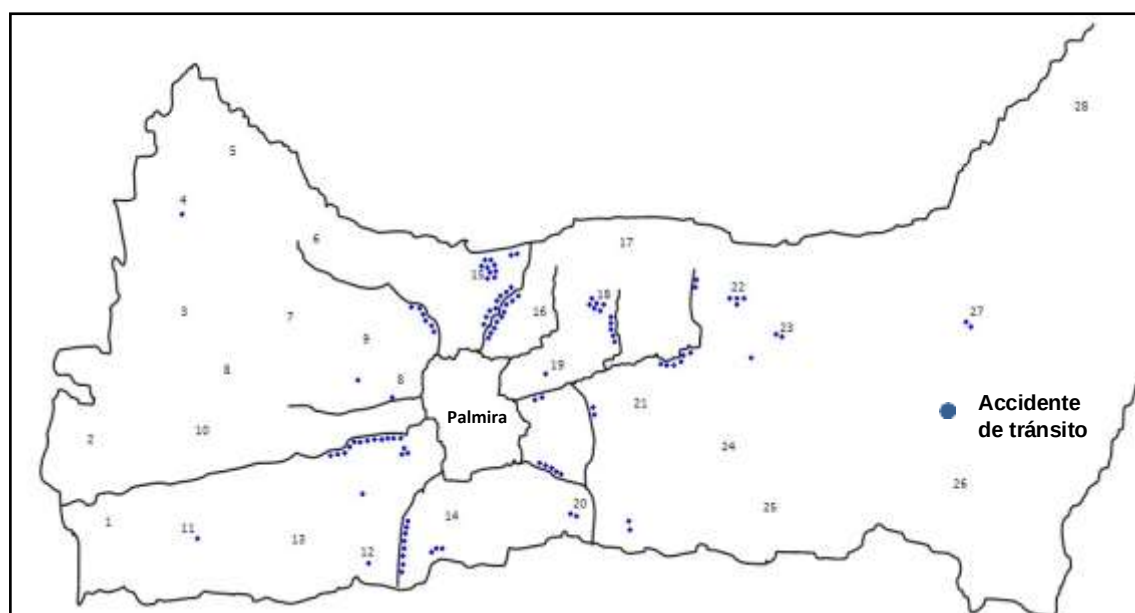
ANDRES FELIPE BETANCOURT S.
Coordinador
Observatorio de Seguridad, Convivencia y Cultura Ciudadana

ANEXO D

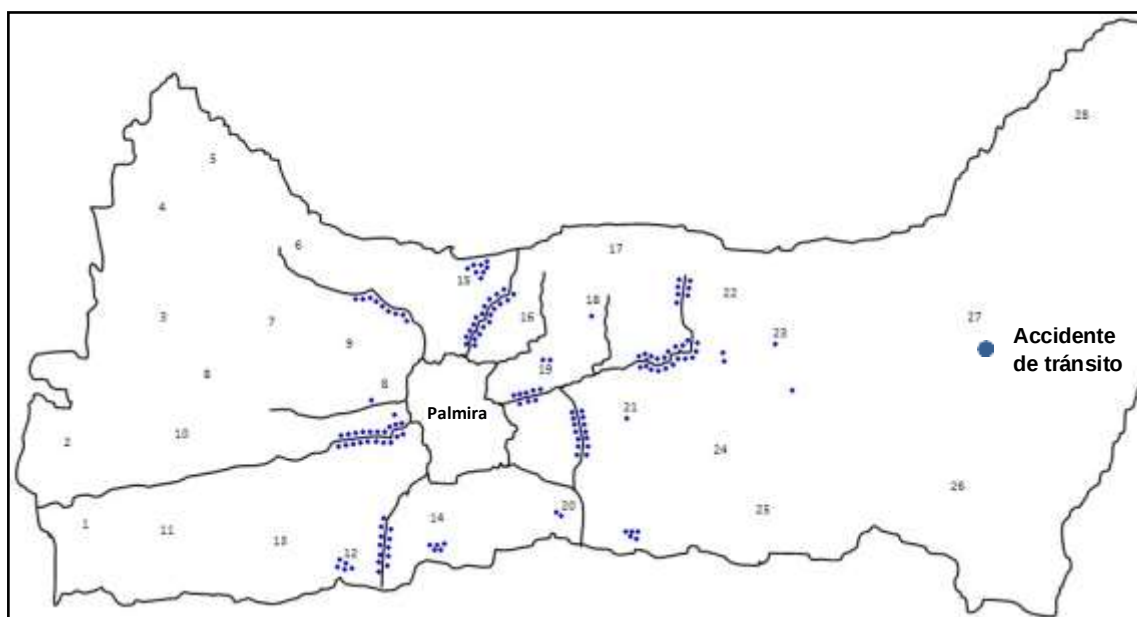
MAPAS ANALITICOS CON LA GEOREFERENCIACIÓN DE LAS EMERGENCIAS
ATENDIDAS POR EL CUERPO DE BOMBEROS EN EL ÁREA RURAL DEL
MUNICIPIO DE PALMIRA



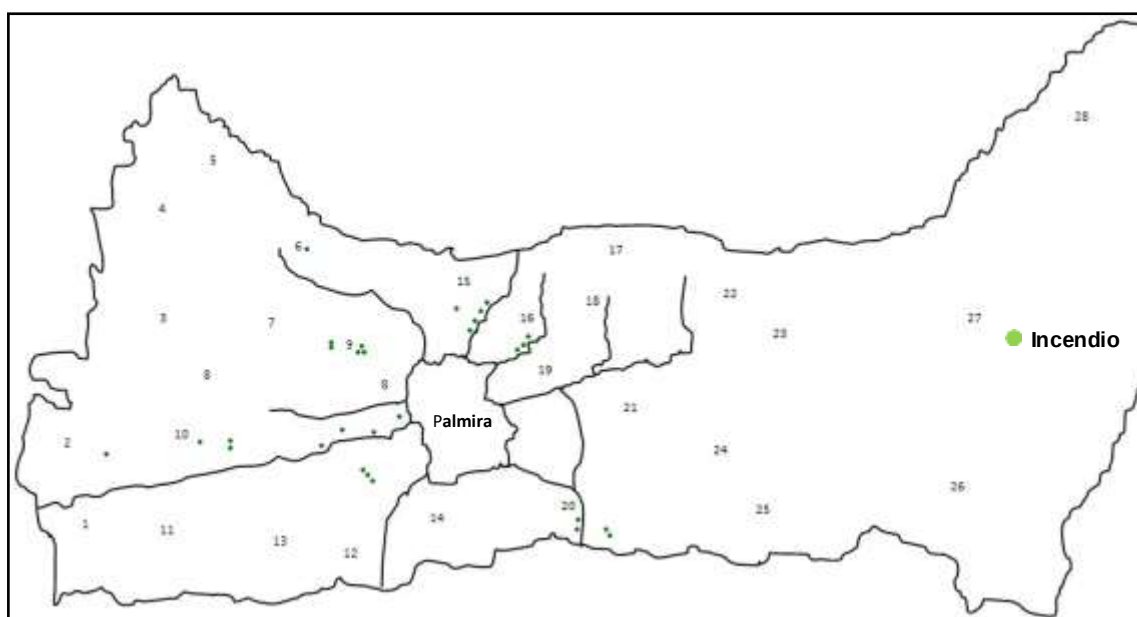
Anexo D.1 Accidentes de Tránsito atendidos por el Cuerpo de Bomberos en el año 2008, área rural



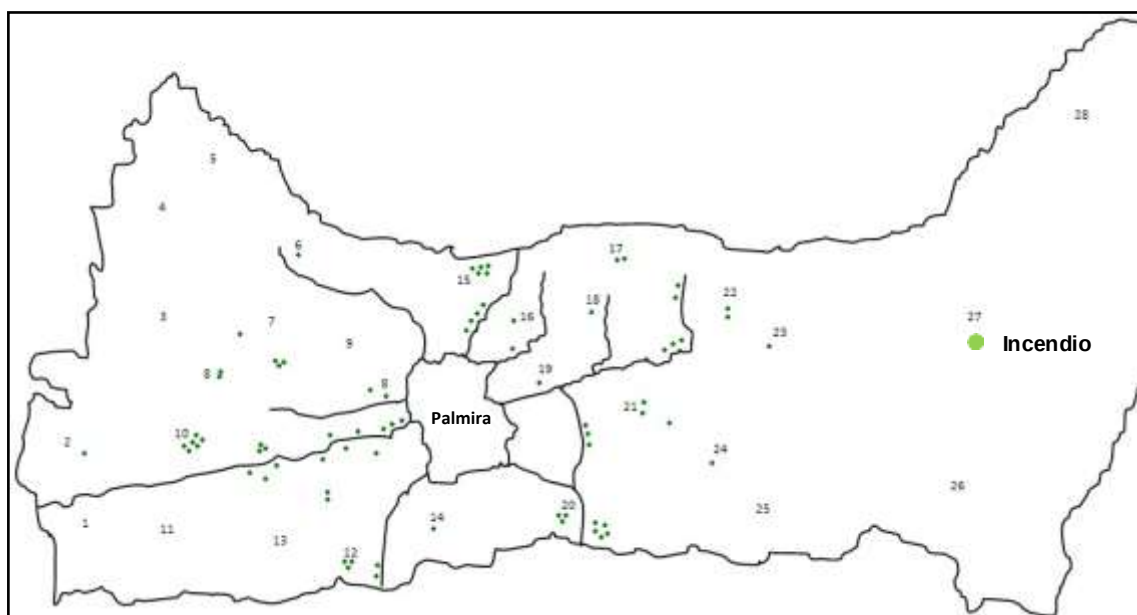
Anexo D.2 Accidentes de Tránsito atendidos por el Cuerpo de Bomberos en el año 2009, área rural



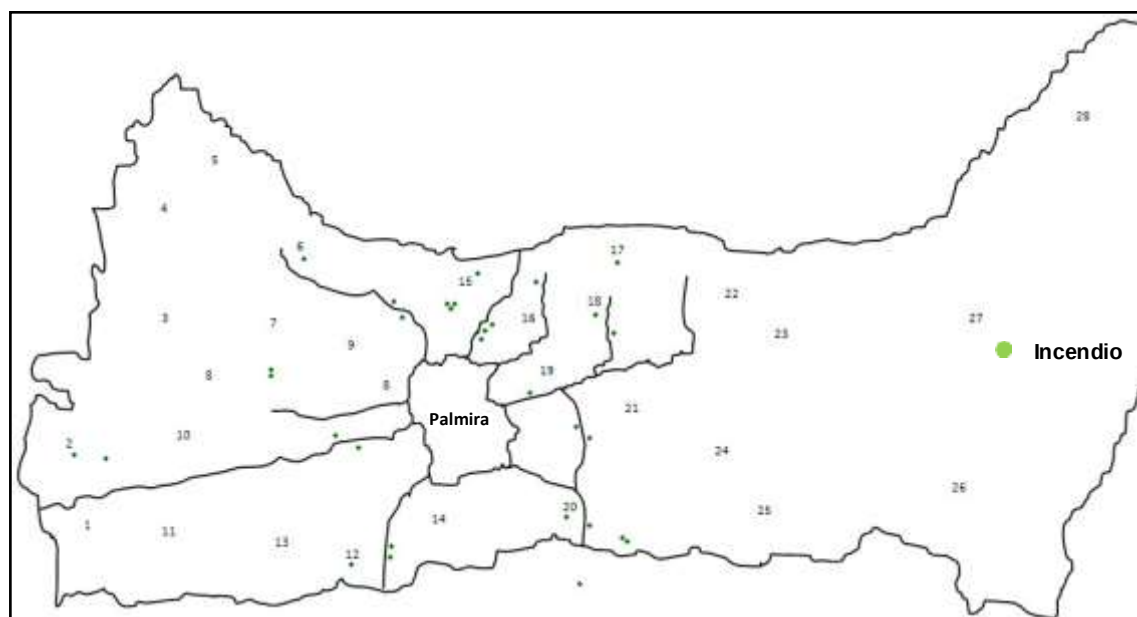
Anexo D.3 Accidentes de Tránsito atendidos por el Cuerpo de Bomberos en el año 2010, área rural



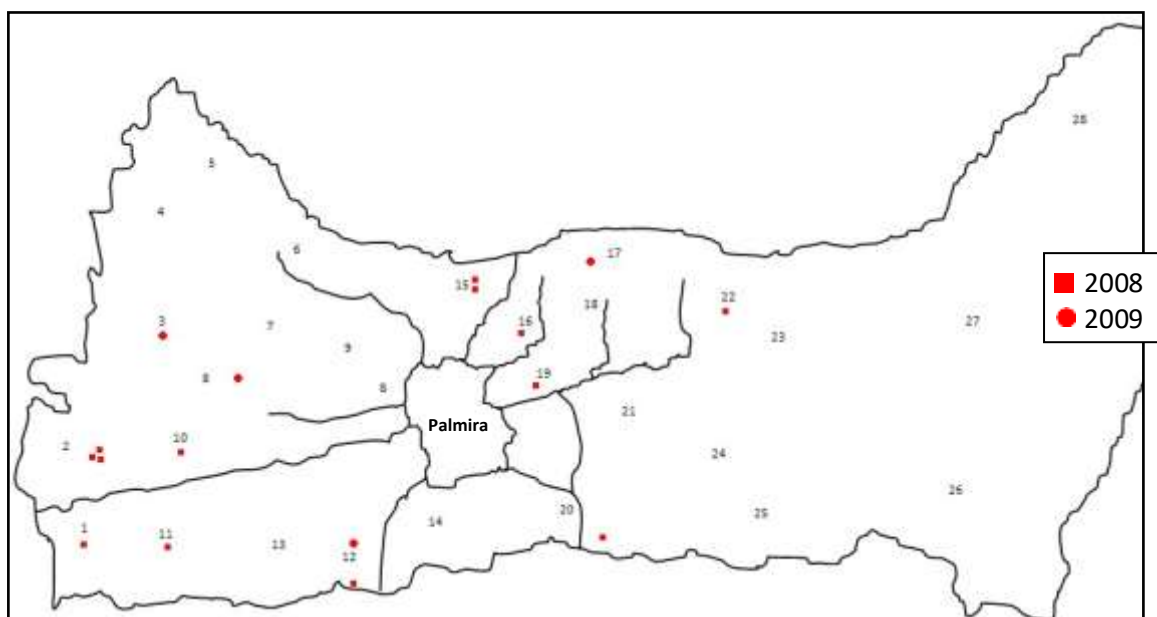
Anexo D.4 Incendios atendidos por el Cuerpo de Bomberos en el año 2008, área rural



Anexo D.5 Incendios atendidos por el Cuerpo de Bomberos en el año 2009, área rural



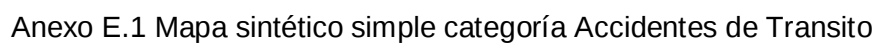
Anexo D.6 Incendios atendidos por el Cuerpo de Bomberos en el año 2010, área rural



Anexo D.7 Emergencias Naturales atendidas por el Cuerpo de bomberos 2009 – 2010, área rural

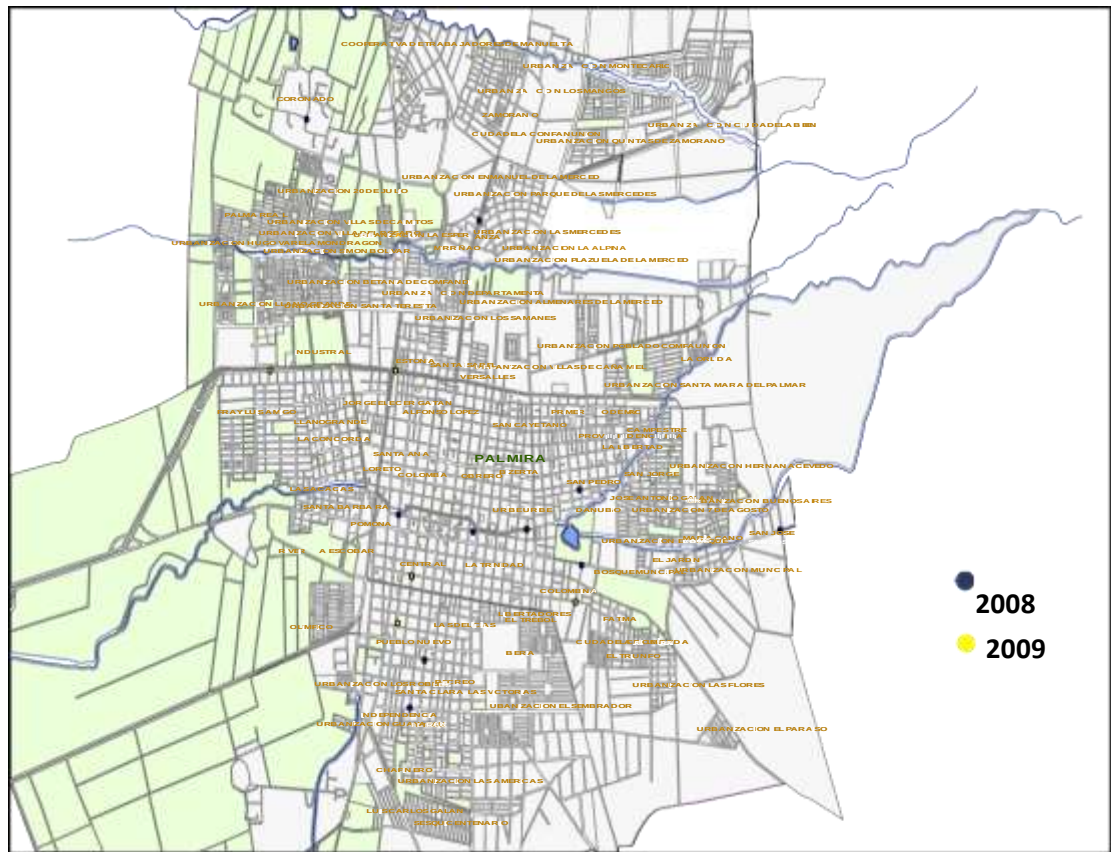
ANEXO E

MAPAS SINTETICOS SIMPLES PARA LAS EMERGENCIAS ATENDIDAS EN EL
ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE PALMIRA





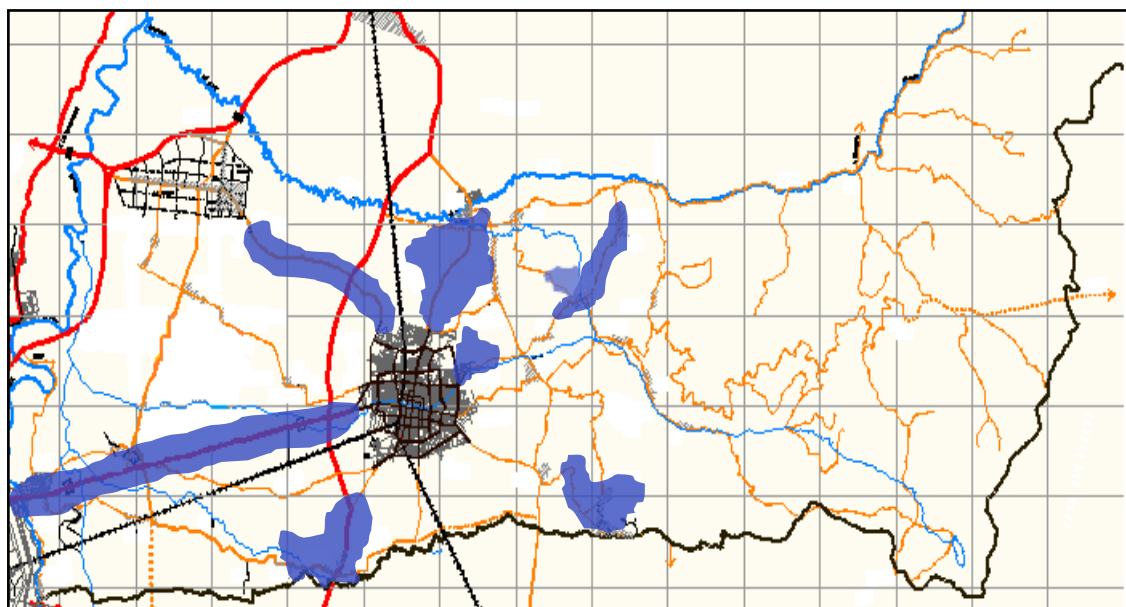
Anexo E.2 Mapa sintético simple categoría Incendios



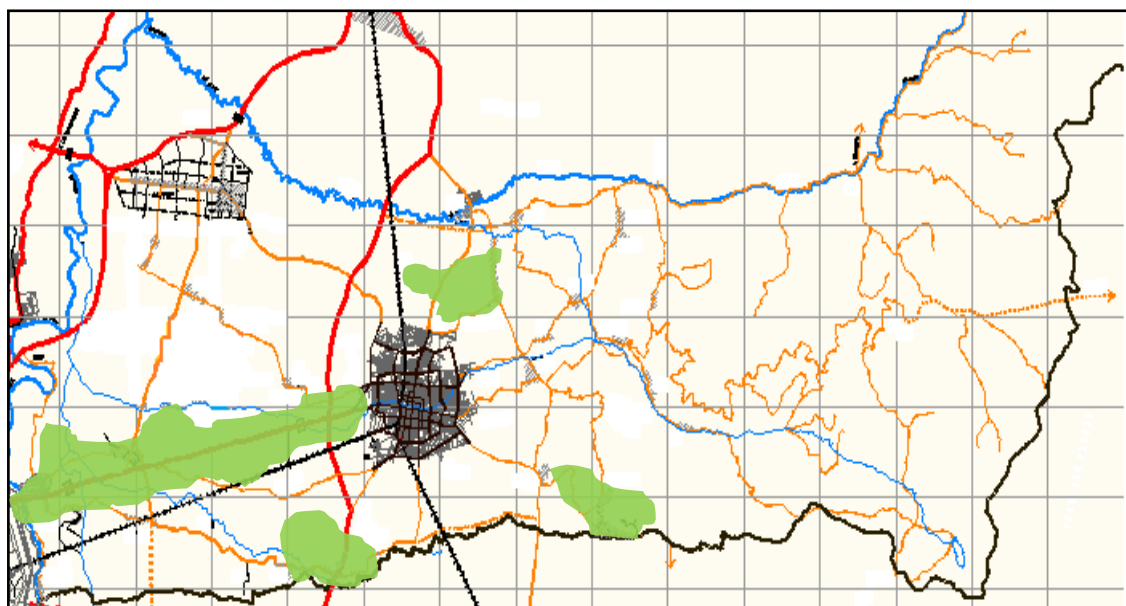
Anexo E.3 Mapa sintético simple categoría Emergencias Naturales

ANEXO F

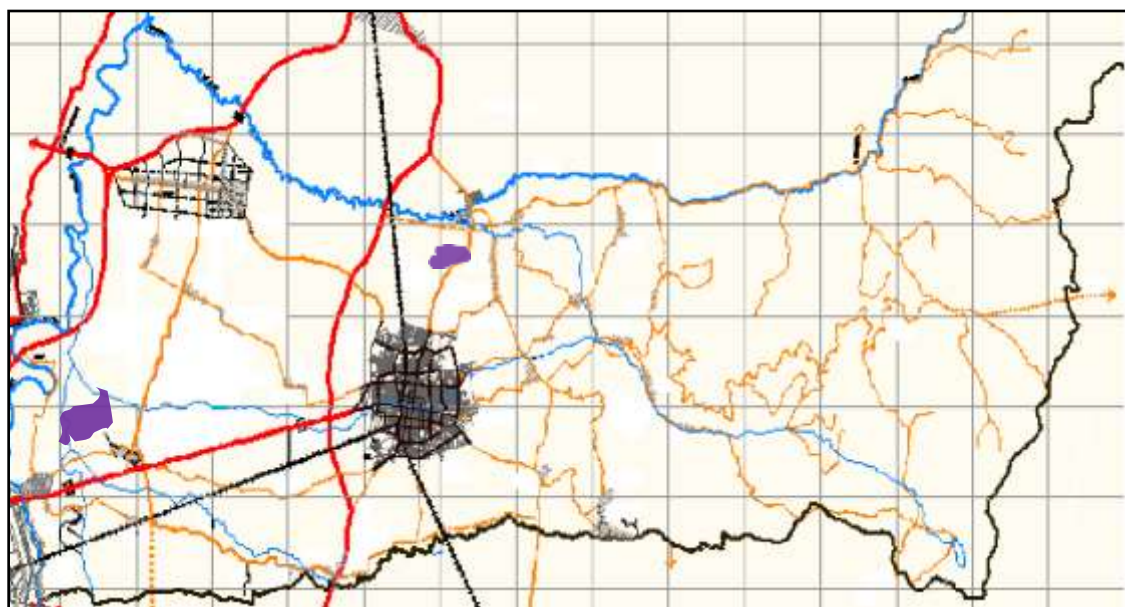
MAPAS SINTETICOS SIMPLES PARA LAS EMERGENCIAS ATENDIDAS EN EL
ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE PALMIRA



Anexo F.1 Mapa sintético simple categoría Accidentes de tránsito



Anexo F.2 Mapa sintético simple categoría Incendios



Anexo F.3 Mapa sintético simple categoría Emergencias Naturales

ANEXO G

**USOS DEL SUELO POR GRUPOS EN AREAS DE ACTIVIDAD EN LA ZONA
URBANA DEL MUNICIPIO DE PALMIRA**

ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN			
BARRIO	COMUNA	BARRIO	COMUNA
1. Coronado	1	19. San Cayetano	4
2. Zamorano		20. Santa Rita	
3. Emanuel de la Merced		21. Alfonso López	
4. Urbanización Llano Grande	2	22. Colombia	
5. Barrio Industrial		23. Obrero	5
6. Urbanización Portal de las Palmas		24. Barrio Campestre	
7. Estonia		25. Central	6
8. Departamental		26. Fátima	
9. Berlín		27. Colombina	
10. Santa Isabel		28. Caicelandia	7
11. Versalles		29. Barrio nuevo	
12. Poblado de Comfaunión		30. Los robles	
13. U. Santa María del Palmar		31. Luis Carlos Galán	
14. Prado	3	32. Las Victorias	
15. Fray Luis Amigó		33. Sembrador	
16. Alicanto		34. Recreo	
17. Rivera escobar			
18. Olímpico			

Anexo G.2 Alternativas de localización según lineamientos del POT

ANEXO H

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN RESPECTO AL
CRITERIO FUERA DE ZONA DE RIESGOS NATURALES

COMUNA	BARRIO	TIPO DE RIESGO		
		SISMO	INUNDACIÓN	LICUACION DEL SUELO
1	1. Coronado	ALTO	BAJO	ALTO
	2. Zamorano	MEDIO	BAJO	BAJO
	3. Emanuel de la Merced	MEDIO	BAJO	BAJO
2	4. Urbanización Llano Grande	ALTO	BAJO	BAJO
	5. Barrio Industrial	ALTO	BAJO	BAJO
	6. Urbanización Portal de las Palmas	ALTO	BAJO	BAJO
	7. Estonia	MEDIO	BAJO	BAJO
	8. Departamental	ALTO	BAJO	BAJO
	9. Berlín	MEDIO	BAJO	BAJO
	10. Santa Isabel	MEDIO	BAJO	BAJO
	11. Versalles	ALTO	BAJO	BAJO
	12. Poblado de Comfaunión	ALTO	BAJO	BAJO
3	13. U. Santa María del Palmar	ALTO	BAJO	BAJO
	14. Prado	ALTO	MEDIO	BAJO
	15. Fray Luis Amigó	ALTO	BAJO	BAJO
	16. Alicanto	ALTO	BAJO	BAJO
	17. Rivera escobar	MEDIO	BAJO	BAJO
4	18. Olímpico	MEDIO	BAJO	BAJO
	19. San Cayetano	MEDIO	MEDIO	BAJO
	20. Santa Rita	MEDIO	BAJO	BAJO
	21. Alfonso López	MEDIO	BAJO	BAJO
	22. Colombia	MEDIO	BAJO	BAJO
5	23. Obrero	MEDIO	BAJO	BAJO
	24. Barrio Campestre	ALTO	ALTO	ALTO
6	25. Central	ALTO	ALTO	BAJO
	26. Fátima	ALTO	BAJO	BAJO
	27. Colombina	MEDIO	BAJO	BAJO
	28. Caicelandia	ALTO	BAJO	BAJO
7	29. Barrio nuevo	MEDIO	BAJO	MEDIO
	30. Los robles	ALTO	BAJO	BAJO
	31. Luis Carlos Galán	ALTO	MEDIO	MEDIO
	32. Las Victorias	ALTO	ALTO	BAJO
	33. Sembrador	ALTO	MEDIO	MEDIO
	34. Recreo	ALTO	BAJO	MEDIO

Anexo H.1 Evaluación realizada por expertos del Comité Local de Prevención y Atención de Desastres (Clopad) del municipio.

 ALCALDÍA DE PALMIRA (V) NIT: 891.380.007-3	SECRETARÍA DE GOBIERNO, SEGURIDAD Y CONVIVENCIA	CÓDIGO: FO-GCP-100
	PROCESO: GESTIÓN DE GOBIERNO, CONVIVENCIA Y PARTICIPACIÓN	VERSIÓN: 1.0
	SUBPROCESO: PREVENCIÓN, ATENCIÓN, EMERGENCIAS Y DESASTRES	FECHA: 09-01-2011
	OFICIO	TRD:

**EL SUSCRITO COORDINADOR DE LA OFICINA DE PREVENCIÓN Y
ATENCIÓN DE DESASTRES DEL MUNICIPIO DE PALMIRA**

A PETICIÓN DE LOS INTERESADOS

HACE CONSTAR:

Que los jóvenes **DANIELA GARCIA RENDON Y JHON FREDDY SERRANO QUEGUAN**, Estudiantes de la Universidad del Valle en el programa de INGENIERIA INDUSTRIAL, dentro de su trabajo de tesis "**PROPUESTA DE UN MODELO PARA LOCALIZAR LA SUB ESTACION DE BOMBEROS EN LA CIUDAD DE PALMIRA**".

Que los jóvenes en mención durante el proceso de tesis, varias veces visitaron la oficina del CLOPAD para documentarse y apoyarse en temas inherentes a la tesis

Lo anterior para fines pertinentes

Para constancia de lo anterior se firma a los tres (03) días de Enero de 2012

Atentamente,

FABIO L. MARQUEZ NAVARRO
Coordinador Clopád



**MUNICIPIO DE
PALMIRA**

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

Nº DE RADICACIÓN:

FECHA DE RADICACIÓN: (DD / MM / AAAA)

PÁGINA 1/2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN - SUBESTACION DE BOMBEROS

COMUNA 1 **BARRIO** EMANUEL DE LA MERCED

DIRECCIÓN CALLE 32 CON DIAGONAL 65 **FICHA CATASTRAL**

PROPIETARIO **CÉDULA o NIT**

TELÉFONO **CIUDAD**

ARCHIVO INFORME ALER3_SUBESTACION_BOMBEROS.IIS

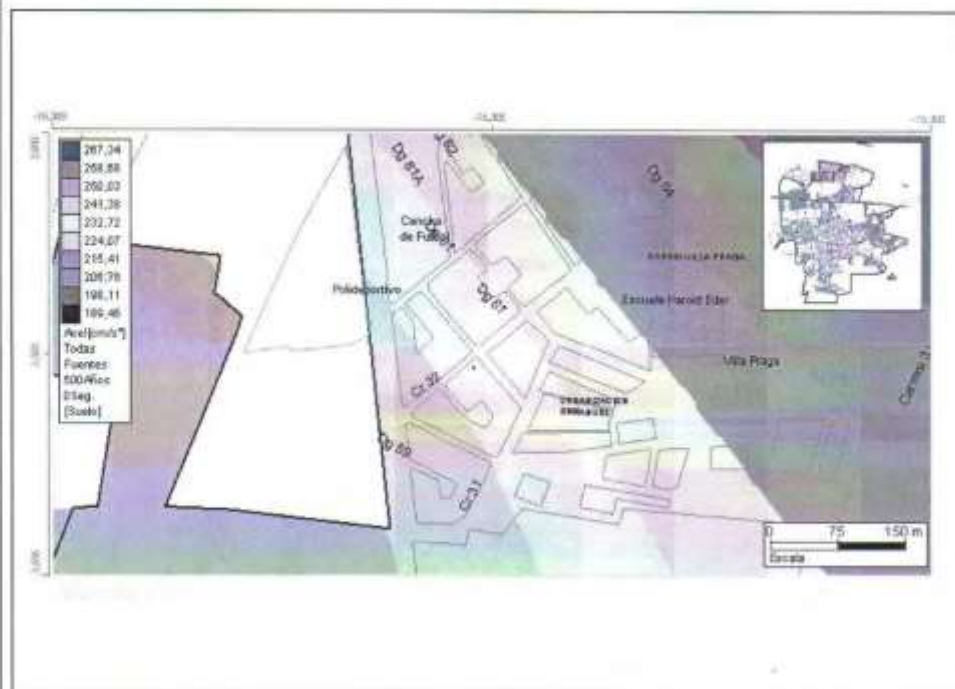
2. MAPA DE UBICACIÓN

PUNTO DE ANÁLISIS

COORDENADAS LIMITES DE VISUALIZACIÓN

LONGITUD ("W): -76,3051 **LONGITUD ("W):** -76,3093 -76,3005

LATITUD ("N): 3,5579 **LATITUD ("N):** 3,5558 3,5602





**MUNICIPIO DE
PALMIRA**

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

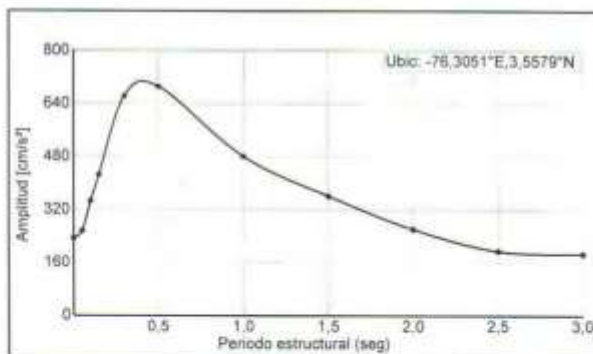
Nº DE RADICACIÓN:
FECHA DE RADICACIÓN: (DD/MM/AAAA)

PÁGINA 2/2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

3. ESPECTRO DE DISEÑO

GEOLOGÍA	SUELO	INTENSIDAD	ACELERACIÓN ESPECTRAL
PERIODO DE RETORNO	475 AÑOS	AMORTIGUAMIENTO	5% DEL CRÍTICO
ESCENARIO SÍSMICO	TODAS LAS FUENTES		



PERIODO (seg)	ACELERACIÓN (cm/s²)
0,00	233
0,05	249
0,10	326
0,15	403
0,30	634
0,50	676
1,00	420
1,50	328
2,00	203
2,50	186
3,00	176

4. FIRMA DEL PROFESIONAL RESPONSABLE

NOMBRE	CÉDULA
--------	--------

FIRMA: _____ FECHA: DD/MM/AAAA

MATRÍCULA PROFESIONAL: _____
Palmira, Tuluay Gage

BAJO LA GRAVEDAD DE JURAMENTO CERTIFICO QUE LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO CORRESPONDE AL RESULTADO INALTERADO DEL SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE PALMIRA (SISValle) Y QUE NO HE MODIFICADO EN NINGUNA FORMA DICHO RESULTADO

ESPACIO RESERVADO PARA USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

ENCARGADO	CÉDULA
-----------	--------

FIRMA: _____

OBSERVACIONES

SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA PALMIRA

SISValle V1.1



**MUNICIPIO DE
PALMIRA**

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURIA URBANA

Nº DE RADICACIÓN

FECHA DE RADICACIÓN (DD/MM/AAAA)

PÁGINA 1/2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN - SUBESTACIÓN DE BOMBEROS

COMUNA 4 BARRIO SAN CAYETANO

DIRECCIÓN CALLE 40 CON KRA 22 FICHA CATASTRAL

PROPIETARIO CEDULA o NIT

TELÉFONO CIUDAD PALMIRA

ARCHIVO INFORME ALER19_SUBESTACION_BOMBEROS.IIS

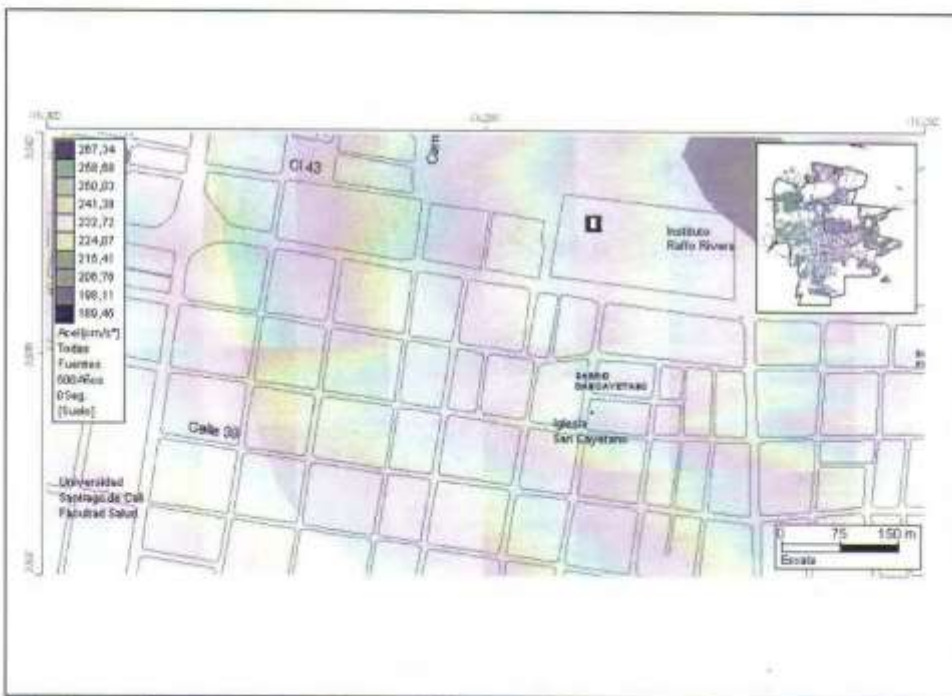
2. MAPA DE UBICACIÓN

PUNTO DE ANÁLISIS

COORDENADAS LIMITES DE VISUALIZACIÓN

LONGITUD (°W): -76,2958 LONGITUD (°W): -76,3022 -76,2919

LATITUD (°N): 3,5387 LATITUD (°N): 3,5368 3,5420



SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA PALMIRA

SISValle V1.1



MUNICIPIO DE
PALMIRA

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

Nº DE RADICACIÓN:

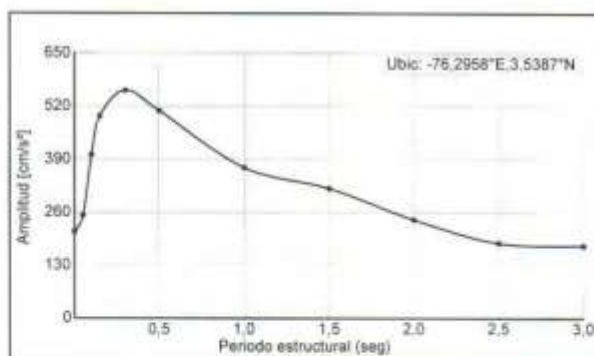
FECHA DE RADICACIÓN: (DD - MM - AAAA)

PÁGINA 2 / 2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

3. ESPECTRO DE DISEÑO

GEOLOGÍA	SUELO	INTENSIDAD	ACELERACIÓN ESPECTRAL
PERIODO DE RETORNO	475 AÑOS	AMORTIGUAMIENTO	5% DEL CRÍTICO
ESCENARIO SÍSMICO	TODAS LAS FUENTES		



PERIODO (seg)	ACELERACIÓN (cm/s²)
0,00	218
0,05	249
0,10	370
0,15	485
0,30	588
0,50	491
1,00	355
1,50	273
2,00	198
2,50	194
3,00	183

4. FIRMA DEL PROFESIONAL RESPONSABLE

NOMBRE	CÉDULA
--------	--------

FIRMA:

FECHA:

MATRÍCULA PROFESIONAL:

BAJO LA GRAVEDAD DE JURAMENTO CERTIFICO QUE LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO CORRESPONDE AL RESULTADO INALTERADO DEL SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE PALMIRA (SISValle) Y QUE NO HE MODIFICADO EN NINGUNA FORMA DICHO RESULTADO

ESPACIO RESERVADO PARA USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

ENCARGADO	CÉDULA
-----------	--------

FIRMA:

OBSERVACIONES



**MUNICIPIO DE
PALMIRA**

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

Nº DE RADICACIÓN:

FECHA DE RADICACIÓN: (DD / MM / AAAA)

PÁGINA 1 / 2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO: ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN - SUBESTACIÓN DE BOMBEROS

COMUNA: 6 BARRIO: COLOMBIANA

DIRECCIÓN: CALLE 30 CON KRA, 16

FICHA CATASTRAL:

PROPIETARIO:

CÉDULA o NIT:

TELÉFONO:

CIUDAD:

ARCHIVO INFORME:

ALER27A_SUBESTACION_BOMBEROS IIS

2. MAPA DE UBICACIÓN

PUNTO DE ANÁLISIS

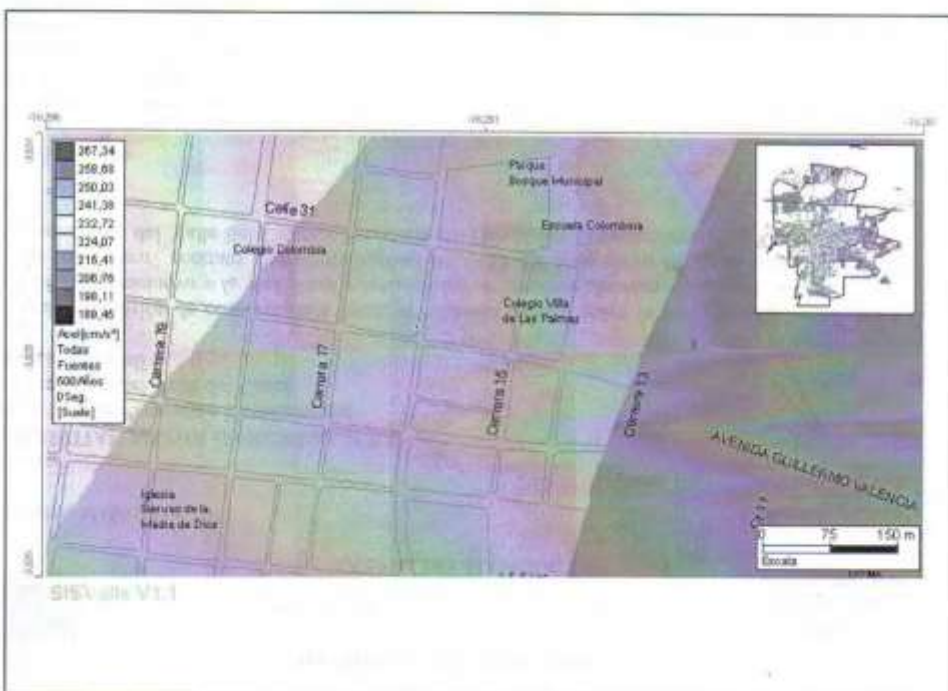
COORDENADAS LIMITES DE VISUALIZACIÓN

LONGITUD (°W): -76,2921

LONGITUD (°W): -76,2956 -76,2870

LATITUD (°N): 3,5286

LATITUD (°N): 3,5261 3,5305



SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA PALMIRA

SISValle V1.1



**MUNICIPIO DE
PALMIRA**

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

Nº. DE RADICACIÓN:

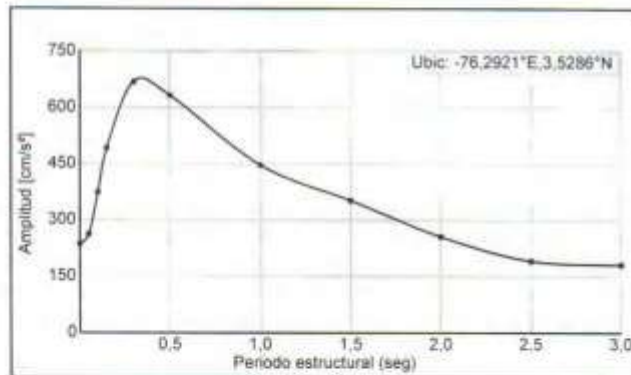
FECHA DE RADICACIÓN: (DD / MM / AAAA)

PÁGINA 2 / 2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

3. ESPECTRO DE DISEÑO

GEOLOGÍA	SUELO	INTENSIDAD	ACELERACIÓN ESPECTRAL
PERIODO DE RETORNO	475 AÑOS	AMORTIGUAMIENTO	5% DEL CRÍTICO
ESCENARIO SÍSMICO	TODAS LAS FUENTES		



PERIODO (seg)	ACELERACIÓN (cm/s²)
0,00	245
0,05	265
0,10	349
0,15	481
0,30	696
0,50	611
1,00	393
1,50	303
2,00	203
2,50	193
3,00	184

4. FIRMA DEL PROFESIONAL RESPONSABLE

NOMBRE	CÉDULA
--------	--------

FIRMA: _____
MATRÍCULA PROFESIONAL: _____



FECHA: DD/MM/AAAA

Palmira, Tolú y Dagua

BAJO LA GRAVEDAD DE JURAMENTO CERTIFICO QUE LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO CORRESPONDE AL RESULTADO INALTERADO DEL SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE PALMIRA (SisValle) Y QUE NO HE MODIFICADO EN NINGUNA FORMA DICHO RESULTADO

ESPACIO RESERVADO PARA USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

ENCARGADO	CÉDULA
-----------	--------

FIRMA: _____

OBSERVACIONES

SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA PALMIRA

SisValle V1.1



**MUNICIPIO DE
PALMIRA**

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

Nº DE RADICACIÓN:

FECHA DE RADICACIÓN: (DD/MM/AAAA)

PÁGINA 1/2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN - SUBESTACIÓN DE BOMBEROS

COMUNA 7 BARRIO BARRIO NUEVO

DIRECCIÓN CALLE 23 CON KRA. 31 FICHA CATASTRAL

PROPIETARIO CÉDULA o NIT

TELÉFONO CIUDAD

ARCHIVO INFORME ALER29A_SUBESTACION_BOMBEROS.IIS

2. MAPA DE UBICACIÓN

PUNTO DE ANÁLISIS

COORDENADAS LÍMITES DE VISUALIZACIÓN

LONGITUD ("W): -76.3052 LONGITUD ("W): -76.3094 -76.3006

LATITUD ("N): 3.5243 LATITUD ("N): 3.5218 3.5261



SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA PALMIRA

SISValle V1.1



**MUNICIPIO DE
PALMIRA**

USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

Nº DE RADICACIÓN:

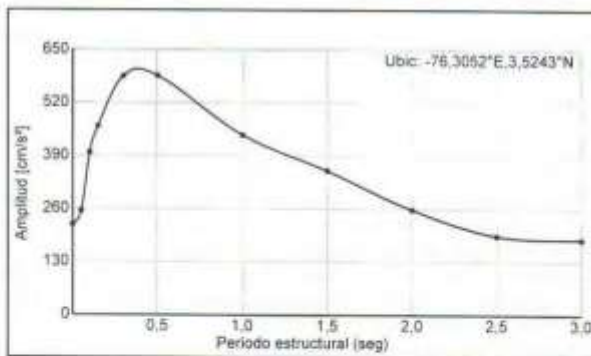
FECHA DE RADICACIÓN: (DD / MM / AAAA)

PÁGINA 2/2

ESPECTRO ELÁSTICO PARA DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA PALMIRA

3. ESPECTRO DE DISEÑO

GEOLOGÍA	SUELO	INTENSIDAD	ACELERACIÓN ESPECTRAL
PERIODO DE RETORNO	475 AÑOS	AMORTIGUAMIENTO	5% DEL CRÍTICO
ESCENARIO SÍSMICO	TODAS LAS FUENTES		



PERIODO (seg)	ACELERACIÓN (cm/s²)
0,00	224
0,05	247
0,10	378
0,15	448
0,30	595
0,50	569
1,00	380
1,50	299
2,00	199
2,50	189
3,00	181

4. FIRMA DEL PROFESIONAL RESPONSABLE

NOMBRE	CÉDULA
--------	--------

FIRMA: _____

MATRÍCULA PROFESIONAL: _____

FECHA: DD/MM/AAAA

Palmaire, Tollyny Díaz

BAJO LA GRAVEDAD DE JURAMENTO CERTIFICO QUE LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO CORRESPONDE AL RESULTADO INALTERADO DEL SISTEMA DE CÁLCULO DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE PALMIRA (SISValle) Y QUE NO HE MODIFICADO EN NINGUNA FORMA DICHO RESULTADO

ESPACIO RESERVADO PARA USO EXCLUSIVO DE LA CURADURÍA URBANA

ENCARGADO	CÉDULA
-----------	--------

FIRMA: _____

OBSERVACIONES

ANEXO I

RESPUESTA OBTENIDA POR EL INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN
CODAZZI ANTE LA SOLICITUD DE INFORMACION SOBRE LOS LOTES
DISPONIBLES EN LA CIUDAD DE PALMIRA



IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI
Territorio y Cultura



OFICIO No. 6022/

Santiago de Cali,

Señor
WILLIAM MOYA MARTINEZ
Comandante
Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios
Carrera 27 NO. 32-10
Palmira

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - 30-12-2011 10:34

Al Contestar Cite Nr.:4762011EE6983-Q1 - F:1 - A:0

ORIGEN: 56702 - DIRECCIÓN TERRITORIAL VALLE/QUINTERO SANC

DESTINO: PERSONA JURÍDICA/BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBERO

ASUNTO: QUE SE AUTORIZA CONSULTA NECESARIA TENIENDO EN

OBS:

REFERENCIA: Su Oficio de fecha 20-10-2011.

En atención a la solicitud de la referencia, recibida y radicada en la Unidad Operativa de Catastro de Tulua, de nuestra entidad, con el No. 4762011ER5087 del 20-10-2011, le comunico que se autoriza realizar las consultas necesarias y se le advierte que la información catastral que le sea entregada para los propósitos estatales, las Entidades receptoras deben garantizar que sean salvaguardados los derechos de autodeterminación informática y/o hábeas data de las personas que se encuentran relacionadas en la información que se solicita, e, igualmente, deben estar protegidos los derechos de propiedad intelectual del INSTITUTO sobre su base de datos y la información allí contenida, en cuanto fue levantada por El INSTITUTO.

De igual manera, se aclara que la presente información no presta mérito como prueba para establecer actos constitutivos de posesión material, siendo competencia exclusiva de la justicia ordinaria decidir en materia. Adicionalmente, de conformidad con el artículo 42 de la resolución No. 70 del 2011 emanada del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, "La inscripción en el catastro no constituye título de dominio ni sanea los vicios que tenga una titulación o una posesión". En consecuencia, la entrega de la información se hace bajo las siguientes condiciones:

1. Bajo limitaciones de uso: Los documentos y la información recibida del IGAC solo podrá utilizarse, para los fines mencionados en su solicitud. En caso de que la Entidad utilice los productos y/o información suministrada para fines diferentes a los señalados en la petición, se considerará como una vulneración de los derechos de autor y EL IGAC ejercerá las acciones civiles y penales a que haya lugar conforme a la Ley 23 de 1982.
2. No suministrar la información objeto de la solicitud, a ninguna persona natural o jurídica, del sector público o privado, cualquiera que sea el fin que pretenda, salvo que se trate de un organismo estatal de control o de la rama judicial.
3. A la Entidad le cabe la obligación de proteger la información para impedir que se conozca públicamente, para proteger los derechos de autodeterminación informática o hábeas data de los datos personales que se encuentren allí. En ese orden de ideas, debe dar precisas instrucciones a sus funcionarios o empleados para preservar la total confidencialidad que deben guardar con la información, y observar, proteger y cumplir los principios de libertad, finalidad e individualidad, así como los demás principios rectores de la administración de datos personales.



IGAC
INSTITUTO GEOGRÁFICO
AGUSTÍN CODAZZI
Seguridad y Orden



4. Igualmente estará obligado a no realizar cambios en la información suministrada, adoptando mecanismos de seguridad adecuados, que permitan la salvaguarda de la información suministrada por el INSTITUTO. Consecuentemente, no editará ni modificará sin previa autorización del INSTITUTO, la información entregada y responderá por la correcta utilización de dicho material, asumiendo la responsabilidad por las modificaciones secundarias que terceras personas puedan llegar a hacer de la información.

Cordialmente,

EDWIN ALBERTO QUINTERO SANCHEZ
Director Territorial Valle (C)

Copia: Jose Wilmar Aguirre Chaparro, Responsable U. O. C. de Palmira.

Proyectó: Edwin Alberto Quintero Sanchez
Realizó: Diana Maritza Jiménez Wagner
Radicación ER5087

Beneplácito Cuerpo de Bomberos Voluntarios PALMIRA	
RECIBIDO	
FECHA	6/01/12
HORA	9:10 M. P.M.
FIRMA	

ANEXO J

DOCUMENTOS DE SOPORTE PARA LAS CALIFICACIONES EMITIDAS POR
CADA UNO DE LOS EXPERTOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS
ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE POLICIA VALLE

Nº. 168 /COMAN-ESTPA-29.1

Palma Vieja, Enero 18 de 2012

Señor
JHON FREDDY SERRANO
Palma Vieja

Asunto: Contestación Oficio

En atención al oficio S/N fechado 11 de Enero del presente año, me permito conceptualizar respecto a seguridad los barrios referidos por usted durante el último semestre.

Nº	COMUNA	BARRIO	CALIFICACION
1.	1	Zamorano	2
2		Emanuel de la Merced	3
3	2	Entonia	3
4		Berlin	3
5		Santa Isabel	3
6	3	Rivera Escobar	2
7		Olimpico	2
8	4	San Cayetano	3
9		Sancta Rita	2
10		Alfonso López	3
11		Colombia	2
12	5	Obrero	3
13		Colombiana	3
14	7	Buena Vista	3



Cabe anotar que de acuerdo a las medidas policiales adoptadas a partir del 27 de Noviembre. Los Niveles de Percepción de Seguridad han presentado alguna variación favorable, la cual no es posible determinar sin previo análisis Criminológico.



Atentamente,



M. YEZID RODRIGUEZ RIVAS
Comandante Estación de Policía Pamira

RECIBIDO: 14/05/2018 08:00 AM
ARCHIVO: Seguridad - DINA - OFICINA SUMINISTROS Y CRIMINOLOGIA
APP-4-20 ELABORACION: 15/04/18

Calle 47 con Carrera 25 Oficina de Santa Isabel
Teléfono: 2372303
dena@policia.gov.co
www.policia.gov.co



STE/HSA-JGC/01333-E/11

Palmira, 30 de Diciembre del 2011

Señor
JHON FREDDY SERRANO
Estudiante de Ingeniería Industrial
Universidad del Valle
Cr34A Dg66 - 20
Palmira

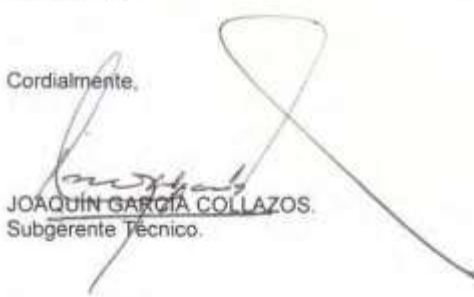
Asunto: STR-0605-11. Información sobre las red pública de acueducto y alcantarillado para el desarrollo del trabajo de grado "modelo de localización subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira".

Apreciado estudiante,

En atención a su solicitud y conforme al listado de barrios, anexo al oficio del asunto, definidos por Usted como lugares potenciales para la localización de subestaciones de bomberos, se envía dos (2) planos impresos en planta general con la información de las redes externas de acueducto y alcantarillado existentes en estos sectores.

Con dicha información se podrá determinar de manera preliminar si el predio designado para la ubicación de la subestación de bomberos cuenta con posibilidad de servicios de acueducto y alcantarillado.

Cordialmente,



JOAQUIN GARCIA COLLAZOS
Subgerente Técnico.

Anexo: Lo enunciado.
Copia: Consecutivo

	SECRETARÍA DE PLANEACIÓN	CÓDIGO: FO-GEP-100
	PROCESO: GESTIÓN ESTRATÉGICA Y DE PROYECTOS	VERSIÓN: 01
	SUBPROCESO: PROSPECTIVA Y PROYECTOS	FECHA: 09-26-2011
ALCALDÍA MUNICIPAL DE PALMIRA NIT: 891.380.007-3	OFICIO	TRD: 1149.10.22.056

Palmira, 03 de Febrero de 2012

Señores,
UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Sede Palmira

Cordial saludo,

Yo, **Gabriel Rodríguez Kuratomi**, identificado con cédula de ciudadanía No. 16280962 de Palmira – Valle del Cauca, certifico que a los estudiantes **Daniela García Rendón** y **Jhon Freddy Serrano Quenguán**, adelantaron ante mi Despacho, consultas relacionadas con los proyectos de desarrollo urbanístico, industrial y/o comercial que se tienen planeados para la ciudad, en el corto plazo; manifestando ser necesarios para el desarrollo de su trabajo de grado "*Propuesta de un modelo para la localización de Subestaciones de Bomberos en la ciudad de Palmira*".

Atentamente,



GABRIEL RODRÍGUEZ KURATOMI
 Gestión Estratégica y Proyectos
 Secretaría de Planeación
 Alcaldía de Palmira
 Calle 30 con Carrera 29 Esquina - Edificio CAMP
 Tel. 2709556

	EDIFICIO CAMP CALLE 30 CON CARRERA 29 ESQUINA. PBX: 2709500	Página 1 de 2
	www.palmira.gov.co – grodriguez@palmira.gov.co	

ANEXO K

**TIEMPOS DE RECORRIDO DETERMINADOS ENTRE CADA UNA DE LAS 14
ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN Y LOS 140 BARRIOS DE DEMANDA DE
LA CIUDAD DE PALMIRA**

MATRIZ ORIGEN DESTINO

Lugares Potenciales	Acacias	Alfonso López	Altamira	Barrio el bosque	Barrio Nuevo	Berlín	Betania de comfandi	Bizerta	Bosques de Morelia	Caicelandia	Campestre	Central	Chapinero	Ciudadela Comfaunión	Ciudadela Palmira	Colombia	Colombina
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17
Zamorano	8,1	5,3	3,8	8,7	8,2	4,8	4,1	6,5	3,1	10,3	7,2	7,2	9,4	1,3	9,4	6,2	7,9
Emanuel de la Merced	7,9	5,3	3,8	8,7	8,2	4,8	3,6	6,5	3,1	10,3	7,2	7,2	9,6	1,9	9,4	6,0	7,9
Estonia	3,6	0,9	1,7	5,7	3,8	0,5	2,2	3,4	3,1	7,0	4,1	2,7	5,3	5,0	6,3	2,2	4,8
Berlín	3,4	0,7	1,7	5,0	3,6	0,0	2,7	2,7	2,7	6,5	3,4	2,6	5,3	4,5	5,8	2,2	4,3
Santa Isabel	3,9	1,3	0,9	5,1	4,3	0,6	2,7	2,9	2,6	6,7	4,6	3,3	5,8	3,6	6,0	2,6	4,5
Rivera escobar	2,1	2,9	4,8	9,0	1,7	4,6	4,5	4,1	6,2	5,8	6,7	1,7	3,5	8,0	4,6	2,4	4,3
Olimpico	3,1	3,8	5,8	6,9	1,2	5,5	4,8	5,0	7,0	6,2	7,4	2,1	2,6	8,2	5,0	3,3	4,6
San Cayetano	5,0	2,1	2,4	3,1	5,0	2,1	4,6	0,9	3,8	4,6	2,4	3,9	6,2	5,1	3,8	2,7	2,2
Santa Rita	3,3	1,7	2,4	5,5	3,1	2,2	4,8	1,4	3,8	5,3	3,9	2,1	4,3	5,1	4,5	0,9	2,9
Alfonso López	2,9	0,0	2,2	5,5	3,1	2,1	4,6	2,6	3,6	6,5	4,8	2,1	4,6	5,0	5,7	1,5	4,3
Colombia	2,4	1,5	3,3	4,5	2,2	2,9	4,1	2,6	4,6	5,5	5,0	1,2	3,8	6,2	5,0	0,0	3,4
Obrero	3,3	2,2	2,9	3,8	2,9	2,7	5,3	1,9	4,3	4,5	4,3	1,9	4,1	5,8	3,6	1,5	2,4
Colombina	5,0	4,5	4,5	2,7	3,9	4,1	6,9	1,7	5,8	2,4	3,3	2,9	4,8	7,2	1,5	3,3	0,0
Barrio nuevo	3,8	3,1	4,8	6,0	0,0	4,6	7,0	4,1	6,2	5,3	6,5	1,2	1,9	7,5	4,1	2,2	3,8

Lugares Potenciales	Condominio Campestre Paraíso de las Mercedes	Condominio Entre palmas	Conjunto de Villas de las Palmas	Coop. Trabajadores Manuelita	Coronado	Danubio	El Prado	El Recreo	El Sembrador	El Triunfo	Emilia	Estonia	Fátima	Fray Luis Amigó	Guayacanes del Ingenio	Industrial	Jorge Eliécer Gaitán
	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32	B33	B34
Zamorano	3,3	9,7	8,1	1,4	3,9	7,5	8,6	8,2	8,9	9,8	7,2	5,5	9,4	8,6	9,1	6,3	6,9
Emanuel de la Merced	3,3	10,0	8,7	1,5	2,7	7,5	8,6	8,2	9,1	9,8	7,4	5,3	9,4	8,6	9,1	4,3	6,9
Estonia	4,0	5,4	3,9	7,0	5,5	4,5	3,6	5,1	5,8	6,7	2,7	0,0	6,3	3,6	6,0	2,4	1,9
Berlín	3,6	5,2	4,1	6,0	6,0	3,8	3,9	4,6	5,3	6,2	2,6	0,5	5,7	3,9	5,3	2,9	2,2
Santa Isabel	3,1	5,7	4,6	6,7	6,0	4,1	4,6	4,8	5,5	6,3	3,3	0,9	6,0	4,6	5,5	2,9	2,9
Rivera escobar	7,6	3,1	0,9	10,2	7,7	5,2	2,2	3,1	5,4	5,3	2,4	5,1	5,0	2,9	4,3	4,3	2,4
Olimpico	7,9	1,1	2,6	10,3	8,2	5,3	4,1	2,6	4,1	5,8	3,3	6,0	5,5	5,1	4,6	4,8	3,3
San Cayetano	4,7	6,6	5,5	7,0	7,9	1,9	5,8	4,1	3,4	4,1	4,1	2,7	3,8	5,8	3,4	4,8	4,1
Santa Rita	4,8	4,7	3,4	7,2	7,9	2,4	4,1	3,1	3,9	4,8	2,6	2,7	4,5	4,8	4,1	4,8	2,7
Alfonso López	4,5	4,5	3,4	7,0	7,5	4,3	3,4	4,3	5,8	6,0	2,1	2,6	5,8	4,3	5,3	4,6	2,1
Colombia	5,5	3,8	2,6	8,1	8,9	3,1	3,3	3,6	4,3	5,3	1,7	3,4	5,0	3,9	4,6	4,1	1,9
Obrero	5,2	4,5	3,4	7,7	8,6	2,4	4,5	2,2	3,1	4,1	2,9	3,3	3,6	5,1	3,3	5,3	3,1
Colombina	6,7	5,5	5,1	9,4	9,9	1,1	6,2	3,3	1,2	1,9	5,0	4,8	1,5	7,0	1,2	6,9	5,0
Barrio nuevo	7,1	4,3	3,3	9,6	8,7	4,6	5,0	1,3	3,4	4,8	3,8	5,1	4,6	5,8	3,8	5,7	3,8

MATRIZ ORIGEN DESTINO

Lugares Potenciales	José Antonio Galán	La Alameda	La Benedita	La Concordia	La Cosecha	La Independencia	La Libertad	La Orlidia	La Trinidad	La Vega	Las Delicias	Las Mercedes	Las Victorias	Libertadores	Llanogrande	Loreto	Los Cristales
	B35	B36	B37	B38	B39	B40	B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48	B49	B50	B51
Zamorano	8,4	2,4	5,1	7,5	2,7	9,1	7,4	10,3	7,0	1,7	7,5	2,7	8,6	8,2	7,7	6,5	9,4
Emanuel de la Merced	8,4	2,9	5,0	7,5	3,2	9,1	7,4	10,3	7,0	2,2	7,5	2,8	8,6	8,2	7,7	6,5	9,4
Estonia	5,3	5,1	1,2	2,7	5,4	5,1	4,1	7,0	3,9	5,7	4,5	3,6	5,5	5,1	2,7	2,1	6,2
Berlín	4,6	4,6	1,7	2,9	4,9	5,0	3,6	6,5	3,4	5,1	3,9	3,3	4,8	4,5	3,1	1,9	5,7
Santa Isabel	5,0	4,1	1,7	3,4	4,4	5,7	3,8	6,7	3,6	4,3	4,1	2,9	5,1	4,8	3,6	2,6	5,8
Rivera escobar	6,3	9,6	4,5	2,4	9,9	2,9	7,0	9,6	2,9	9,0	2,4	7,2	3,4	3,4	2,6	1,7	8,7
Olimpico	6,7	9,7	5,5	3,4	10,1	2,4	7,5	10,5	3,3	8,9	2,6	7,5	2,9	3,8	3,8	2,6	9,6
San Cayetano	2,7	5,6	3,9	4,5	6,0	5,8	1,7	5,0	2,4	5,8	3,4	4,3	3,6	2,6	4,8	3,4	4,1
Santa Rita	3,4	5,4	3,9	2,9	5,8	3,9	3,9	6,9	1,7	5,8	2,4	4,5	3,3	3,3	3,3	2,1	6,0
Alfonso López	5,3	5,4	3,8	2,4	5,8	4,3	4,1	7,0	3,1	5,7	3,6	4,3	4,6	4,6	2,6	1,4	6,2
Colombia	4,1	6,5	3,9	2,1	6,8	3,4	5,1	8,1	2,2	6,7	2,7	5,1	3,8	3,8	2,4	1,1	7,2
Obrero	3,4	6,1	4,5	3,3	6,5	3,8	4,5	7,4	1,0	6,3	1,6	5,0	2,4	2,4	3,6	2,4	6,5
Colombina	2,1	7,7	6,0	5,1	8,0	5,0	2,9	6,5	1,5	8,1	2,6	6,5	2,7	0,9	5,5	4,3	5,7
Barrio nuevo	5,8	8,0	5,8	3,9	8,4	1,4	6,7	9,6	2,4	8,2	1,2	6,9	1,7	2,9	4,3	3,1	8,7

Lugares Potenciales	Los Sauces	Luis Carlos Galan	Maria Cano	Mirriñao	Municipal	Obrero	Olimpico	Palma Real	Palmeras	Palmeras de Marsella	Parques de la Italia	Petruc	Poblado de Comfaunión	Pomona	Popular Modelo	Portal de las Palmas	Portales de Niza
	B52	B53	B54	B55	B56	B57	B58	B59	B60	B61	B62	B63	B64	B65	B66	B67	B68
Zamorano	8,7	9,9	9,4	3,1	10,6	6,0	8,7	5,3	9,1	9,6	11,5	8,6	7,4	7,4	10,3	5,5	8,4
Emanuel de la Merced	8,7	9,9	9,8	3,1	10,6	6,0	8,7	4,1	9,3	9,6	11,5	8,6	7,5	7,4	10,3	5,0	8,4
Estonia	5,7	6,0	6,3	2,6	7,5	2,9	4,3	4,6	6,0	6,0	8,2	5,5	4,3	2,9	7,0	3,4	5,0
Berlín	5,1	5,8	5,8	2,9	6,9	2,4	4,1	4,8	5,5	5,5	7,7	5,0	3,8	2,7	6,5	3,8	4,8
Santa Isabel	5,1	6,5	6,0	2,2	7,2	2,6	4,8	5,0	5,7	5,7	7,9	5,1	3,9	3,3	6,7	4,3	5,0
Rivera escobar	8,6	3,8	9,7	6,2	8,1	2,9	1,0	6,5	9,3	9,7	5,7	3,4	6,9	0,8	8,2	5,1	4,3
Olimpico	8,9	3,3	9,6	6,7	7,5	3,8	0,0	7,2	9,3	9,8	5,1	2,9	7,9	1,6	8,4	5,8	2,4
San Cayetano	3,6	6,7	4,3	3,6	5,5	2,1	5,5	6,7	3,6	4,1	6,7	5,3	2,4	4,1	5,0	5,7	5,1
Santa Rita	5,5	4,8	4,3	3,8	6,2	0,8	3,6	6,9	4,1	4,3	6,2	3,4	4,1	2,2	5,5	5,7	3,3
Alfonso López	5,7	5,3	6,3	3,4	7,4	2,1	3,6	6,7	6,0	6,0	7,4	4,6	4,3	2,1	6,9	5,5	4,3
Colombia	6,7	4,5	7,2	4,5	8,7	1,3	2,7	6,0	7,0	7,0	6,5	3,8	5,1	1,3	6,0	5,0	3,4
Obrero	6,0	4,6	4,5	4,3	5,0	0,0	3,4	6,9	4,3	4,3	5,3	3,3	4,6	2,1	5,3	6,3	2,7
Colombina	3,3	5,8	3,3	5,8	2,7	2,6	4,5	8,7	3,1	3,1	5,5	4,5	4,1	3,4	2,9	7,9	4,3
Barrio nuevo	8,2	2,4	9,1	6,0	6,5	2,9	3,4	7,5	8,6	9,1	4,3	1,6	6,9	2,2	6,9	7,2	1,1

MATRIZ ORIGEN DESTINO

Lugares Potenciales	Prados de Oriente	Primero de Mayo	Providencia	Reserva de las Mercedes	Rivera Escobar	San Carlos	San Cayetano	San Jorge	San José	San Pedro	Santa Bárbara	Santa Clara	Santa Isabel	Santa María del Palmar	Santa Rita	Sesquicentenario	Urb. 20 de Julio
	B69	B70	B71	B72	B73	B74	B75	B76	B77	B78	B79	B80	B81	B82	B83	B84	B85
Zamorano	9,6	6,5	7,0	3,3	7,9	7,7	5,7	8,1	11,7	6,9	7,9	8,7	4,1	8,4	5,5	10,1	3,6
Emanuel de la Merced	9,8	6,5	7,0	3,3	8,4	7,7	5,7	8,1	11,7	7,0	7,9	8,7	3,9	8,4	5,5	10,1	2,4
Estonia	6,5	3,3	3,8	4,1	3,9	4,6	2,6	5,0	8,9	3,8	3,4	5,5	0,9	5,1	2,4	7,0	3,9
Berlín	5,8	2,7	3,3	4,0	3,9	4,1	2,1	4,5	8,4	3,1	3,3	5,0	0,6	4,6	1,9	6,3	4,6
Santa Isabel	6,7	2,9	3,4	3,3	4,5	4,3	2,2	4,6	8,6	3,4	3,8	5,1	0,0	4,8	2,1	6,7	4,5
Rivera escobar	9,7	6,6	7,1	7,9	0,0	7,6	4,6	6,5	9,1	7,1	1,2	3,3	4,8	7,7	3,4	4,5	6,3
Olimpico	8,4	6,7	7,0	8,1	2,2	7,9	5,3	6,9	8,6	5,7	2,1	2,7	5,5	8,6	3,9	3,9	6,9
San Cayetano	5,0	1,4	1,4	4,3	5,3	2,2	0,0	2,6	6,2	1,2	4,6	5,3	2,2	3,1	2,2	6,0	6,5
Santa Rita	5,7	3,1	3,6	5,0	3,3	4,5	1,7	3,3	6,7	2,1	2,7	3,4	2,4	5,0	0,0	4,8	6,5
Alfonso López	7,0	3,3	3,8	4,8	3,3	4,6	2,6	4,5	8,6	3,8	2,6	4,6	2,2	5,1	1,5	5,8	5,7
Colombia	7,4	4,3	4,8	5,8	2,6	5,5	2,9	4,5	7,2	3,3	1,7	3,8	3,1	6,2	1,4	5,0	5,3
Obrero	4,6	3,6	4,1	5,5	3,3	4,8	2,2	3,8	6,2	2,6	2,6	3,3	2,9	5,5	0,8	4,1	6,5
Colombina	3,9	2,6	2,6	7,0	4,3	2,9	2,4	2,4	3,8	1,5	3,9	4,3	4,5	4,6	2,7	5,3	8,4
Barrio nuevo	9,1	5,8	6,3	7,0	3,1	7,2	4,5	6,0	7,5	4,8	2,7	1,5	4,8	7,7	2,9	2,9	7,4

Lugares Potenciales	Urb. Beltran	Urb. Buenos Aires	Urb. Campestre	Urb. Departamental	Urb. El Bosque	Urb. El Caimito	Urb. El Jardín	Urb. El Paraíso	Urb. El Trébol	Urb. Emmanuel de la Merced	Urb. Guayacán	Urb. Harold Eder	Urb. Hernan Acevedo	Urb. Hugo Varela Mondragón	Urb. Ignacio Torres Giraldo	Urb. Juan Pablo II	Urb. La Esperanza
	B86	B87	B88	B89	B90	B91	B92	B93	B94	B95	B96	B97	B98	B99	B100	B101	B102
Zamorano	2,5	9,8	7,4	4,1	8,7	4,8	10,1	11,5	8,2	1,1	10,3	4,5	9,8	5,8	4,8	5,1	5,8
Emanuel de la Merced	1,1	9,8	7,2	4,1	8,9	4,1	10,1	11,5	8,2	0,0	10,3	3,3	9,8	4,5	3,4	4,1	5,8
Estonia	6,6	6,7	4,1	2,9	5,7	3,8	6,9	8,7	5,1	5,3	5,5	3,4	6,7	5,1	2,7	3,1	1,9
Berlín	6,1	6,2	3,6	3,1	5,1	4,5	6,3	8,1	4,6	5,0	5,5	3,8	6,2	5,0	3,1	3,4	2,4
Santa Isabel	5,6	6,3	3,8	2,6	5,7	4,3	6,5	8,2	4,8	4,5	6,2	3,6	6,4	5,5	3,1	3,4	2,4
Rivera escobar	9,5	7,9	6,7	9,6	6,0	5,8	10,2	6,9	4,5	9,3	2,9	5,6	7,9	6,3	4,5	4,6	7,8
Olimpico	10,4	8,2	7,5	10,1	5,5	6,5	10,3	7,2	3,6	9,1	2,4	5,8	8,3	7,0	5,0	5,3	7,7
San Cayetano	7,1	4,3	2,1	6,5	3,3	6,0	4,8	6,0	2,6	6,0	6,7	5,7	4,3	6,3	5,0	5,1	4,6
Santa Rita	7,1	5,1	3,9	5,5	3,8	6,0	5,5	6,5	2,9	6,0	5,0	5,7	5,2	6,2	4,6	5,0	4,6
Alfonso López	6,9	6,7	4,1	4,6	5,7	5,1	6,9	7,9	4,3	5,8	5,0	5,5	6,7	5,5	4,8	4,3	4,5
Colombia	8,1	6,2	5,0	6,2	4,6	4,8	7,9	7,0	3,4	6,9	3,9	5,8	6,2	6,7	4,3	3,9	5,5
Obrero	7,6	5,0	4,3	5,3	3,3	6,2	5,1	5,7	2,2	6,2	4,8	6,2	5,0	7,4	5,5	5,8	5,1
Colombina	9,3	3,6	3,1	6,9	1,0	8,1	2,9	3,6	1,4	8,2	5,8	7,9	3,6	8,4	7,0	7,7	6,9
Barrio nuevo	9,5	7,4	6,7	7,2	4,6	6,9	9,4	6,2	2,6	8,4	2,4	8,1	7,4	9,8	5,8	6,2	7,0

MATRIZ ORIGEN DESTINO

Lugares Potenciales	Urb. Las Américas	Urb. Las Flores	Urb. Llanogrande	Urb. Los Mangos	Urb. Los Robles	Urb. Los Samanes	Urb. Monteclaro	Urb. Palmeras del Oriente	Urb. Papayal	Urb. Poblado de Lourdes	Urb. Portales del Recreo	Urb. Quintas de Zamorano	Urb. Samanes de la Merced	Urb. Santa Ana	Urb. Santa Teresita	Urb. Siete de Agosto	Urb. Simón Bolívar
	B103	B104	B105	B106	B107	B108	B109	B110	B111	B112	B113	B114	B115	B116	B117	B118	B119
Zamorano	9,3	11,0	6,0	1,3	9,4	3,6	2,9	8,4	9,3	5,0	9,3	3,3	3,9	8,9	5,1	9,8	4,3
Emanuel de la Merced	9,3	10,8	5,0	1,7	9,4	3,6	4,2	8,4	9,3	3,3	9,3	3,8	3,8	8,7	4,1	9,8	3,1
Estonia	6,2	7,4	3,9	5,3	5,0	1,3	6,4	5,0	6,2	3,9	6,0	6,0	2,1	4,3	2,2	6,0	3,4
Berlín	5,7	7,0	4,1	5,3	4,8	1,0	6,4	4,3	5,5	4,1	5,5	5,5	1,9	4,3	2,7	5,5	3,8
Santa Isabel	5,8	7,2	4,8	4,3	5,3	0,5	5,6	4,6	5,8	4,1	5,7	5,0	1,0	4,8	2,6	5,7	3,6
Rivera escobar	4,1	6,2	5,5	9,0	2,4	5,7	10,3	8,1	4,5	5,9	4,1	10,5	5,3	2,1	4,1	9,8	5,6
Olimpico	3,6	6,5	6,2	9,1	1,7	6,0	10,2	8,2	4,8	6,2	3,4	10,6	6,0	4,3	4,8	9,9	5,8
San Cayetano	5,3	5,1	6,2	5,5	6,2	2,6	7,1	2,6	3,6	6,0	4,8	6,5	2,7	6,0	4,6	3,9	5,7
Santa Rita	3,9	5,5	6,2	5,8	4,3	2,7	7,1	5,3	4,3	5,8	3,8	6,3	2,7	4,3	4,3	4,3	5,7
Alfonso López	5,3	6,9	5,5	5,7	4,3	2,6	7,0	5,0	5,5	5,1	5,1	6,3	2,4	3,6	3,8	6,0	5,5
Colombia	4,5	6,0	5,5	6,9	3,4	3,4	8,3	6,0	4,8	7,0	4,3	7,4	3,6	3,3	3,4	7,0	6,5
Obrero	3,3	4,6	6,2	6,3	4,1	3,3	7,6	5,1	3,4	6,5	3,1	7,0	3,3	4,6	4,6	4,3	6,2
Colombina	4,5	2,6	8,1	8,1	5,1	4,8	9,4	3,4	1,4	8,1	3,9	8,6	4,8	6,2	6,7	3,1	7,9
Barrio nuevo	2,2	5,7	8,6	8,2	1,7	5,1	9,5	7,5	3,9	8,4	2,1	8,9	5,1	5,0	5,5	9,1	8,9

Lugares Potenciales	Urb. Villa Claudia	Urb. Villa de las Palmas	Urb. Villa del Rosario	Urb. Villa Diana	Urb. Villas de Caimitos	Urbanizacion Almenares de la Merced	Urbanizacion Altos del Bosque	Urbanizacion Casas de Alicante	urbanizacion Conjunto de las Mercedes	Urbanizacion Guayacanes del Parque	Urbanizacion la Hacienda	Urbanizacion la Perseverancia	Urbanizacion palo verde	Urbanización Paraíso de las Mercedes	urbanizacion parque de las mercedes	Urbanizacion Plazuela de las Mercedes
	B120	B121	B122	B123	B124	B125	B126	B127	B128	B129	B130	B131	B132	B133	B134	B135
Zamorano	5,5	8,2	4,1	4,1	5,1	4,1	8,3	9,0	3,0	8,7	8,9	11,0	3,3	3,4	2,1	3,4
Emanuel de la Merced	5,3	8,2	3,1	3,1	3,9	4,1	8,3	9,0	3,1	8,7	8,9	10,8	3,8	3,8	2,1	3,5
Estonia	1,5	3,8	3,6	3,1	4,5	2,4	5,2	4,2	3,8	5,7	4,3	7,9	6,0	4,3	4,4	4,1
Berlín	2,4	3,6	3,9	3,6	4,8	2,1	4,5	4,4	3,4	5,0	4,3	7,2	5,5	3,9	4,1	3,8
Santa Isabel	2,1	4,3	4,6	3,4	5,1	1,7	4,9	5,1	2,9	5,1	4,7	7,4	5,0	3,4	3,6	3,3
Rivera escobar	4,3	1,9	5,7	5,1	6,8	5,9	6,2	1,2	7,4	5,1	1,9	6,9	10,5	8,0	8,3	7,7
Olimpico	5,3	2,7	6,0	5,7	6,9	6,4	6,6	2,8	7,7	4,3	3,8	5,1	10,6	8,2	8,2	8,1
San Cayetano	4,3	5,1	5,8	5,5	6,7	2,9	2,6	5,9	4,5	3,1	5,9	6,5	6,5	5,0	4,1	4,8
Santa Rita	4,3	3,6	5,8	5,1	6,7	3,1	3,3	4,0	4,5	3,8	3,9	5,7	6,3	5,1	4,1	5,0
Alfonso López	4,1	3,1	5,7	4,6	6,5	2,8	5,2	3,7	4,3	5,5	3,5	6,9	6,3	5,1	3,9	4,8
Colombia	4,3	2,6	6,7	4,3	6,3	4,0	4,0	2,8	5,3	4,3	3,4	6,2	7,4	5,8	5,9	5,8
Obrero	4,8	3,6	6,3	5,7	7,2	3,5	3,3	3,7	5,0	2,9	4,1	5,0	7,0	5,5	5,6	5,5
Colombina	6,3	4,6	8,1	7,5	8,9	5,0	2,1	5,1	6,5	1,1	5,6	5,5	8,6	7,0	6,3	6,9
Barrio nuevo	6,7	3,4	9,1	6,3	8,9	5,3	5,5	3,5	6,9	3,3	4,5	3,9	8,9	7,4	7,5	7,2

MATRIZ ORIGEN DESTINO

Lugares Potenciales	Urbanización Portales del sembrador	Uribe Uribe	Versalles	Villas de Caña Miel	Zamorano
	B136	B137	B138	B139	B140
Zamorano	8,4	7,4	5,3	5,5	0,0
Emanuel de la Merced	8,4	7,4	4,8	6,0	1,0
Estonia	5,3	4,3	2,2	3,1	5,0
Berlín	4,8	3,8	1,7	2,4	5,0
Santa Isabel	5,0	3,9	1,9	2,6	4,1
Rivera escobar	4,6	4,1	4,5	5,7	8,8
Olímpico	3,3	4,5	5,0	6,3	8,9
San Cayetano	3,8	1,7	0,9	1,0	5,7
Santa Rita	3,1	2,1	1,5	2,7	5,8
Alfonso López	4,5	3,4	2,1	2,9	5,5
Colombia	3,6	2,6	2,6	3,9	6,7
Obrero	2,2	1,4	1,9	3,3	6,2
Colombina	2,6	1,4	2,9	2,7	8,1
Barrio nuevo	2,1	3,6	4,3	5,5	8,1

Anexo K.1 Matriz Origen - Destino

ANEXO L

**PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS AL CUERPO DE BOMBEROS
VOLUNTARIOS DE LA CIUDAD DE PALMIRA**



Anexo L.1



Anexo L.2



Anexo L.3



Anexo L.4



Anexo L.5



Anexo L.6

ACTA

Correspondiente a la Reunión para la divulgación de los resultados del trabajo de grado “Propuesta de un modelo para la localización de subestaciones de bomberos en la ciudad de Palmira”

Los estudiantes del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Palmira **Daniela García Rendón C.C 1113.641.585** y **Jhon Freddy Serrano Quenguán C.C 1113.645.272** realizamos la divulgación al Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de la ciudad de Palmira de los resultados obtenidos del modelo para la localización de subestaciones de bomberos, siendo el día 9 de febrero del año 2012, atendiendo a la convocatoria los miembros de la institución relacionados en la página siguiente.

Nombre	Número Documento
GERMAN VELAZ	16259351
Pablo A. Quintero M.	94322.719
Juli Ann Sanchez	1.113.634.651
La Vuelta	1.172.639.857
Ruben Dario Ramez	94.322.288 Pl Yff
Alberto Acuña	14702776
Hilda Solarte Ibarra	14696449
Carlos Humberto Lopez	6383947
Andres Esteban Diaz S.	1.113.622.511
Andres Esteban Diaz S.	1113631080
Manuel Gonzalez	14702103
José E. Barros	6625206 Pal.
Armando Vagela	16265322
Jorge Epicer Camacho	16-265.228
Hector Daniel Vaca	16-254.201 Pal
Cso: Beate E. Gally	31146334 mf
Stk Denis J. Gámez	94319.816
Cap Ernesto Tobo	16266504
do gualar a sacros	16267737 m
Stk Pedro Pablo Benítez E	16256.667 Polim m
Cabo Ancizar Marin Rodriguez	94303652
Dario the constant	16282668
Carlos Felipe Arteaga	16256540 m
MARCO TOLIN SALCEDO	16276892 PL1

Documento

STO	MAURICIO MARTINEZ	16271788
TTE	Mendoza Arias Victor Alberto	16248623
CABO	HAROLD HERNANDEZ GUTIERREZ	C.C. 94312715
BRO	DARWIN RAMIREZ RODRIGUEZ	CC 16866491
Bro	Carlos H Varela Barragan	1113628939
Bro	Jose ALVARO BARRAGAN	CC 16281427
bro	John Alexander Castro	CL 6394650
BRO	LUIS ARMANDO ECHEVERRY.S	CL 16266932
Sbdt.	Danielo Fernandez Saito	CC 94313546