

PROPUESTA DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES
TEMPORALES Y RUTEO DE PERSONAL ESPECIALIZADO, PARA LA
ATENCIÓN DE UNA POBLACIÓN VULNERABLE ANTE UN DESASTRE DE LA
REGIÓN.

KAREN VANESSA MARÍN GÓMEZ
JESSICA DAYAN MORALES CORREDOR

UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL

2018

PROPUESTA DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES
TEMPORALES Y RUTEO DE PERSONAL ESPECIALIZADO, PARA LA
ATENCIÓN DE UNA POBLACIÓN VULNERABLE ANTE UN DESASTRE DE LA
REGIÓN.

KAREN VANESSA MARÍN GÓMEZ
JESSICA DAYAN MORALES CORREDOR

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial.

DIRECTOR

MSc. CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2018

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida, por cada triunfo y momento difícil que me ha enseñado a superar.

A mi abuelo (Q.E.P.D) quien fue más que un padre, que me cuida y guía desde el cielo, que con sus consejos y acciones ha sido un ejemplo y motivo de superación para mi vida.

A mi madre por ser la persona que ha sabido formarme con buenos valores, que con amor, esfuerzo y apoyo incondicional ha permitido que se cumpla una de mis mayores metas.

A mi hermano por ser mi amigo, por su cariño, apoyo y por ser uno de los seres más importantes de mi vida

A mi familia por todo el cariño y apoyo, por ser lo más valioso que Dios me ha dado.

A mi novio por sus palabras de aliento, por ser mi guía en este proceso, por su amor y comprensión en todo momento

A Jessica mi amiga y compañera, por su dedicación y esfuerzo en este proyecto.

Karen Vanessa Marín

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a Dios primeramente pues es lo más importante en mi vida.

A mis Padres por impulsarme a iniciar y culminar mi carrera dándome su apoyo en todos los sentidos durante este proceso de aprendizaje y práctica como ingeniera industrial y como persona y, por enseñarme a reconocer que todo se lo debo a Dios.

A mi hermano por ser mi apoyo y compañero siendo un gran ejemplo para mi vida.

A mi familia por su compañía y colaboración en este proceso, a mis sobrinos que son un motor para seguir adelante.

A Karen mi compañera de carrera, de proyecto y de aventuras, por su compañía, colaboración y apoyo.

Jessica Morales Corredor

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por cuidarnos y brindarnos todo lo necesario hasta el día de hoy para cumplir cada uno de los proyectos, por bendecir nuestras vidas y darnos la posibilidad de formarnos como personas y como profesionales.

Agradecemos a nuestras familias, especialmente a nuestros padres por apoyarnos durante todo el proceso y darnos la confianza y tranquilidad para emprender el camino a alcanzar los sueños.

Finalmente, un agradecimiento a la Universidad del Valle, a todos los maestros y compañeros de carrera por ser el instrumento de Dios para este proceso de formación como profesionales y como personas, gracias por sus consejos, enseñanzas y palabras de apoyo, especialmente al profesor Carlos Rojas por su orientación y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto, creyendo en nosotras dándonos su apoyo y estar dispuesto a lo largo de la realización de este trabajo; de Igual forma al Profesor y Coordinador de carrera Julián Gonzales por su compañía en este proceso de crecimiento y aprendizaje, por su colaboración, disposición y conocimiento impartido.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. OBJETIVOS.....	19
5. MARCO DE REFERENCIA	20
5.1. MARCO TEÓRICO.....	20
5.2. MARCO CONCEPTUAL.....	25
5.3. ESTADO DEL ARTE	33
6. METODOLOGÍA.....	49
7. DIAGNOSTICO DE LA ZONA DE LA POBLACIÓN AFECTADA.....	51
7.1. Departamento del Cauca.....	52
7.2. Departamento del Quindío-Risaralda.....	54
7.3. Departamento del Valle del Cuaca.....	56
8. FORMULACIÓN DEL MODELO.....	62
8.1. Modelo de Localización.....	62
8.2. Modelo de Ruteo.....	66
9. CASO ESTUDIO	69
10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	75
11. ANÁLISIS DE ESCENARIOS.....	81
12. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	92
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
14. ANÉXOS.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Reportes de desastres en el valle del cauca (1970 – 2002).....	12
FIGURA 2. Víctimas fatales por tipo de evento (1970 – 2002)	13
FIGURA 3. Población está localizada en áreas susceptibles a inundarse.....	13
FIGURA 4. Viviendas en Colombia y en el Valle del Cauca en condiciones de riesgo.....	14
FIGURA 5. Vías afectadas por inundaciones en el Valle del Cauca	15
FIGURA 6. Histograma mensual-multianual de los desastres por inundaciones, avenidas y deslizamientos en el valle (DESINVENTAR- OSSO).....	17
FIGURA 7. Países con más desastres naturales en el 2013.....	34
FIGURA 8. Tipos de desastres.....	39
FIGURA 9. Flujo de la Logística Humanitaria.....	39
FIGURA 10. Modelo de relaciones humanitarias.....	40
FIGURA 11. Porcentaje (%) de área de influencia de amenazas en Colombia.....	51
FIGURA 12. Distribución de los eventos ocurridos en Colombia (1971-2000).....	58
FIGURA 13. Distribución de las inundaciones Valle del Cauca (1971-2000).....	59
FIGURA 14. Histórico de Eventos Reportados en el departamento del Valle del Cauca.....	61
FIGURA 15. División Política del municipio de Tuluá.....	71
FIGURA 16. Zonas en Riego por Inundaciones.....	72
FIGURA 17: Zonas Seguras para la ubicación de Albergues Temporales.....	72

FIGURA 18: Zonas seguras para la ubicación del Centro de distribución.....	73
FIGURA 19: Ubicación del centro de distribución y los albergues	75
FIGURA 20: Asignación de las zonas afectadas al CA5.....	76
FIGURA 21: Asignación de las zonas afectadas al CA11.....	76
FIGURA 22. Resultados Modelo Localización y Ruteo de personal especializado.....	80
FIGURA 23. Resultados Ensayo aumento porcentual Escenario 1.....	81
FIGURA 24. Resultados Modelo Localización y Ruteo de personal especializado Escenario 1.....	84
FIGURA 25. Resultados Ensayo disminución de la capacidad Escenario 2.....	84
FIGURA 26. Resultados Modelo Localización y Ruteo de personal especializado Escenario 2.....	87
FIGURA 27. Resultados Ensayo aumento porcentual Escenario 3.....	87
FIGURA 28. Resultados Modelo Localización y Ruteo de personal especializado Escenario 3.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Afectados por inundación en Colombia 2006-2014.....	14
TABLA 2. Daños causados por las inundaciones en el departamento del Valle del Cauca, 2012. (millones de pesos).....	16
TABLA 3. Clasificación de los Desastre Naturales.....	33
TABLA 4: Acciones a Ejecutar para la prevención y control de las amenazas por inundación.....	74
TABLA 5. Damnificados de cada lugar afectado que van a ser atendidos en cada albergue.....	77
TABLA 6. Suministros asignados desde el Centro de distribución a cada Albergue.....	77
TABLA 7. Resultados Modelo Ruteo de personal especializado.....	78
TABLA 8. Resultados Escenario 1 Localización.....	82
TABLA 9. Resultado Escenario 1 Ruteo.....	83
TABLA 10. Resultado Escenario 2 Localización.....	85
TABLA 11. Resultado Escenario 2 Ruteo.	86
TABLA 12. Resultados Escenario 3 Localización.....	88
TABLA 13. Resultado Escenario 3 Ruteo.....	89

1. INTRODUCCIÓN

Un desastre natural hace referencia a una acción provocada por la naturaleza, donde el ser humano posee cierta influencia. Según la cartilla gestión del riesgo en el ordenamiento territorial municipal del Valle del Cauca (2011) algunos de los desastres más comunes en el Valle del Cauca son las inundaciones, sismos y deslizamientos de tierra, estos eventos afectan de manera negativa a la comunidad, generando daños en la infraestructura e integridad de los seres humanos.

Debido a la posición geográfica de la región, el desastre con mayor relevancia son las inundaciones, este se debe a las repentinas lluvias o precipitaciones que se presentan, generando el crecimiento de los ríos y su desbordamiento; como estas suceden de forma repentina, en algunos casos es difícil controlarlas causando así pérdidas materiales y afectando la salud de las personas cercanas al lugar e incluso en ocasiones provocando la muerte. En una inundación, generalmente la corriente arrastra todo lo que encuentra a su paso como animales, árboles, rocas y toda clase de escombros.

Dado que esta situación es difícil de controlar, es necesario tener un plan de contingencia para la atención eficiente y oportuna post-desastre. Para dar cumplimiento a esta finalidad, es importante conocer la zona y sus limitantes, para lo cual se debe localizar de manera estratégica los centros de ayuda y centros de distribución de recursos, de la misma manera es necesaria la distribución y/o ruteo de personal capacitado a la hora de atender una emergencia de este tipo.

Par dar cumplimiento a este propósito, es necesario acudir a una rama de la logística que se encargue de la ayuda oportuna a una población que se puede ver afectada antes, durante y después de un desastre, esta rama se denomina Logística Humanitaria, la cual tiene el mismo fundamento que la logística, que es planificar, implementar y controlar los flujos de información, recursos y/o personal desde un punto de origen hacia un destino, este destino en la logística son los clientes y la satisfacción de sus necesidades, mientras que el destino de la logística humanitaria es aliviar el sufrimiento de una población afectada de manera oportuna.

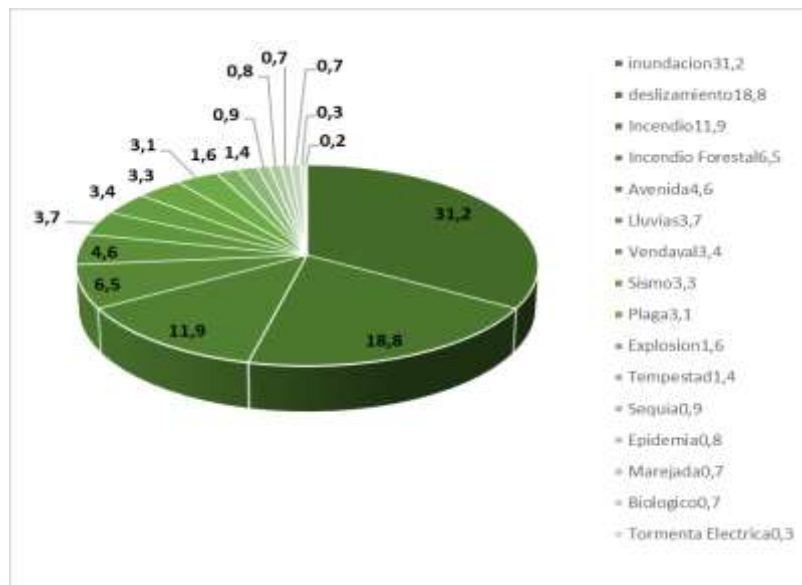
Con base en lo anterior, el presente proyecto tiene como finalidad formular un modelo de programación lineal entera mixta que contribuya a minimizar el tiempo de atención a los damnificados que hay entre el centro de distribución y los centros de atención, de igual manera el ruteo del personal especializado que proporcione ayuda oportuna a los damnificados en un municipio del departamento del Valle del Cauca.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Valle del Cauca es una zona que se ve afectada por las torrenciales lluvias que provocan el desbordamiento de los ríos de la zona. Las condiciones geológicas, topográficas e hidrográficas propician la ocurrencia de los fenómenos naturales como las avenidas torrenciales, sismos, inundaciones entre otros, que junto con la poca planificación territorial, como lo muestra la Figura 1, donde las inundaciones tienen un 31,2% de ocurrencia, lo que permite que exista un alto número de viviendas y habitantes en zona de riesgo, muchos de ellos en condiciones de riesgo no mitigable, afectando también el resto del departamento, generando víctimas fatales, ver Figura 2, donde las inundaciones dejan un 15,3% de víctimas fatales. (Secretaría de Planeación Departamental, 2011).

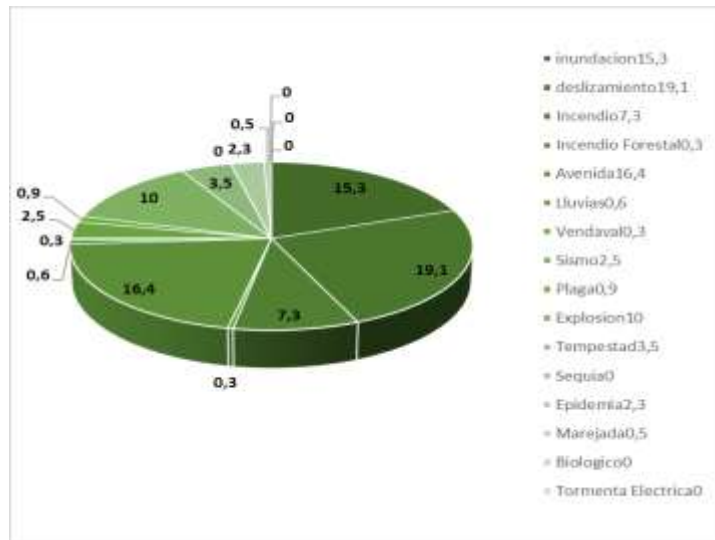
En los municipios del Norte y Centro del Valle del Cauca existe una precaria planeación territorial en el tema de gestión del riesgo, que incorpore la prevención y reducción de los mismos en los procesos de ordenamiento territorial, lo cual hace que hoy exista un alto número de viviendas y habitantes en zonas riesgosas, muchos de ellos en condiciones de riesgo no mitigable. (Secretaría de Planeación Departamental, 2011).

Figura 1. Reportes de desastres en el Valle del Cauca – (1970 a 2002)



Fuente: Secretaría de Planeación Departamental, 2011.

Figura 2. Víctimas fatales por tipo de evento 1970 – 2002



Fuente: Secretaría de Planeación Departamental, 2011

En el reporte de desastres del Valle del Cauca por año, el desastre que se presenta en mayor proporción son las inundaciones, las cuales representan el 15% en la dejación de víctimas fatales. (Secretaría de Planeación Departamental, 2011).

En los años (2006-2014) en el Valle del Cauca se ha presentado un gran número de víctimas damnificadas (461.840) y fatales (151) por los desastres naturales, incluidas las inundaciones, según lo reporta el DNP (Departamento Nacional de Planeación, 2015). El mayor porcentaje de damnificados por las inundaciones son los que habitan en las cuencas de los ríos en la zona Norte (ver Figura 3), ya que las crecientes de los mismos son provocadas por las lluvias y dicho fenómeno no se puede controlar.

Figura 3. Población localizada en áreas susceptibles a inundarse



Fuente: DPN Departamento Nacional de Planeación (2016).

Las inundaciones son la primera causa de muertes por fenómenos hidrometeorológicos (DNP, 2015), esto a nivel nacional y en el listado creado por el DNP el Valle se encuentra dentro de los diez departamentos afectados por este desastre natural, ubicándose en el puesto octavo (ver Tabla 1).

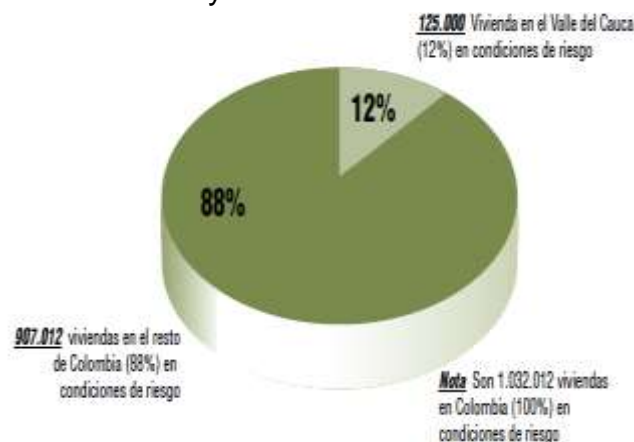
Tabla 1. Afectados por inundación en Colombia 2006-2014

	Departamento	Población proyectada 2015	Eventos	Muertos	Afectados
1	Antioquia	6.456.299	1.384	586	490.459
2	Cundinamarca	2.680.041	2.206	243	264.539
3	Caldas	987.991	507	223	130.914
4	Tolima	1.408.272	1.576	215	269.395
5	Cauca	1.379.169	1.105	198	784.384
6	Santander	2.061.079	1.581	195	420.405
7	Norte de S.	1.355.787	669	167	176.992
8	Valle	4.613.684	1.262	151	461.840
9	Boyacá	1.276.407	1.252	150	414.286
10	Nariño	1.744.228	1.110	141	586.152

Fuente: DPN Departamento Nacional de Planeación, (2015).

El Departamento Nacional de Planeación en el año 2005 mostró las siguientes cifras para el Valle del Cauca: el 12% de las viviendas del departamento están en condiciones de riesgo (ver Figura 4) (DNP, 2005.)

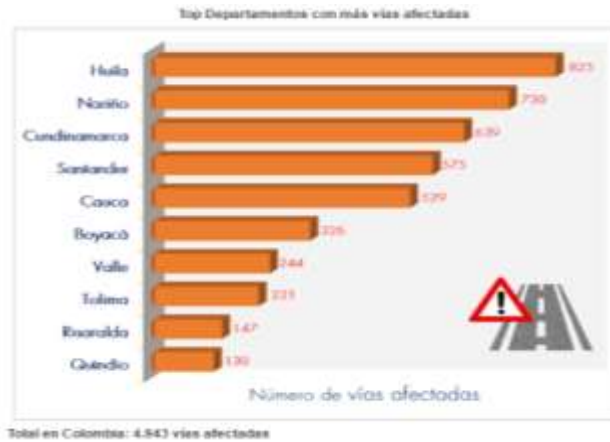
Figura 4. Viviendas en Colombia y en el Valle del Cauca en condiciones de riesgo



Fuente: Secretaría de Planeación Departamental, 2011

El Valle del Cauca también se ve afectado por las inundaciones en sus vías como lo muestra la figura 5.

Figura 5. Vías afectadas por inundaciones en el Valle del Cauca.



Fuente: DPN Departamento Nacional de Planeación(2015)

Los efectos provocados por las inundaciones impactan los entornos económico, social y ambiental. Económicamente las inundaciones generan pérdidas en el sector agrícola en el cual se presentó las siguientes afectaciones: en caña de azúcar se afectaron 20.000 ha, en sorgo, maíz, y soya 12.050 ha, en Pastos 4.715 ha, en Café 5.401 ha, 3.254 ha, en pequeñas producciones 25.580 ha, para un total de 71.000 hectáreas afectadas, (Secretaría de Planeación Departamental, 2011). La actividad económica de las personas fue modificada, como cambios en las tasas de empleo. (CEPAL, 2012).

A nivel social se presentan efectos como escases de alimentos, contaminación de agua potable, propagación de enfermedades virales, proliferación de microorganismos, viviendas y vías afectadas (Mejía & Chicué. 2014).

Con menores costos económicos se vieron afectadas prácticamente todas las actividades económicas y sociales. Por sus implicaciones sociales, se destacan los daños en los servicios de agua y educación, y en lo productivo las afectaciones en el agro y la energía (CEPAL, 2012).

A nivel ambiental se ven afectados los cultivos y contaminación de las fuentes hídricas. Como consecuencia de los factores climáticos y antrópicos que deterioran el medio ambiente se presentan efectos acumulativos: (a) detrimentos en cantidad y calidad de suelos y vegetación, y la contaminación de suelos y aguas por

escurrimiento de aguas negras o contaminadas, y por arrastre de residuos sólidos; (b) afectación de la dinámica de ecosistemas, de áreas protegidas, especies de interés ecológico y la biodiversidad; (c) pérdida de superficie boscosa y de sus servicios ambientales; (d) reducción de la capacidad de retención del agua en el subsuelo y la elevación de la capa freática en planicies, humedales y ciénagas (Banco Interamericano de Desarrollo - BID Comisión Económica para América Latina y el Caribe – Cepal, 2012). Estos datos se resumen en la Tabla 2

Tabla 2. Daños causados por las inundaciones en el departamento del Valle del Cauca, 2012. (Millones de pesos).

Depto.	Hábitat	Infraestructura	Servicios sociales y administración pública	Productivos	Total	Participación (%)	Porcentaje de PIB departamental
Valle del Cauca	149 860	77 915	704 440	31 532	963 747	8,6	1,8

Fuente: Cepal, 2012.

Actualmente pocas regiones cuentan con modelos operacionales de respuesta (IFRC, 2010), lo cual hace ineficiente la reacción ante una emergencia, generando periodos de tiempo prolongados para la atención de la población, lo cual puede traer consigo costos sociales ya que la población puede verse afectada gravemente y en el peor de los casos víctimas letales. Es por ello que con el propósito de mitigar los impactos generados por dicho desastre natural y buscando cubrir las necesidades básicas de la población afectada, se recurre a la logística humanitaria.

La logística humanitaria involucra casi el 80% de las actividades y de la efectividad de las operaciones de asistencias a desastre y tiene como objetivo, reducir el sufrimiento y garantizar la seguridad de la población. La logística humanitaria se materializa con las actividades de logística de transporte, logística de almacenamiento y logística de distribución. (Hernández et al, 2016).

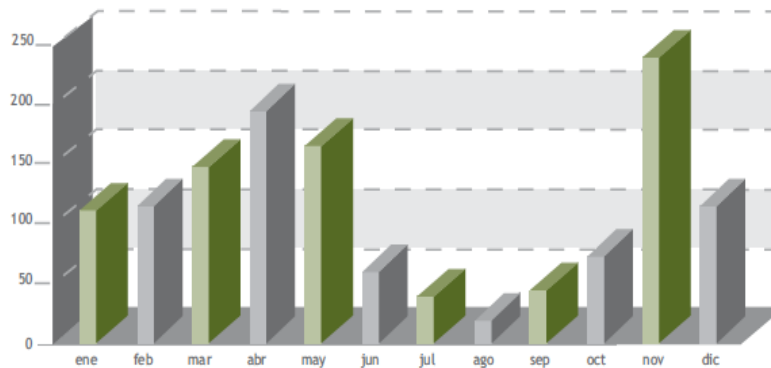
Con base en lo anterior, se genera la siguiente pregunta:

¿Cómo proponer un modelo de localización de albergues temporales y un modelo de ruteo de personal especializado para atender una población vulnerable ante un desastre natural en un municipio de la región, partiendo de un centro de distribución?

3. JUSTIFICACIÓN

Los fenómenos del Niño y de la Niña causan desastres en sectores propensos a sufrir las consecuencias del cambio climático. Los sismos, deslizamientos y erosiones son algunos de los riesgos de origen natural, aunque también existen los riesgos antrópicos que son aquellos provocados por el ser humano que afectan en gran medida y contribuyen a que se presenten cualquier tipo de desastres. Sin embargo, la sismicidad e inundaciones son factores característicos del Valle del Cauca donde en los últimos meses ha generado diferentes consecuencias a esta región del sur occidente colombiano (Castro, 2016). (Ver Figura 6).

Figura 6. Histograma mensual-multianual de los desastres por inundaciones, avenidas y deslizamientos en el Valle (DesInventar- OSSO)



Fuente: Secretaria de Planeación Departamental

Los desastres naturales originan un volumen considerable de operaciones logísticas que soportan las actividades de ayuda a la población afectada (Thomas, 2003; Beamon, 2004; Guha-Sapir, 2012)

En el Valle del Cauca una gran parte de la población se encuentra expuesta a ser víctima del posible desastre (inundaciones) que puede ocurrir en la zona, por lo cual es necesario desarrollar un modelo de localización de unidades de apoyo ubicados de forma estratégica y el ruteo de personal capacitado o especializado de tal modo que se contribuya a una mayor cobertura en la zona, por lo tanto, generar una rápida reacción ante la ocurrencia de este tipo de desastre, minimizando los efectos provocados en la población.

Los principales beneficiados con este trabajo son la población del Centro del Valle del Cauca, a pesar de que no toda se encuentra expuesta a desastres naturales,

los efectos sociales abarcarían toda la región, teniendo una relación con la economía del departamento y el bienestar de las personas.

En el año 2011 a nivel mundial se identificaron más de 30.000 víctimas fatales, 245 millones de damnificados, pérdidas económicas que oscilan en los 386 billones de dólares, debido a los diferentes tipos de desastres. En Colombia se registraron 28 mil eventos en los últimos 40 años, 60% de estos registros desde 1990 a 2011, 623 mil millones de pesos en indemnizaciones por temporada invernal 2010-2011 (Osorio, 2014), es decir, en los últimos años se han presentado varios tipos de desastre que afectan directa e indirectamente a la población y su entorno.

Todo esto permite desde el punto de vista de la ingeniería ver el reto más importante que enfrenta la logística humanitaria que corresponde a la coordinación de las actividades logísticas (Kovács & Spens, 2009) y hacer uso de la administración de los recursos en ambientes caóticos junto con la incertidumbre propia del estado de la situación de emergencia, lo cual constituye una actividad logística compleja (Osorio, 2014).

Con este trabajo se busca contribuir a una atención oportuna a los damnificados de la región, donde los albergues temporales se encuentren bien localizados para dicha atención, y del mismo modo el centro de distribución, para así lograr una efectiva distribución de los recursos humanos y materiales, de la misma forma encontrar la mejor ruta que debe seguir el personal especializado para la atención de la población afectada.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Proponer un modelo de localización de albergues temporales y ruteo de personal especializado, que contribuya a una atención oportuna de la población vulnerable ante un desastre en la región.

4.2 Específicos

- Realizar un diagnóstico de la zona y población afectada por algún desastre en la región, identificando los desastres con mayor relevancia.
- Formular un modelo que involucre los factores relevantes identificados en el diagnóstico.
- Realizar un análisis de posibles escenarios del modelo a partir de la variación de parámetros de interés.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. MARCO TEÓRICO

Antes de definir las principales características y desarrollos que se han establecido en torno a la Logística Humanitaria, es necesario conocer primero el papel fundamental que cumple actualmente la administración de la cadena de abastecimiento dentro de la logística, la cual consiste en la integración de las funciones principales de un negocio desde el usuario final a través de proveedores originales que ofrecen productos, servicios e información que agregan valor para los clientes y stakeholders, (Stock & Lambert, 2001); adicionalmente Ballou (2004) expresa que la administración de la cadena de suministros abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados, los materiales y la información fluyen en sentido ascendente y descendente en la cadena de suministros.

Según Garcés, (2010) la cadena de suministros engloba todos los procesos de negocio, las personas, la organización, la tecnología y la infraestructura física que permite la transformación de las materias primas en productos y servicios a través de diferentes empresas hasta convertirse en un producto terminado de valor para un consumidor. Chopra & Meindl (2008), dicen que una cadena de suministro son todas aquellas partes involucradas o funciones que participan de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente.

Como parte del proceso de gestión de la cadena de suministros, se encuentra la logística la cual planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes (Ballou, 2004).

Según Sahid, (1998) citado por Betancour (2012), en su artículo Logística, dice, que la logística es una disciplina que tiene como misión diseñar, perfeccionar y gestionar un sistema capaz de integrar y cohesionar todos los procesos internos y externos de una organización, mediante la provisión de gestión de los flujos de energía, materia e información, para hacerla viable y más competitiva, satisfaciendo las necesidades del consumidor final.

Entonces, la logística tiene como misión eliminar todas aquellas actividades que comprometen costos sin agregar valor, con el fin de aumentar la eficiencia del sistema y ofrecer una rápida velocidad de respuesta a los requerimientos de los clientes (Monterroso, 2000).

La logística tiene varios campos de acción por lo cual se puede clasificar en varios tipos como: logística empresarial, logística inversa, logística hospitalaria y la logística humanitaria.

Según Carro & González (2013) en su libro *Logística Empresarial*, desde el punto de vista de la organización, las tareas de la logística (inmediatez en la entrega, los ciclos de vida cada vez más cortos y las exigencias de mayor calidad a un menor costo, todo esto sin tener en cuenta el incremento en los costos que genera la creación de valor en el cumplimiento de estos requerimientos) pueden considerarse de dos maneras: como simple medio para colocar los productos en el mercado o como un sector de la empresa que diseñado y administrado correctamente, aporta ventajas competitivas claves. Por lo cual se define que la logística Empresarial apunta a proveer a los clientes del producto correcto, en el lugar correcto y en el momento correcto (Viera et al, 2012).

Por otro lado, la logística inversa o logística verde la cual nace como respuesta a la preocupación por el medio ambiente, debido a la degradación acelerada que le hemos provocado al mismo, esto según Vázquez, quien cita que la logística inversa es el conjunto de actividades logísticas de recogida, desmontaje y procesado de productos usados, partes de productos o materiales con vistas a maximizar el aprovechamiento de su valor y, en general, su uso sostenible. (Angulo, 2003). Rogers & Tibben-Lembke (1998) definen la logística inversa como el proceso de mover bienes desde su destino final con el propósito de capturar valor, o tener una disposición final apropiada de los mismos.

Por otra parte, la logística hospitalaria es una herramienta que permite el manejo adecuado de recursos, integra todas las actividades desde la obtención de materia prima, almacenaje, distribución final, hospitalización y salida del paciente (Figuroa et al., 2016). Adicionalmente Amaya et al. (2010) dicen que la logística hospitalaria agrupa las actividades de transformación y de flujo de recursos y pacientes que soportan la prestación de los servicios de salud.

La logística también hace parte del proceso de ayuda que se les brinda a las personas afectadas por diversos tipos de desastres ya sea natural o no, con el fin

de brindar una atención oportuna a la población damnificada, es decir, la logística también está enfocada en el ámbito humanitario (Goyes, 2016).

La logística humanitaria se define entonces como el proceso de planeación, implementación y control efectivo y eficiente de los flujos de productos, materiales e información desde los donadores – individuos y organizaciones – hasta las personas afectadas, con el fin de atender sus necesidades de supervivencia (Gaytán et al. 2010).

Su objetivo fundamental es satisfacer las necesidades de las personas afectadas por un desastre lo más rápido posible. Esto incluye proveer de soporte, servicios, materiales y transporte a los involucrados en la asistencia a los damnificados (Viera et al., 2012).

La ayuda humanitaria ante una emergencia se debe gestionar de la manera más eficiente posible, Wassenhove (2006) identifica cuatro etapas básicas las cuales son mitigación, preparación, respuesta y recuperación. Las dos primeras etapas tienen lugar antes de la ocurrencia del desastre y son cruciales para reducir el riesgo, la tercera etapa se lleva a cabo durante el desastre y en los instantes de tiempo inmediatamente posterior al desastre, siendo un aspecto importante es la ayuda que proviene fundamentalmente de donaciones luego de ocurrido el desastre. Este hecho no solamente garantiza la existencia de suministros adecuados, sino que puede ser inclusive contraproducente, por ejemplo, grandes diferencias entre lo donado y lo necesario en cantidad y función, si no es gestionado adecuadamente y la propia infraestructura sobre la cual se realizan las actividades puede estar seriamente dañada o sufrir daños durante el desarrollo del desastre (Viera et al, 2012). Esto hace que la coordinación y la colaboración sean elementos claves cuando un desastre ocurre, esto permite observar que una de las fallas que se han encontrado es la falta de un sistema coordinado que facilite el desempeño, recibo y distribución de ayuda humanitaria (Guerra de Castillo et al, 2012) y, la cuarta etapa es ejecutada tiempo después al desastre, donde se busca el desarrollo normal de las actividades. Dentro de la logística humanitaria se deben tener en cuenta criterios que proporcionan un mayor panorama para la toma de decisiones y, así cumplir con su objetivo de brindar una atención oportuna a la población damnificada (Goyes, 2016).

Uno de los criterios importantes dentro de la logística humanitaria es la localización de albergues o centros de ayuda para la atención de la población vulnerable. La oferta de albergues (capacidad y ubicación) incluye el uso de recintos oficiales y,

cuando sea necesario, el uso de locales privados, (Acosta & Almendras, 2011). Se puede hablar de una localización óptima cuando las zonas en la que están ubicadas dichas instalaciones, permiten el suministro de bienes y servicios; esta localización óptima de instalaciones es un problema que se presenta en diversas áreas y contextos (Conejo et al., 2013).

El número de albergues y la capacidad requerida se determina de acuerdo al tamaño de la población afectada; donde el número de puntos de distribución, se establecen de acuerdo a criterios de cobertura y cercanía con dicha población (Reyes, 2015). La toma de decisiones sobre localización según Serpa (2014) implica tanto la disposición geográfica, como el número y tamaño de las instalaciones que se utilizarán.

La asignación de recursos y el ruteo de los vehículos son los temas más estudiados en logística de emergencias. Para la asignación óptima de los recursos es necesario hacer una evaluación de daños y de vulnerabilidad de la población, con el propósito de identificar los bienes y servicios vitales para la mitigación del impacto del desastre ocurrido (Holguin et al., 2012). Un problema de ruteo de vehículos (VRP) consiste en, dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, determinar un conjunto de rutas maximizando o minimizando determinada función de desempeño, que comiencen y terminen en los depósitos, para que los vehículos visiten a los clientes máximo una vez. Dentro de esta definición, el problema se ubica en un amplio conjunto de variantes entre ellos: CVRP (Daza et al., 2009). Este problema consiste en la obtención de un conjunto de rutas a un mínimo costo, donde cada una comienza y termina en un punto inicial o depósito y atiende a todos los clientes, cada cliente con una demanda determinada, debe ser atendido por un vehículo y esta demanda no puede exceder la capacidad del mismo (Rocha et al., 2011).

La distribución de suministros de ayuda humanitaria se realiza a partir de las decisiones operativas de la gestión post desastre, ya que usualmente son decisiones que se toman en tiempo real como consecuencia de la variabilidad de la demanda. La operación de la distribución de ayudas humanitarias se realiza una vez se haya determinado la ubicación de albergues y puntos de distribución, seguido de la asignación de recursos de acuerdo a la variabilidad de la población a atender (Song, He & Zhang, 2009).

El proceso de abastecer centros de distribución y/o suministrar ayuda a los damnificados está definido a partir de supuestos, como la certidumbre en el estado de las vías (Hamedi et al., 2012),

En las decisiones de transporte no sólo se involucra la selección del mejor método de transporte de los productos, sino también el diseño de rutas más adecuado para encontrar el mejor camino que debería seguir un vehículo en la red de transporte que minimice el tiempo, la distancia o los costos, maximizando la utilización del equipo de transporte (Bowersox et al., 2002).

Sin embargo, el desempeño y eficiencia del ruteo no depende solamente del punto anterior, también por la incertidumbre de las vías, la capacidad de los vehículos, el número de damnificados atendidos y la longitud de las rutas de los vehículos (Hamedi et al., 2012; Özdamar & Demir, 2012).

Algunas de las técnicas usadas mediante la modelación matemática para dar solución a las problemáticas generadas en la logística humanitaria son, programación lineal entera mixta (Reyes et al., 2014), para problemas NP-HARD se hace uso de métodos heurísticos (Contreras y Díaz, 2010); (Glover & Kochenberger), en cuanto a posibles modelos de demanda (que determinan las políticas de inventarios) se utiliza el EOQ (Economic Order Quantity), es un modelo clásico (Axsater, 2006).

Algunos autores (Silver et al., 1980) proponen la siguiente clasificación de métodos de resolución mediante heurísticos: Métodos constructivos, que se caracterizan por construir una solución definiendo diferentes partes de ella en sucesivos pasos; métodos de descomposición, los cuales dividen el problema en varios más pequeños y la solución se obtiene a partir de la solución de cada uno de estos; métodos de reducción, que tratan de identificar alguna característica de la solución que permita simplificar el tratamiento del problema; métodos de manipulación del modelo, obtienen una solución del problema original a partir de otra de otro problema simplificado (con menos restricciones, linealizando el problema, etc.). En este contexto, los modelos de ayuda a la decisión se convierten en herramientas cruciales para dar una respuesta eficaz y eficiente. El uso de estas herramientas, basadas en su mayoría en modelos matemáticos, se está extendiendo cada vez más. Los modelos de ayuda a la decisión en logística humanitaria incluyen múltiples disciplinas de las matemáticas, y en particular, de estadística y de investigación operativa. Dos modelos de este tipo son SEDD y HADS, enfocados a la estimación inicial de las consecuencias de un desastre y a la distribución en terreno de ayuda humanitaria, respectivamente (Brzezicki, 2011).

5.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Administración de desastres**

Se entiende por administración de desastres, el cuerpo de las políticas y decisiones administrativas y actividades operacionales que pertenecen a las diferentes etapas del desastre en todos sus niveles (Gestionderiesgosysalud-fm.wikispaces.com, s.f).

- **Desastre**

Es una ruptura extrema del funcionamiento de una sociedad que origina pérdidas de vidas humanas, materiales o daños medioambientales a gran escala, que superan la capacidad de la sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando únicamente sus propios recursos (Itc.nl, s.f).

Un desastre es un suceso, natural o causado por el hombre, de tal severidad y magnitud que normalmente resulta en muertes, lesiones y daños a la propiedad y que no puede ser manejado mediante los procedimientos y recursos rutinarios del gobierno. Afecta los niveles tangibles e intangibles de una comunidad haciendo que estas se alteren o se descompensan, sin embargo, muchas de sus causas y consecuencias se pueden prevenir o mitigar (nestorfuenmayor, 2008).

Los desastres naturales incluyen los siguientes tipos:

- Desastres meteorológicos: ciclones, tifones, huracanes, tornados, granizadas, tormentas de nieve y sequías.
- Desastres topográficos: deslizamiento de tierra, avalanchas, deslizamientos de lodo e inundaciones.
- Desastres que se originan en planos subterráneos: sismos, erupciones volcánicas y tsunamis (olas nacidas de sismos oceánicos).
- Desastres biológicos: epidemias de enfermedades contagiosas y plagas de insectos.

Los desastres provocados por el hombre:

- Guerras: convencionales (bombardeo, bloqueo y sitio), no convencionales (con armas nucleares, químicas y biológicas).
- Desastres civiles: Motines y manifestaciones públicas.
- Accidentes: en transportes (aviones, camiones, automóviles, trenes y barcos), colapso de estructuras (edificios, puentes, presas, minas y otras), explosiones, incendios, químicos, desechos tóxicos y contaminación (Moreno, 2012).

- **Inundación**

La ocupación por parte del agua de zonas o regiones que habitualmente se encuentran secas. Normalmente es consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de una cantidad de agua superior a la que puede drenar el propio cauce del río, aunque no siempre es este el motivo. Las inundaciones se producen por diversas causas (o la combinación de éstas), pueden ser causas naturales como las lluvias, oleaje o deshielo o no naturales como la rotura de presas (Floodup.ub.edu, 2016).

Es ocasionada cuando al no poder absorber el suelo y la vegetación toda el agua cuando llueve, ésta fluye sin que los ríos sean capaces de canalizarla ni los estanques naturales o pantanos artificiales creados por medio de presas que puedan retenerla (Definista, 2014).

- **Desastres causados por inundaciones**

Como se mencionó las inundaciones hacen parte de los desastres de tipo topográfico. En la mayoría de los casos las inundaciones se pueden predecir, ya que ocurren, bien porque la acción del hombre las propicia o porque su falta de acción no permite evitarlas. Se pueden encontrar siete tipos de inundaciones, los cuales se presentan a continuación.

- Inundaciones pluviales: suceden cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno para drenarla, acumulándose por horas o días sobre éste.
- Inundaciones fluviales: se generan cuando el agua que se desborda de ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos.
- Inundaciones costeras: la marea de tormenta que se desarrolla durante ciclones puede afectar zonas costeras, sobre elevando el nivel del mar hasta que éste penetra tierra adentro, cubriendo en ocasiones grandes extensiones.
- Inundaciones por ruptura de bordos, diques y presas: cuando falla una obra contenedora de agua, ocurre una salida repentina de una gran cantidad de agua, provocando efectos catastróficos e inundación de amplias extensiones de terreno (Aragon.unam.mx, s. f).

- **Amenaza**

Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural, antropogénico tecnológico o industrial, que se anticipa puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y/o el ambiente expuestos. Es un factor de riesgo externo que expresa la probabilidad de que un evento se presente con una cierta intensidad, en

un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido (Martinez & Vargas, 2007).

- **Riesgo (colectivo)**

Posibilidad o peligro de sufrir daños o pérdidas. Es la probabilidad de que se presente un determinado nivel de efectos adversos de carácter económico, social o ambiental en un sitio particular y durante un periodo de tiempo definido, cuya magnitud y severidad son tales que afectarían la comunidad en general. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Lavell, 2004).

- **Mitigación de riesgos**

Planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir o disminuir el riesgo existente. La mitigación asume que en muchas circunstancias no es posible, ni factible controlar el riesgo totalmente, es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias sino más bien reducirlos a niveles aceptables y factibles. La mitigación de riesgos puede operar en el contexto de la reducción o eliminación de riesgos existentes, o aceptar estos riesgos y, a través de los preparativos de alerta (temprana), etc, buscar disminuir las pérdidas y daños que ocurrieran con la incidencia de un evento peligroso (Lavell et al., 2003).

- **Gestión del riesgo**

Proceso social complejo que conduce al planteamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas de intervención orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos sobre la población, la infraestructura, los sistemas productivos, los bienes y servicios y el ambiente. Acciones integradas de reducción, previsión y control de riesgos y los factores particulares de riesgo a través de actividades de prevención, mitigación, preparación y atención de emergencias y desastres y la rehabilitación, reconstrucción y recuperación post-impacto (Secretaría de Planeación Departamental Valle del Cauca, 2012).

- **Post desastre**

Conformado por acciones para la recuperación del estado luego del desastre (Trabajoenaltura.co, s.f).

- **Prevención**

Etapas que incluye todo tipo de medidas que tengan como objetivo prevenir que ocurran desastres (Viera et al., 2012).

- **Mitigación**

Es el proceso a través del cual se designan e implementan las medidas para prevenir y reducir los riesgos asociados con los desastres. Al reducir, ya sea la probabilidad de que ocurran o el impacto de los mismos. Ejemplos de esto son: control del uso de tierras, barreras, incentivos o desincentivos impositivos, análisis de riesgos, seguros, etc (Viera et al., 2012).

- **Preparación**

Etapa que refiere fundamentalmente a las actividades que permiten preparar a la comunidad para responder cuando ocurre un desastre, e incluye entre otras actividades: reclutamiento de personal, planificación para las emergencias, organización de los recursos para emergencias, sistemas de comunicaciones, etc (Viera et al., 2012).

- **Respuesta**

La cual solo se lleva a cabo durante el evento e inmediatamente después de su ocurrencia. Durante esta etapa se emplean recursos y procedimientos, en general guiándose por planes ya establecidos, para preservar vidas, propiedades, el medio ambiente y las estructuras sociales, económicas y políticas de la comunidad (Viera et al., 2012).

- **Recuperación**

Es el proceso a través del cual se minimizan los efectos a largo plazo de una situación de emergencia y se facilita el restablecimiento a condiciones tal como eran antes de la ocurrencia del desastre o aún mejores de ser posible. En esta etapa se debe llevar a cabo la Rehabilitación, que es cualquier actividad que tenga por objetivo restituir a la normalidad los problemas causados por el desastre, y la Reconstrucción, que implica reparar y reconstruir propiedades luego del desastre (Viera et al., 2012).

- **Vulnerabilidad**

En el contexto de la gestión del riesgo, es el factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca o susceptibilidad física, económica, social y política que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que se manifieste un fenómeno peligroso de origen natural, socio natural o antropogénico. Representa, además una falta de resiliencia para recuperarse posteriormente (Cardona, 2005).

- **Damnificado**

Cuando una persona ha padecido graves perjuicios como consecuencia de alguna catástrofe natural o algún accidente (Definición ABC, 2007).

- **Albergue**

Lugar físico creado e identificado como un lugar seguro, que cuenta con todos los medios necesarios para hospedar por un periodo corto, mediano y largo plazo a un grupo de personas afectadas por los resultados del impacto de una amenaza, con las garantías esenciales para garantizar la dignidad humana, conservando la unidad familiar y la cultura de las personas afectadas, así como su estabilidad física (mental) y psicológica.

(Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana Dirección General del Socorro Nacional, 2008)

- **Albergue temporal**

Es el lugar donde se proporciona temporalmente techo, alimentación, vestido y salud a personas vulnerables, antes, durante o después de la ocurrencia de un fenómeno destructivo o después de la ocurrencia de este.

Tipo de albergues temporales

- Auto albergue: es cuando la población afectada es acogida por familiares o amigos.
- Comunitarios, se puede encontrar dos clases:
 - Infraestructura Instalada: estos son lugares que se utilizan de manera transitoria, para el alojamiento de personas o comunidades que se ven afectadas por los efectos de un desastre; normalmente se usan las escuelas, colegios, polideportivos o estadios entre otros para el montaje de estos. Esto se debe a que por lo general este tipo de espacios cuentan con los servicios básicos, áreas comunes amplias, y se facilita el acceso de salud y la administración general del albergue.
 - Campamentos de emergencia: este tipo de alojamiento son construidos con los requisitos mínimos necesarios para poder brindar condiciones dignas de vida a las personas afectadas. En estos se pueden garantizar la permanencia temporal de personas o familias en tiendas de campaña, carpas o materiales livianos de fácil remoción en los cuales se requiere que se implementen todo el sistema de los servicios básicos e intervención social.

- Fijos: Son construcciones que cuentan con los servicios básicos esenciales para la permanencia temporal de personas. Estos lugares pueden ser edificaciones que hacen parte del estado o de las organizaciones privadas y que pueden ser adaptadas para la implementación de los albergues temporales de manera inmediata o que se prestan de manera permanente y la temporalidad está dada por el beneficiario y no por la infraestructura.
- Multi-albergue: se requieren en desastres de grandes magnitudes donde es necesario albergar a las personas en diferentes lugares en el mismo sector. Para esto se tendría en cuenta los tipos de albergue: Auto albergue y comunitario, fijo de acuerdo a los diferentes escenarios que se presentan como consecuencia de la organización propia de las comunidades para acceder a recursos por parte del estado u organizaciones humanitarias.
- Estrategias gubernamentales:
 - Subsidio de arriendo: Esta alternativa suele utilizarse cuando existe la posibilidad que la o las personas afectadas cuenten con un recurso económico para costear el alquiler o arriendo de una vivienda, que garantice las condiciones mínimas de hábitat. En referencia al alojamiento mediante el alquiler o arriendo es común que este tipo de acciones sean subsidiadas por el estado.

(Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana Dirección General del Socorro Nacional, 2008)

- **Planificación, gestión de recursos y Gestión de la información**

Componente fundamental al momento de implementar un sistema logístico humanitario eficaz y eficiente.

(Gunasekaran & Ngai, 2003).

- **Ayuda humanitaria**

Asistencia diseñada para salvar vidas, aliviar el sufrimiento y mantener y proteger la dignidad humana, en prevención o en situaciones de emergencia y/o rehabilitación (Intermón, 2014)

- **Donaciones**

Es el traslado de recursos que se conceden a instituciones sin fines de lucro, organismos descentralizados y fideicomisos que proporcionan servicios sociales y comunales para estimular actividades educativas, hospitalarias, científicas y culturales de interés general.

(Vidales, 2003).

- **Puntos de Distribución**

Instalaciones locales temporales en la zona afectada en el que los suministros se distribuyen directamente a los afectados. Estos son manejados por las autoridades locales.

(Afshar & Haghani, 2012).

- **Grafos**

Representación gráfica de diversos puntos que se conocen como nodos o vértices, los cuales se encuentran unidas a través de líneas que reciben el nombre de aristas. (Porto & Merino, 2008).

- **Localización**

La localización consiste en identificar lugares óptimos para instalar los albergues y puntos de distribución. Se puede hablar de una localización óptima cuando las zonas en la que están ubicados dichas instalaciones, permiten el suministro de bienes y servicios, como por ejemplo: acceso a agua potable, combustible para cocinar, iluminación, eliminación de desechos y evacuación de aguas residuales, además de la protección contra el frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento, y otros riesgos presentes en la situación; estos son los requisitos mínimos establecidos por las organizaciones de ayuda humanitaria.

(SCHR/VOICE/ICVA, 2004).

- **Ruteo**

diseño de rutas donde a partir de un depósito del que sale cada vehículo y al que tiene que regresar, luego de visitar una sola vez a los clientes para satisfacer su demanda conocida

(Bustos & Jimenez, 2012).

- **Alerta**

Estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos.

(CMRG, 2012)

- **Intervención**

Corresponde al tratamiento del riesgo mediante la modificación intencional de las características de un fenómeno con el fin de reducir la amenaza que representa o

de modificar las características intrínsecas de un elemento expuesto con el fin de reducir su vulnerabilidad.

(CMRG, 2012)

- **Manejo de desastres**

Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación pos-desastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entendiéndose: rehabilitación y recuperación.

(CMRG, 2012)

- **Brigada de emergencia o Unidad de apoyo**

Es un grupo de apoyo especializado y equipado, cuya finalidad es minimizar las lesiones y pérdidas que se puedan presentar como consecuencia de una emergencia.

(Jaramillo & Betancourt, 2010)

- **Cadena de socorro**

Es el mecanismo mediante el cual se puede brindar atención inmediata a un número determinado de lesionados con motivo de una situación de emergencia

(Jaramillo & Betancourt, 2010)

- **Comité de emergencias**

Estructura responsable de diseñar y coordinar la ejecución de las actividades antes, durante y después de una emergencia o desastre

(Jaramillo & Betancourt, 2010)

5.3. ESTADO DEL ARTE

Según Hernández (2013) la logística humanitaria es un proceso de planeación, implementación y control efectivo y eficiente de los flujos de productos, materiales e información desde los individuos y organizaciones donadoras o que hacen parte del proceso de apoyo a los damnificados, hasta las personas afectadas con el fin atender sus necesidades de supervivencia.

Algunas definiciones que se le han dado a la logística humanitaria son las siguientes:

- Prestar asistencia a las personas afectadas por el desastre o a las organizaciones encargadas de su manejo, procurando una entrega proporcional, equitativa y controlada para evitar los abusos y el desperdicio. (OPS Organización Panamericana de la Salud, 2001:131)
- Los recursos disponibles, el estado de la infraestructura, factores ambientales y culturales constituyen los principales requerimientos para desarrollar los planes estratégicos, tácticos y operativos de los sistemas logísticos humanitarios (Jaller, 2011)” (MORENO, 2014:39).

La logística humanitaria nace como respuesta a la necesidad de atención de la población afectada por la cantidad de desastres naturales que ocurren a nivel mundial así lo afirman el programa Estrategia Internacional para Reducción de Desastres de la ONU (UN/ISDR, por sus siglas en inglés United Nations/International Strategy for Disaster Reduction, 2010), donde en el 2004 el total de desastres naturales a nivel mundial fue de 305. Éstos afectaron a 150.5 millones de personas y provocaron 244.577 muertes. El número de desastres se incrementó a 360 en el 2005, afectando a 157.5 millones de personas y provocando 91.963 muertes” (Gaytán; Arroyo & Enríquez, 2010:10), esto, ya que generalmente se carece de programas de gestión para la atención de la sociedad vulnerable a estos eventos; EM-DAT (base de datos eventos de emergencias), citado por Reyes (2015), afirma que “el 39% de los desastres reportados en el mundo se atribuyen a las inundaciones”.

En la tabla 3 se puede observar la clasificación de los desastres naturales, y en la figura 7 se observa los países con más desastres naturales en el 2013.

Tabla 3. Clasificación de los Desastre Naturales

Tipo	Desastre
Biológico	• Epidemias
	• Infestación de Insectos
	• Estampida de Animales
	• Terremotos
Geofísico	• Volcanes
	• Movimiento de Masas (Seco) Caída de Rocas - Deslizamientos - Avalanchas – Hundimientos
	• Inundaciones
Hidrológico	• Movimiento de Masas (Húmedos) Caída de Rocas - Deslizamiento - Avalanchas – Hundimientos
Meteorológico	• Tormentas
Climatológico	• Temperaturas Extremas
	• Sequias
	• Incendios

Fuente: Goyes & Salazar (2016). *Logística Humanitaria: Seguridad Agroalimentaria*

Figura 7. Países con más desastres naturales en el 2013.



Fuente: Goyes & Salazar (2016). *Logística Humanitaria: Seguridad Agroalimentaria*

A medida que se van incrementando los desastres naturales también van aumentando las necesidades de la población para sobrevivir ante estos sucesos. Cuando la población sufre estas adversidades quedan con múltiples necesidades como, por ejemplo, no contar con una vivienda justa y cómoda, alimentos dignos y sanos, atención médica inmediata, suministro de medicinas y/o apoyo psicológico, ya que en muchos casos sufren pérdidas de familiares (Goyes & Salazar, 2016).

A nivel mundial se ha despertado el interés por ayudar a las personas que después de un desastre natural quedan vulnerables. Dice Reyes (2015), cuando se presenta un desastre natural en este caso las inundaciones, la población afectada queda parcialmente aislada y vulnerable.

IFRC (2010) por sus siglas en inglés International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, citado por Reyes et al. (2014) plantea que para atender una emergencia post-desastre es necesario tener muy claro que la localización de los albergues y el centro de distribución debe estar bien diseñada estratégicamente, ya que los desastres no solo afectan las personas sino también la infraestructura parcial o total.

Investigaciones realizadas en Colombia permiten evidenciar que para prestar la ayuda oportuna post-desastre, IFRC, (2010), citado por Reyes et al. (2014), da a conocer que para ello interviene la colaboración de “organizaciones como la Cruz Roja de Colombia mediante el desarrollo de programas de capacitación a la población e instituciones, paralelo a ello se han desarrollado una serie de protocolos y lineamientos para gestionar la situación del sector” (IFRC, 2010).

Algunos de los modelos de optimización en logística humanitaria utilizados para la localización de instalaciones, son los modelos determinísticos mono-objetivos realizados por (Dessouky et al., 2006; McCall, 2006; Jia et al. 2007; Horner & Downs, 2010), y también los modelos estocásticos realizados por: (Balcik & Beamon, 2008; Chang et al., 2007; Duran et al., 2011), entre otros. (Caunhye, 2012)

El problema de ruteo de personal médico capacitado ha sido menos estudiado dentro del área de la logística humanitaria, las investigaciones en torno al ruteo se han concentrado en la distribución de bienes y elementos de primeros auxilios, por ejemplo autores como Reyes-Rubiano, Quintero-Araújo, & Torres-Ramos (2014) proponen un modelo de programación lineal entera mixta para el ruteo de personal especializado (no sólo médico) el cual incluye encargados de la construcción de albergues, voluntarios y personal para la asistencia psicológica y médica en una situación post desastre.

La situación post-desastre se presenta en un ambiente gobernado por la incertidumbre de elementos de ayuda y los escasos lugares de alojamiento para las víctimas, este último, debido a que las casas se encuentran dañadas o destruidas y, por lo tanto, las familias deben buscar un alojamiento alternativo hasta que una solución de vivienda permanente se pueda encontrar (Johnson, 2007).

Goyes & Salazar (2016), identifican que los retos a los que se encuentra enfrentada la logística humanitaria hoy en día se encuentran en aumento, y son mucho más complejos, como lo son la rapidez de la entrega, el movimiento de personas de la zona de conflicto (afectada), influencia del equipo humanitario, deficiencia en la capacidad de las ONG`s, falta de conocimiento, falta de inversión en tecnología y comunicación.

Esto permite comprender la necesidad de analizar el entorno referente a la disponibilidad de recursos y alojamiento y, las variables socioeconómicas y socioculturales que intervienen en este proceso.

En el entorno sociocultural en la situación de desastre intervienen elementos a tener en cuenta como: población afectada, efectos sobre la salud, patrimonio cultural/histórico afectado y costumbres, puesto que estas, aparte de proporcionar información pertinente a los encargados de las actividades de ayuda, representan características que se deben tener en cuenta para la atención de las personas, ya que diferentes culturas representan diferentes necesidades, incluso en situaciones de socorro.

El entorno socioeconómico está representado por aquellos factores inherentes a la distribución de los recursos, el cual es crucial en el análisis del entorno de la situación de desastre, aquí intervienen variables como disponibilidad de recursos, costo de transporte a los centros de ayuda y actividades económicas inducidas por el tipo de desastre.

En temas relacionados con el ruteo de personal capacitado y vehículos destinados para la atención de la población vulnerable, algunos autores hablan al respecto, como:

En la planificación Logística de Emergencia en Desastres Naturales (Özdamar, 2004) plantean uno de los problemas más frecuentes en la logística y es el ruteo de vehículos VRP que consiste en un número de clientes (cada uno representado como un nodo de destino) son atendidos por m vehículos idénticos ubicados en un depósito, cada vehículo regresa al depósito después de completar su viaje, la carga de un vehículo no puede exceder su capacidad en ninguna gira. Además, un cliente puede ser visitado sólo una vez y se supone que la capacidad de carga de un vehículo supera la demanda de cada cliente. Para lo cual es planteado un objetivo claro y es la minimización de la distancia total recorrida en cada ruta. Inicialmente los autores diseñaron un modelo que comprende algunas restricciones como:

equilibrio del flujo de materiales en los nodos de demanda y los nodos de transbordo e informa explícitamente la cantidad de demanda insatisfecha, equilibrio del flujo de vehículos sobre los nodos y balance de flujos materiales en nodos de suministro.

Para la generación de resultados se utilizó GAMS-XA Solver; concluyendo que el modelo toma en cuenta la oferta / demanda dependiente de la demanda y el tamaño de la flota, y facilita las actualizaciones de la programación en un entorno de toma de decisiones dinámico. En este estudio, se propone un enfoque heurístico basado en la relajación de Lagrange, AlgLR. El enfoque está perfeccionado mediante la actualización de los multiplicadores de Lagrange. Además, su desempeño en emergencias de tamaño realista se demuestra mediante un escenario de terremoto basado en las cifras de desgaste del terremoto de Izmit (1999, Turquía). Se observa que AlgLR puede hacer frente a desastres naturales de tamaño similar dentro de un tiempo de computación razonable.

Costa & Sarache (2014), comentan que en la literatura especializada existe abundante información sobre la aplicación de meta-heurísticas en la planeación de rutas, sin embargo, la mayoría de las investigaciones en este campo han sido desarrolladas bajo escenarios normales (ejemplo bajo condiciones meteorológicas normales). Los desastres naturales, por ejemplo, los huracanes, incrementan la complejidad en este tipo de problemas combinatorios. Por lo tanto, describen como base del planteamiento del problema la planificación de rutas para la reparación de averías eléctricas después de un desastre natural en el país de Cuba, La planificación de la ruta para reparar la avería eléctrica puede ser formulada básicamente como vendedor viajero múltiple, problema (mTSP), debido a algunas similitudes apreciables con esta variante teórica bien conocida de las VRP. Las similitudes residen en el despacho clásico de una flota homogénea de vehículos (con el personal técnico reparación bajo el escenario de vulnerabilidad), a la que un conjunto de nodos (lugares afectados) es asignado similar al mTSP, los nodos son una vez visitados por los vehículos y cada avería puede ser visitada por sólo un vehículo (vendedor).

Esto permite conocer que la función objetivo es minimizar los costos asociados a la distancia para cada arco, este caso se restringe en que se debe asegurar de que exactamente el vendedor salga y vuelva al nodo 1 (el sistema de despacho central), restricción de asignación y por último, evitar los sub-turnos. La estrategia de solución se presenta mediante el algoritmo llamado Multi-tipo de sistema de Colonia de Hormigas (M-ACS), superando un formidable enfoque de solución para mTSP, la heurística de Lin-Kernighan.

Adicionalmente, Alva & Vargas (2014) establecen un plan de despacho para la distribución de ayuda humanitaria a través de ruteo de vehículos en caso de un terremoto de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao. Para este plan realizaron un mapeo de los puntos de acopio tomando en cuenta los almacenes de insumos médicos. Además, aplicaron los métodos heurísticos como el de Cercanía de Puntos, Sweep o Barrido, Gran Ruta aplicando posteriormente el Método del Ahorro y Programación Lineal y el de Clasificación Ascendente Jerárquica; en éste último se consideraron diversos factores como la vulnerabilidad socioeconómica, vulnerabilidad por mala accesibilidad, la vulnerabilidad por la exposición a peligros y la cercanía de los puntos de acopio respecto al almacén central que los abastece para la creación de los clusters. Una vez concluidas todas las propuestas toman una decisión sobre el mejor modelo a seguir para la resolución de este VRP (Vehicle Routing Problem) basado en las distancias recorridas por el transporte hacia cada uno de los puntos que conforman los clusters establecidos. Usan el método Gran Ruta - Programación Lineal ya que tienen la menor distancia real recorrida y menor costo de transporte. También se consideró la cantidad de damnificados a asistir y se determinó la cantidad de recursos empleados por cada viaje de la flota vehicular terrestre.

Luego de la evaluación técnica y económica de la mejor propuesta se concluye que existe un beneficio importante generado por la propuesta asignar primero, rutear después (PPL-Método Gran Ruta) debido a que brinda una mejor alternativa en la capacidad de respuesta, en el que un segundo a favor podría significar salvar varias vidas, además reduce la distancia recorrida.

Otra parte importante dentro del tema de logística humanitaria en la revisión de la literatura se encuentran temas como la gestión de la cadena de suministros para así poder generar una atención oportuna a las personas afectadas por algún tipo de desastre natural.

En el estudio hecho por Wassenhove (2006), se reconoce la problemática que existe en temas de atención oportuna y manejo que se le da a las personas afectadas por algún tipo de desastre, ya que se logra visualizar la magnitud de las consecuencias que deja un desastre dentro de la población dejándolos vulnerables ante esta situación, por lo cual subraya el papel importante de la logística humanitaria y la gestión de la cadena de suministro, lo que involucra un suministro eficiente y eficaz, de tal modo que toda la ayuda llegue de la manera adecuada a las víctimas. Por lo cual la metodología utilizada consiste en clasificar los tipos de desastres empleando un enfoque cualitativo (ver Figura 8). Además, se identifican las fases o etapas necesarias para la gestión de cadenas de suministro. La gestión de desastres se

describe a menudo como un proceso compuesto de varias etapas, aunque hay desacuerdo entre los autores en cuanto a la estructura y la nomenclatura de las etapas (Kovács & Spens 2007, 2009; Altay & Green, 2006; Pettit & Beresford, 2005; Wassenhove, 2006; Lee & Zbinden, 2003; Thomas, 2003; Cottrill, 2002; Nisha de Silva, 2001; Long, 1997). Sin embargo, en su mayor parte, la literatura coincide en la existencia de las siguientes fases: Mitigación, Preparación, Respuesta, Reconstrucción (Ver Figura 9).

Figura 8. Tipos de desastres



Fuente: Van (2006).

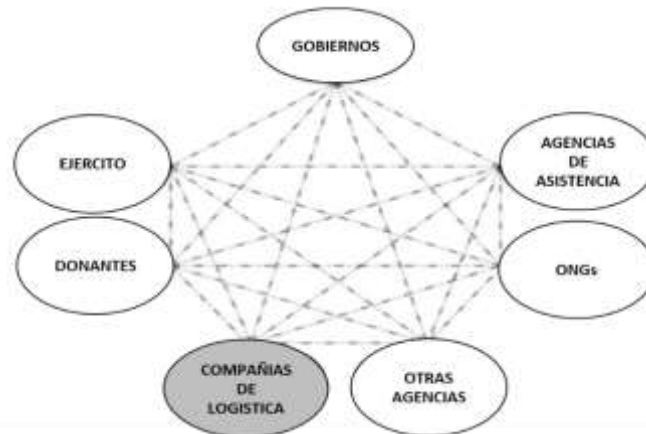
Figura 9. Flujo de la logística humanitaria



Los esfuerzos de socorro en casos de desastre se caracterizan por una considerable incertidumbre y complejidad, por lo que es necesario gestionarlos adecuadamente para abordar y aplicar mejores respuestas. Entonces, la gestión de desastres es un factor clave que impulsa la ejecución exitosa de los esfuerzos de socorro, y comienza con el diseño de procesos estratégicos. Respecto al flujo de logística humanitaria, es interesante que la transición entre las etapas involucre el cambio de enfoque de velocidad a reducción de costos en términos de desempeño operacional (Tomasini & Wassenhove, 2009). Cada etapa del proceso tiene un objetivo específico que se puede lograr mediante la aplicación de dos principios de la cadena de suministro: agilidad y ligereza (Cozzolino et al., 2012).

Una de las propuestas fue tener en cuenta los actores claves en la logística humanitaria, entendiendo que existe una complejidad en temas de relaciones humanitarias en la cadena de suministro. Estos actores se pueden clasificar como: el gobierno, fuerzas armadas, agencias de ayudas, donantes comunes, ONG y empresas del sector privado (Ver Figura 10).

Figura 10. Modelo de relaciones humanitarias.



Fuente: Wassenhove (2006).

En el trabajo de Mejía (2012), diseña un modelo exacto multicriterio para la etapa de prevención y un modelo heurístico multicriterio para la etapa de respuesta a inundaciones frecuentes que integra las principales operaciones humanitarias, para que ambos sean utilizados por un sólo organismo especializado; el cual tiene como objetivo determinar las asignaciones de evacuación, especificar las asignaciones de suministro (ONG's y autoridades) de ayuda humanitaria, señalar qué instalaciones deben ser utilizadas para la inundación y establecer el preposicionamiento de inventario en las instalaciones habilitadas. Se usa una metodología general la cual consiste en: elección/diseño de la zona de estudio, recopilación de información (inputs: SIG y parámetros: optimización), aplicación del proceso en el Sistema de Información Geográfica (SIG), aplicación y solución del modelo de optimización/heurístico, análisis y discusión de resultados. El modelo cuenta con algunos parámetros como el número de centros de distribución, porcentaje de ocupación de instalaciones, porcentaje de carga movido por ONG's, factor de congestiónamiento por nivel de inundación, población por región, disponibilidad, costos y capacidades por vehículo y por instalación, entre otros; además las variables de decisión las cuales indican la localización, evacuación y distribución/preposicionamiento de ayuda humanitaria. Para obtener los resultados se utilizó el solver GAMS-CPLEX™, y con base a estos se concluye que con el método exacto se puede tener una implementación integral de operaciones humanitarias en cuanto a la etapa de planeación, así brindar una idea de la magnitud real y el ámbito operativo al que deberá enfrentarse la población y las autoridades gubernamentales en caso de ser afectados por una inundación a varios tirantes de inundación, los factores propuestos para el diseño de instancias resultaron ser significativos para las metodologías de solución y la problemática;

con el método heurístico la implementación integra operaciones humanitarias en cuanto a la etapa de respuesta, se puede tener bajo tiempo computacional y buena calidad en soluciones. Los resultados muestran la robustez de la metodología y rangos que pueden utilizarse para crear híbridos eficientes para el caso estudiado.

En el tema de investigación en la Logística Humanitaria Overstreet et al., (2013), comentan que según el Informe Mundial sobre Desastres 2009 se indica que más de 7.000 desastres ocurrieron entre los años 1999 y 2008. El número de muertes humanas causadas por estos desastres fue de 1,2 millones con costos superiores a un billón de dólares (FICR, 2009b). En una revisión de la crisis humanitaria de las últimas cuatro décadas, Kent (2004) concluyó que las operaciones humanitarias se han convertido en un gran negocio y una gran preocupación en la comunidad internacional. Otros autores han afirmado que estas operaciones representan aproximadamente el 80 por ciento de la logística (Bonney, 2005; Trunick, 2005). Por lo tanto, en gran parte el éxito de cualquier operación humanitaria es directamente atribuible a la eficiencia y eficacia de los logísticos para conseguir rápidamente la gente y los suministros necesarios en el lugar correcto, por lo cual es de suma importancia empezar a revisar la literatura y generar avances, y es así como estos autores proponen un marco de investigación en el área de la logística humanitaria. Para ello, se abordan las siguientes preguntas:

RQ1. ¿Cuál ha sido el enfoque principal de la investigación en logística humanitaria?

RQ2. ¿Qué modelos se han propuesto / probado?

RQ3. ¿Cuáles son las áreas identificadas para futuras investigaciones?

La metodología utilizada corresponde a una investigación cualitativa que consistía en la revisión de literatura en temas específicos como la logística y la gestión de las cadenas de suministro, desastres, emergencias, entre otros, con la utilización de bases de datos EBSCOHOST, ABI.

Destacados investigadores en este campo de estudio afirman que la investigación académica en la logística humanitaria y la gestión de la cadena de suministro está todavía en su infancia (Tatham et al., 2009); por lo tanto, es importante impulsar la investigación no solo enfocado en el aspecto de planificación, sino también de organización, infraestructura, entre otros.

González (2014) plantea un modelo de optimización bi-nivel para enviar, recibir y distribuir ayuda en especie después de haber ocurrido un desastre natural. Tiene como objetivo encontrar la configuración óptima de los envíos y la forma de distribución de los productos que son enviados hacia las zonas afectadas por algún

medio de transporte. Además de mostrar la importancia de utilizar un modelo Bi-nivel en lugar de un modelo de un solo nivel, comparando con dos enfoques con puntos de vista distintos, pero con el mismo escenario. El modelo se formuló con una función objetivo de minimizar el tiempo total de respuesta para distribuir la ayuda, esto es, el tiempo necesitado para enviar desde el organismo de ayuda i hacia el centro de acopio j y de ahí hacia la zona afectada k, luego se reformuló para poderlo resolver de forma exacta con CPLEX y, para poder utilizar el modelo se trabajó con un caso de estudio del terremoto en Chile que ocurrió en 2010. Para poder dar recomendaciones al respecto se hicieron 3 diferentes modelos con el mismo enfoque del problema; ya resolviendo los modelos distintos, se hicieron comparaciones entre los tres y los resultados obtenidos mostraron la importancia de contar con un organismo central que coordine todo el proceso, incluso sin una perfecta coordinación entre todas las partes involucradas, esta coordinación ayudaría significativamente a hacer las sociedades más sostenibles.

Mejia & Chicue (2014) en su trabajo presentan la problemática que está enfocada a la vulnerabilidad que se presenta en el municipio de Chía Cundinamarca ante impactos económicos, sociales, políticos, ambientales y urbanos debidos a las inundaciones provocadas por el desbordamiento de los ríos de la zona, especialmente el río Frío y el río Bogotá. Si bien los fenómenos naturales no pueden ser prevenidos con exactitud, en el caso de Chía sí existe una gran responsabilidad política, por el conocimiento de las temporadas invernales en el país.

Para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos se generaron las siguientes fases: fase I: Recopilar información, fase II: Cualificación de la vulnerabilidad, fase III: Acciones a corto, mediano y largo plazo.

Lo que resalta este trabajo es el estudio o caracterización de la zona afectada, es decir, identificar las dimensiones socioculturales, económico-productivas, urbano-regionales, político-institucionales y ambientales, utilizando una estrategia de análisis como lo es el análisis de vulnerabilidad para cada una de las dimensiones mencionadas.

Los autores concluyen que la tala masiva de árboles ocasiona problemas de drenaje, ya que la tierra erosionada tiene una capacidad menor para absorber el agua, lo que lleva a que ésta se desplace hacia los ríos y alrededores causando inundaciones, por tanto, se deben realizar campañas de sensibilización para las personas naturales como para las constructoras. Además, las construcciones alrededor de los cauces de los ríos reducen la sección útil para evacuar el agua y a la vez causa la muerte de las personas que habiten o trabajen en el lugar y pérdidas

materiales; por tanto, se debe prohibir y sancionar a quienes construyan edificaciones cerca al río Frío y río Bogotá.

Además, Mora et al. (2016) plantean un análisis cualitativo de las estrategias de gestión de inventario en las operaciones de logística humanitaria, e identifican que cada año muchos desastres naturales y provocados por el hombre ocurren, afectando a miles de personas en todo el mundo. Durante estas catástrofes, tanto el gobierno como las organizaciones humanitarias, se enfrentan a grandes desafíos logísticos cuyo objetivo principal es satisfacer las necesidades de las personas afectadas por este desastre, para mitigar su sufrimiento. Para lograr este objetivo, una estrategia de gestión de inventario adecuada en estas operaciones logísticas desempeña un papel crucial en cada escalón de la cadena de suministro.

La metodología utilizada para este trabajo es que en primera instancia identifican el tipo de investigación, recolección de material informativo y datos, uso de criterios de selección y exclusión de dicha información, se estudió la información seleccionada, se procede a categorizar, donde se definió como objetivo el identificar las estrategias de gestión de inventario y los modelos utilizados para las operaciones de logística humanitaria, así como los modelos comerciales con las características especiales relacionadas con ella.

Concluyendo que la gestión de inventarios en las operaciones humanitarias es un campo que acaba de comenzar a ser desarrollado por la academia desde hace menos de diez años la cual hoy tiene una amplia área de oportunidad para ser desarrollada, aunque dicha gestión de inventarios desarrollada en los modelos, no siempre especifica el campo en el que podría aplicarse, es decir, puntos de recogida, almacenes intermedios o puntos de distribución. Teniendo en cuenta las operaciones de inventario a lo largo de la cadena de suministro tienen diferentes actividades y metas; una línea de investigación importante sería la especialización de los modelos de acuerdo con el inventario especial estudiado en el caso de emergencias.

El trabajo de Hernández et al. (2016) consiste en la aplicación de sistemas multiagentes a la distribución de ayuda humanitaria en situaciones post desastre natural, presenta una revisión de la situación actual de los métodos, sistemas y herramientas utilizados para efecto de la distribución de ayuda humanitaria en especie y se describen las ventajas que puede proporcionar el modelar las acciones de distribución de ayuda humanitaria mediante un sistema de agentes inteligentes autónomos, para lo cual se considera el envío de productos desde los centros de acopio hasta la ubicación de las zonas afectadas por el desastre. Propone un diagrama general para modelar la logística humanitaria, este modelo capta los

aspectos importantes del problema desde un punto de vista y expresa un medio adecuado para trabajar con las variables involucradas que se quieren probar y experimentar. Esta metodología propuesta permite identificar agentes y sus roles, definir escenarios, estados, acciones y restricciones de los agentes, recursos que demandan, medidas de desempeño para el logro de un objetivo, sensores y actuadores de los agentes y ambiente donde se desenvuelven.

Para finalizar, esta propuesta está basada en un modelo SMA, la cual se espera que, al ser aplicada en situaciones posteriores a la ocurrencia de un desastre, la ayuda humanitaria llegue lo más pronto posible a los damnificados para reducir los decesos por inanición, enfermedad y aliviar en parte el sufrimiento humano y no solo la optimización de los costos.

Dentro de la logística humanitaria se habla de un punto claro y tomado en cuenta por muchos autores en sus investigaciones y es la localización de albergues o instalaciones para proporcionar una atención oportuna en un lugar especializado.

Acosta & Almendras (2011) definen como planteamiento del problema la localización de albergues para los hogares afectados por alguna emergencia asociada a un desastre natural agresivo en Chile. El nivel de riesgo de un hogar depende de factores como la composición de materiales de la vivienda y del tipo de desastre natural que pueda ocurrir.

Los autores asumen que la oferta de albergues oficiales es conocida. Sin embargo, dependiendo del fenómeno destructivo dichos albergues puede llegar a ser insuficiente por lo cual se deberá incorporar más albergues no oficiales (provisionales).

Para ello se caracterizó la demanda y oferta de albergues, identificando así las zonas que están en riesgo, dependiendo de cada tipo de fenómeno o desastre que se pueda presentar.

La función de desempeño del modelo consistió en minimizar las distancias ponderadas recorridas desde los albergues hacia las viviendas, considerando restricciones como asegurar que se atienda toda la demanda proveniente de cada tipo de hogar, capacidad de los albergues y número máximo de albergues.

A la conclusión que se llegó fue que para la comuna de Valparaíso la capacidad es insuficiente en el caso de los escenarios más severos y se observa una distribución de la carga entre las facilidades no muy óptima. La comuna de Viña del Mar presenta una mejor distribución de los albergues existentes. Se recomienda aumentar en número y capacidad los albergues.

Adicionalmente Arroyo et al., (2012) plantean un modelo bi-criterio para la ubicación de albergues, para esto diseñan un plan de evacuación para apoyar y garantizar la seguridad de la población afectada en caso de una inundación el cual incluye la apertura de albergues y centros de distribución, con un inventario pre-posicionado de paquetes de ayuda; y la asignación de individuos a albergues y rutas para su evacuación. Empleando Sistemas de Información Geográfica y software especializado simulan tres escenarios de inundación para la ciudad caso de estudio: Villahermosa. Este modelo está formulado en la programación lineal entera a partir de la red, los nodos representan a los centros de distribución (identificados por el subíndice j), los albergues (simbolizados por el subíndice k) y Área Geoestadística Básica (representados por el subíndice g); y tiene dos objetivos: minimizar el tiempo total requerido para evacuar a las personas y minimizar el costo total de abrir albergues y centros de distribución, y de usar las rutas de comunicación para trasladar a la población y abastecer los albergues.

El problema de optimización bi-criterio se resolvió empleando el método de las ponderaciones y complementado con el de la ϵ -restricción. A cada escenario corresponde un modelo de PLE mixto, ya que el número de albergues y centros de distribución potenciales y de AGEB inundados varía con cada escenario. Los modelos fueron resueltos mediante el uso del Sistema General de Modelaje Algebraico (GAMS®) utilizando el solver CPLEX, y se corrieron en una computadora de dos procesadores y con 25 GB de memoria RAM. La solución a cada modelo permitió establecer: el número de personas a ser evacuadas desde los distintos AGEB hacia los albergues mediante diferentes medios de transporte (automóvil, autobús y helicóptero); el número y ubicación de albergues y centros de distribución que se requiere habilitar bajo cada escenario de inundación; la demanda de los diferentes medios de transporte y las rutas a utilizar y el número de viajes requeridos para abastecer de insumos a los albergues y evacuar a la población.

Existen dentro de la literatura autores que no se enfocan en un tema específico, sino que unen varios temas para dar una solución a la necesidad que afronta una población vulnerable.

También, Viera et al., (2012) presentan un artículo de reflexión, donde contemplan los efectos negativos que generan los desastres naturales en la población y ambiente. Uno de los problemas presentes en Uruguay es la afectación por desastres naturales fuertes como inundaciones, granizadas, entre otros; donde se menciona que los desastres tienen grandes diferencias, las cuales dependen del tipo e intensidad de los desastres y la geografía de la zona afectada. Como características del artículo se considera la implementación de un sistema de

información que permita la interacción entre la población y entidades, cuyo objetivo es optimizar los recursos disponibles y mejorar la distribución de ayuda y los procesos de preparación, respuesta y recuperación. Además, se propone una Red de Logística Humanitaria como la localización de Centros Logísticos, Puntos de Distribución, refugios, entre otros.

Las estrategias optadas son la creación de un Indicador de Gestión importante el cual consiste en la velocidad de respuesta (llegar a la persona correcta con el suministro correcto en el lugar correcto).

Dentro de las decisiones estratégicas optadas está el diseño de la red logística, es decir, la localización de Centros Logísticos, Puntos de Distribución, Refugios, etc, estos problemas por su complejidad se denominan NP-HARD, para lo que se recomienda el uso de métodos Heurísticos que genera un equilibrio entre la calidad de la solución y el tiempo computacional asociado a encontrarla. Los métodos heurísticos son aquellos que dan una solución factible al problema, sin asegurar que esa solución obtenida sea la óptima (Contreras & Díaz, 2010).

Dentro de las decisiones tácticas están las políticas de mantenimiento de inventarios de suministros y de reemplazo y mantenimiento de vehículos asociados a la Logística Humanitaria, allí los autores recomiendan un modelo clásico EOQ (Economic Order Quantity).

En las decisiones operativas se incluye la distribución de suministros, equipos y personal a las zonas afectadas, así como también las evacuaciones que sean necesarias, donde entra en escena los problemas de ruteo, para el cual se propone también un método heurístico debido a la complejidad del problema.

Todo esto permite concluir que los avances de los modelos y métodos cuantitativos para el Apoyo a la Toma de Decisiones, basados en técnicas de la disciplina Investigación de Operaciones, permiten planificar las actividades de la Logística Humanitaria en forma científica y modificarlas en tiempo real aportando no sólo a la reducción de los costos en la etapa de Respuesta, sino también a aliviar el sufrimiento de los damnificados y salvar vidas.

Cornejo et., al (2013) en su trabajo de localización de almacenes y distribución de ayuda humanitaria para atención de damnificados en caso de desastre natural, tienen como finalidad determinar en qué distritos de la ciudad de Lima (ciudad caso de estudio) deberían localizarse los almacenes para distribuir la ayuda humanitaria, luego de que haya ocurrido un terremoto de 8 MM de intensidad. Consideran que los almacenes deberán atender a los damnificados en su totalidad, minimizando el flujo de personas que serían atendidas desde otro distrito. Formulan un modelo de

programación lineal entera mixta cuyo objetivo es la minimización de la distancia total recorrida por los móviles que trasladan los bienes de ayuda humanitaria, desde un almacén ubicado en un distrito hasta otro distrito que no tiene almacén; es así que a través de la minimización de la distancia, indirectamente se busca reducir el tiempo de respuesta, criterio que según (Schilling, op.cit) es el más relevante en los casos de ayuda humanitaria; se realiza un análisis numérico para obtener el comportamiento de la cantidad óptima de almacenes conforme cambia su capacidad. Finalmente, se lleva a cabo un análisis de la tendencia del beneficio marginal, que se define como el número incremental de personas que recibirían la ayuda humanitaria cuando aumenta la capacidad de almacenamiento.

Por otra parte, Moreno (2013) analiza la relación entre estrategias de gestión logística humanitaria y el tiempo de respuesta en la atención de desastres. Para esto aplican a la atención de desastres estrategias las cuales se diseñaron usando una metodología integral y dinámica propuesta por Kalenatic (2001), la cual parte de la hipótesis de la complementariedad entre las técnicas analíticas representadas por programación matemática, generalmente técnicas de optimización y heurísticas, y entre las técnicas numéricas representadas por la dinámica de sistemas (simulación continua) con todos sus elementos, estructuras y soporte matemático, así como por la simulación discreta, y las meta-heurísticas (González et al, 2010), que permite disminuir significativamente, desde el punto de vista estadístico, los tiempos de respuesta promedio del sistema en la fase de respuesta inmediata de los desastres. Las estrategias se plantearon con base en estos elementos: sistemas de gestión del conocimiento, comunicación e información y en el desarrollo de plataformas responsables de la coordinación de los actores del sistema.

La elección de los elementos que fueron integrados en cada una de las estrategias, se realizó utilizando una combinación de la técnica multicriterio para toma de decisiones complejas AHP (Analytic Hierarchy Process) y metodología QFD (Quality Function Deployment), tomando como base y adaptando la metodología propuesta por (Onesime, Xiaofei, & Dechen, 2004), para la selección de proveedores. En cuanto al modelo, se construyó utilizando una combinación de redes AON (Actividad en Nodos) y dinámica de sistemas, con el fin de establecer el impacto sobre los tiempos de respuesta de dichas estrategias.

Finalmente, la aplicación de las estrategias en el modelo de simulación mostró una reducción significativa en los tiempos de respuesta del sistema logístico humanitario, permitiendo aportar de esta forma al bienestar de la población afectada por desastres naturales de orden nacional de origen súbito. Resaltan además que, las actividades de los sistemas de apoyo de transporte, telecomunicaciones, orden

público y habitad y vivienda son claves en la fase de respuesta ya que una falla o demora en las actividades de estos sistemas hace que se aumente el tiempo de respuesta, consideradas prioritarias, como lo son el de búsqueda, rescate y atención hospitalaria.

6. METODOLOGIA

Con el propósito de dar cumplimiento al primer objetivo específico, se procederá a realizar una recopilación de datos e información pertinente, como número de eventos presentados por los diferentes tipos de desastres, sus impactos económicos, sociales y ambientales, y los planes de respuesta antes un evento de estos, permitiendo conocer qué departamento y municipio de la región objeto de estudio, conformada por el Valle del Cauca, Quindío, Risaralda y Cauca, se ha visto más afectado por desastres naturales en los últimos años, así mismo identificar el tipo de desastre natural con mayor impacto en la población. Esta información será solicitada a las diferentes entidades gubernamentales como DPN (Departamento de Planeación Nacional), DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), IDEAM (Instituto de Hidrología, Metrología y Estudios Ambientales), FINAGRO (Fondo de Financiación del Sector Agropecuario), MADS (Ministerio de Medio Ambiente Sostenible), UNGRD (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres), Cruz Roja Colombiana, entre otras.

Posterior a ello y para dar cumplimiento al segundo objetivo se hará una revisión bibliográfica de los modelos de localización y ruteo que han sido abordados por diversos autores para la atención de desastres naturales, sirviendo como base para el desarrollo de los modelos matemáticos que permitan llegar a una solución óptima pos-desastre. De forma paralela, se acudirá al municipio objeto de estudio asociado al diagnóstico anterior y a sus entes de control involucrados en el proceso, como la alcaldía-departamento de gestión del riesgo, cruz roja, defensa civil regional y cuerpo de bomberos, con el fin de recopilar información clave para el desarrollo de los modelos y así establecer los parámetros, supuestos, variables de decisión, función de desempeño y restricciones que permitan el desarrollo los modelos. De igual forma, utilizando un lenguaje de programación matemática se realizará un análisis de los resultados, contribuyendo así a establecer una propuesta para la asistencia oportuna de personas que se encuentren en situación de vulnerabilidad frente a un eventual desastre natural en la región.

Una vez realizado el paso anterior y validado el modelo con la información obtenida, se plantearán distintos escenarios donde se harán variaciones en algunos parámetros de interés como la cantidad de damnificados, la cantidad y capacidad de las zonas seguras para la instalación de albergues temporales; se realizará una comparación entre el modelo base y cada uno de los escenarios planteados con el propósito de observar el comportamiento de la función desempeño frente a

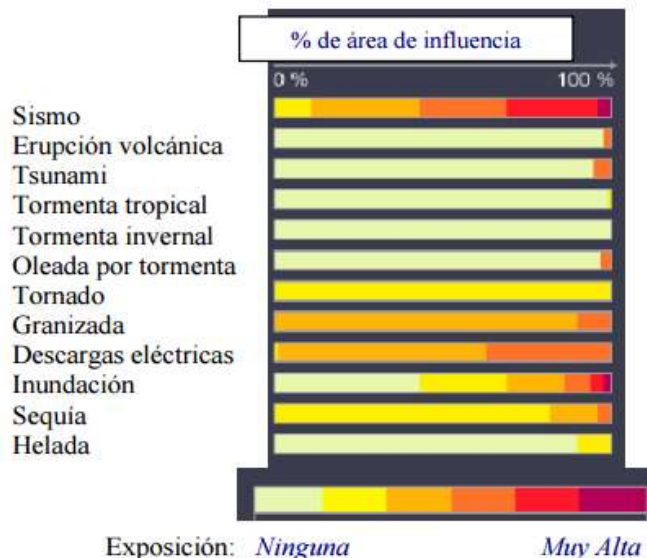
diferentes situaciones que se pueden presentar en la realidad, al momento que se genere una emergencia por un desastre natural. Con este punto se dará cumplimiento al tercer y último objetivo planteado.

7. DIAGNÓSTICO DE LA ZONA DE LA POBLACIÓN AFECTADA

Colombia se encuentra localizada en la parte noroccidental de América del Sur, en una zona de muy alta complejidad tectónica, en donde las placas de Nazca, Suramérica y del Caribe se encuentran generando una alta actividad sísmica y volcánica que se ha evidenciado por la ocurrencia de sismos destructores, tsunamis (maremotos) y la activación de varios de sus volcanes. Su topografía está dominada en el oriente por llanuras y la selva amazónica y en el centro - occidente por el sistema de las tres cordilleras que se originan al sur del territorio como resultado de la ramificación de los Andes. Lo abrupto de sus regiones montañosas y la acción de agentes antrópicos, biológicos y de meteorización tales como las lluvias, los vientos y los cambios de temperatura característicos de las condiciones climáticas del trópico, han hecho que Colombia también sea un país altamente propenso a la acción de eventos severos como erosiones, deslizamientos, crecientes torrenciales, avalanchas, desbordamientos, inundaciones e incendios forestales (CEPAL).

La Figura 11 presenta el porcentaje de área de influencia de cada una de las amenazas naturales que se manifiestan en el país, donde las inundaciones en un mayor % del territorio tiene una baja y media influencia, mientras que en un bajo % del territorio tiene muy alta influencia.

Figura 11. Porcentaje (%) de área de influencia de amenazas en Colombia.



Fuente: Cepal

Con base en lo anterior y otros estudios, se identifica que Colombia se encuentra ubicado en el puesto 33 de 180 países que fueron evaluados en temas de riesgo por el cambio climático, teniendo un 88% de riesgo, y un 28% de amenaza. Colombia se puede describir como un país con baja amenaza y niveles medios de sensibilidad y capacidad adaptativa, qué, sin embargo, por el efecto multiplicativo de la relación, combinados generan una vulnerabilidad alta ante el cambio climático. (IDEAM, et. al, 2017).

Silva (2015), cita que, según el Banco Mundial, en Colombia, tres de cada diez personas están potencialmente amenazadas por algún evento natural. Las cifras indican que el 36% del territorio está en situación de amenaza sísmica alta, el 28% en alto potencial de inundación y el 18% en riesgo elevado de enfrentar movimientos en masa o deslizamientos.

En la región Andina existen frecuentes alertas asociadas a la actividad de fallas superficiales como en Romeral, Cauca, Palestina y Frontal de la cordillera Oriental, donde se suelen generar sismos superficiales de gran poder destructivo. A su vez, Huila, Chocó, Valle del Cauca, Nariño, Risaralda, Cauca y Quindío tienen más del 95% de su territorio expuesto a la amenaza sísmica.

A continuación, se habla del departamento del Valle del Cauca y unos departamentos alrededor como Cauca, Quindío y Risaralda en temas de desastres naturales.

7.1. DEPARTAMENTO DEL CAUCA

El Departamento de Cauca está situado en el suroeste del país entre las regiones andina y pacífica, cuenta con una superficie de 29.308 km² lo que representa el 2.56 % del territorio nacional. Limita por el Norte con el departamento del Valle del Cauca, por el Este con los departamentos de Tolima, Huila y Caquetá, por el Sur con Nariño y Putumayo y por el Oeste con el océano Pacífico.

El Cauca se encuentra en la posición 7 en el ranking de eventos a lo largo de 1901 a 2015, con 1.853 eventos registrados. Además, es uno de los departamentos con menor porcentaje de riesgo, ubicándose en la posición 24 de 32 departamentos, esto con un porcentaje del 17%. Cinco municipios del departamento presentan riesgo alto por cambio climático, los tres primeros en el ranking departamental corresponden a Guachené con 33%, Villa Rica con 29% y Caloto con 27% de riesgo.

Los municipios del departamento se encuentran en categoría baja y media de sensibilidad y media y alta en capacidad adaptativa, lo cual configura que el departamento presenta principalmente una vulnerabilidad muy baja. En particular, los municipios de mayor vulnerabilidad en el departamento son Guachené, Santa Rosa e Inzá.

Desde 1924 Cauca se ha visto afectada principalmente por eventos de inundación, vendavales y deslizamientos.

En los últimos 30 años (1985 – 2015), han sido registrados 446 eventos de inundación (eventos hidrometeorológicos), 423 eventos de vendaval (eventos meteorológicos) y 395 eventos de deslizamiento (eventos hidrometeorogeomorfológicos), representando respectivamente, el 29%, 28% y 26% del total de fenómenos reportados en este departamento. (IDEAM, et. al, 2017).

Un terremoto de magnitud 5.5 en la escala de Richter con duración de 18 segundos en la ciudad de Popayán en 1983, dejó 287 muertos, 7.248 heridos y 150.000 personas afectadas, generando daños físicos, infraestructura de comunicaciones, vial y de viviendas, proporcionando un impacto social y económico; los daños en términos monetarios fue aproximadamente de \$29.849 millones de pesos colombianos de la época y, el valor de la reposición - reconstrucción fue de \$14.039.915.753 pesos colombianos de la época.

A partir de ese momento se comenzaron a analizar los desastres de manera más sistemática como proceso social y no sólo como fenómenos naturales, por ello el Estado expidió normas tendientes a definir su responsabilidad frente a los mismos. (Cardona et., al 2004).

En el programa de investigación y zonificación geotécnica regional y urbana se realizó la zonificación geológica y geotécnica de la Cuenca del Río Páez de los departamentos de Huila y Cauca impactada por terremoto en 1994, lo que produjo graves pérdidas a los asentamientos humanos allí localizados, está catástrofe dejó cerca de 1.100 muertos. (*Cepal*).

Muchos de los edificios en el departamento del Cauca y más en su capital Popayán son antiguos, lo que significa que no cuentan con algún tipo de refuerzo (resistente). Debido a ello, cuando se presentó el terremoto, el 70% de los edificios sufrieron afectaciones, 2500 viviendas (12% de la totalidad) fueron destruidas, y el 34% tuvieron daños. (Gueri, 2009).

El valor estimado de los daños \$124.176 millones de pesos colombianos de la época. (Cardona et., al 2004).

Cauca en el 2015 se ubicó dentro de los departamentos con más muertos por desastres naturales en el puesto quinto, en el tema de familias afectadas, se ubica en la posición sexta con un número aproximado de 170.974 de familias, en temas de viviendas afectadas parcialmente se ubica en el puesto tercero 57.803 viviendas, en cuanto a vías afectadas se encuentra en la posición quinta con aproximadamente 575 vías afectadas. 38.634 Hectáreas fueron afectadas por los desastres, afectando la actividad agrícola y afectación ambiental. (DNP, 2015).

7.2. DEPARTAMENTOS DEL QUINDIO Y RISARALDA

El departamento de Risaralda está situado en el centro occidente de la región andina, cuenta con una superficie de 4.140 km² lo que representa el 0.36 % del territorio nacional. Limita por el norte con los departamentos de Antioquia y Caldas, por el este con Caldas y Tolima, por el sur con los departamentos de Quindío y Valle del Cauca y por el oeste con el departamento de Chocó.

El Departamento de Quindío está ubicado en la parte centro - occidental del país, cuenta con una superficie de 1.845 km² lo que representa el 0.16% del territorio nacional. Limita por el norte con los departamentos del Valle del Cauca y Risaralda, por el este con el departamento del Tolima, por el sur con los departamentos de Tolima y Valle del Cauca y por el oeste con el departamento del Valle del Cauca. (FINAGRO)

En enero de 1999 un terremoto de 6,2 grados en la escala de Richter con duración de 20 segundos y 35 kilómetros de profundidad, azoto al Eje Cafetero, situado en la región central de Colombia, sobre la cordillera central. El terremoto tuvo su epicentro en el municipio de Córdoba, departamento del Quindío, aproximadamente a 11 kilómetros del sureste de Armenia, su capital. El sismo se produjo en medio de una fuerte temporada invernal que dificultó las labores de rescate y que hizo más complicada la situación de quienes quedaron sin hogar.

Asociados al sismo principal y a sus réplicas, durante los días, semanas y meses posteriores se presentaron las siguientes amenazas concatenadas, la mayor parte de origen socio-natural y antrópico:

- ❖ Deslizamiento en cuencas hidrográficas altamente vulnerables que generaron desequilibrios hidrológicos apreciables, que a su vez produjeron represamientos, avalanchas, crecientes e inundaciones que afectaron los asentamientos humanos, las actividades productivas y las vías.

- ❖ Sobreexplotación de los bosques de guadua de la zona afectada, debido a la presión para obtener ese material vegetal de primera importancia para el levantamiento de albergues temporales, el apuntalamiento de viviendas deterioradas y, en general, en la industria de la construcción. Los bosques de guadua se encuentran asociados con los nacimientos de aguas y zonas de protección de ríos y quebradas, y suelos de vocación forestal, que resultaron gravemente afectados por la explotación del recurso.
- ❖ Deterioro de cañadas, calles, lotes baldíos, laderas, depresiones, fuentes y cursos de agua, entre otros, debido a la disposición inadecuada en esos espacios de una enorme cantidad de escombros resultantes de las edificaciones y demás obras de infraestructura destruidas por el terremoto en toda la zona afectada.
- ❖ Amenazas antrópicas derivadas de la alteración del orden público por saqueos y otras expresiones de ingobernabilidad.

El terremoto y sus réplicas afectaron 28 municipios y un corregimiento en cinco departamentos:

Caldas: Chinchiná

Quindío: Armenia, Calarcá, Filandia, Montenegro, Circasia, Pijao, La Tebaida, Córdoba, Quimbaya, Salento, Buenavista, Génova.

Valle del Cauca: Alcalá, Argelia, Bolívar, Calcedonia, La Victoria, Obando, Sevilla, Ansermanuevo y Ulloa.

Risaralda: Pereira, Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y Marsella.

Tolima: Cajamarca, Roncesvalle.

El documento de PNUD Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo “Eje Cafetero – Un pacto por la región”, basado en cifras de DANE (1999), afirma que “la evaluación de los efectos más significativos (demográficos, sociales, económicos) provocados por el sismo, indica que el 31% de los hogares de los municipios afectados resultó damnificado, 1.186 personas murieron, 291 enviudaron y 770 quedaron huérfanas, 8523 lesionadas, se perdieron 79446 viviendas (55% con pérdida parcial), con lo cual 160.393 personas quedaron sin techo. A lo anterior se suma el preocupante número de desempleados, así como el deterioro y pérdida de otros bienes mueble e inmuebles.”

En cuanto al sector de equipamiento urbano, resultaron averiados 100.852 inmuebles, entre ellos oficinas públicas, estaciones de bomberos, cárceles, iglesias, vías, plazas de mercado. (Convenio FOREC-Red de Universidades).

El terremoto del Eje Cafetero es la situación más compleja de carácter urbano desencadenada por un fenómeno natural que ha tenido que enfrentar el país en toda su historia, tanto por la extensión del área involucrada, como por los altos niveles de destrucción y por el número de sobrevivientes gravemente afectados.

7.3. DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

El Valle del Cauca es uno de los departamentos con mayor número de eventos naturales en el país, ubicándose en el puesto 3 con 3.114 eventos desde el año 1901 al año 2015, además a nivel nacional en el ranking de riesgo por cambio climático se ubica en la posición 8 con un porcentaje del 22%, en tema de amenaza por cambio climático se encuentra en la posición 5 con un porcentaje del 56%, en tema de adaptabilidad después de un desastre es del 78% y la vulnerabilidad representa un 16%.

Dos municipios del departamento presentan riesgo muy alto y dieciocho presentan riesgo alto por cambio climático. Los tres primeros en el ranking departamental corresponden a Cartago, Cali y Candelaria.

La mayoría de los municipios del departamento se encuentran en baja, muy baja, alta y muy alta categoría de amenaza por cambio climático, los municipios de Cartago, Candelaria y Bugalagrande son los que encabezan la lista de amenaza; mientras que los municipios de mayor vulnerabilidad en el departamento son Cali, Cartago y Tuluá.

En el Norte del Valle del Cauca, Cartago es el municipio con el más alto porcentaje de riesgo con un 49%, Bugalagrande con 34%, Zarzal con un 31%, Roldanillo, La Victoria y Bolívar con un 24% (IDEAM, et. al, 2017).

Este territorio se ve afectado por el fenómeno de El Niño y de La Niña causando desastres y afectaciones, pero con mayor impacto en los sectores propensos a sufrir las consecuencias del cambio climático, dichos desastres son sismos, deslizamientos, inundaciones y erosiones cuyo origen es natural, generándose también eventos antrópicos, que son provocados por parte del hombre que afectan en gran medida.

Se han identificado algunas zonas propensas a sufrir este tipo de desastres, como la vía a Buenaventura, la cual es considerada como una de las zonas de mayor riesgo en el departamento, debido a sus constantes derrumbes y deslizamientos (Castro, 2016).

Algunos de los eventos que han marcado la historia del departamento son:

Un sismo con magnitud 6.4 en la escala de Richter con epicentro en Calima-Darién que se presentó en 1995, el número de muertes registradas fue de 30 personas y afectaciones en el 78% de las edificaciones. (Cardona et., al 2004).

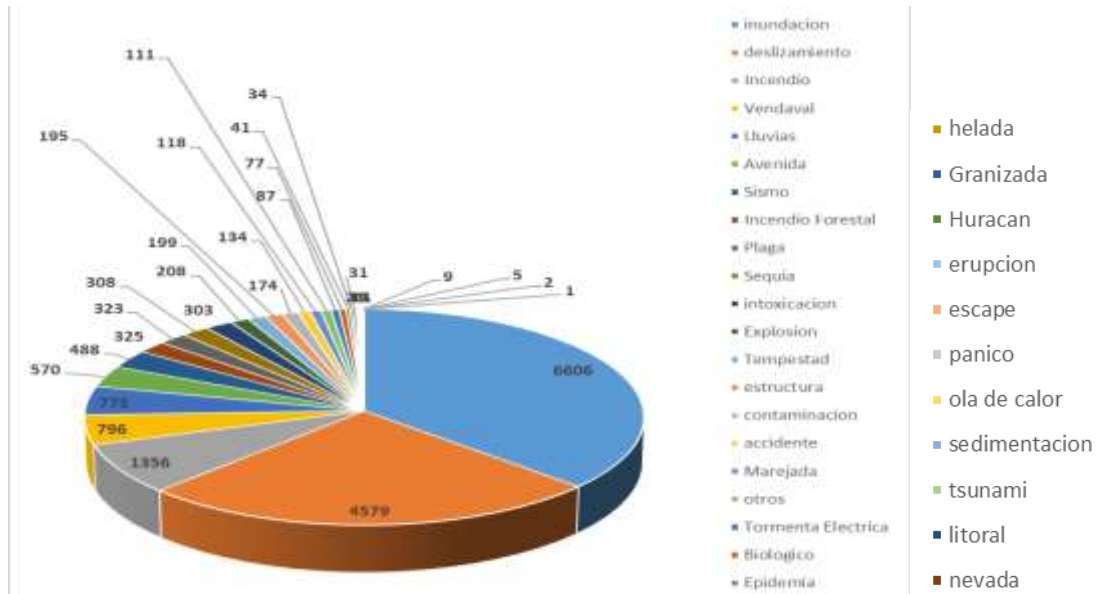
En cuanto a inundaciones y vendavales, según datos de Gestión del Riesgo del Valle del Cauca (2015), hay dos municipios en situación de alarma por constantes emergencias: Dagua y El Águila.

El río Cañaveral en El Águila presenta desbordamientos eventuales afectando los corregimientos de Esparta, Cajones y Chorritos.

Algo alarmante es que existe población ubicada en zonas con mayor potencial de riego y se encuentra distribuida en 79 municipios, que representan pueblos del Valle del Cauca, Atlántico, Cundinamarca, Magdalena, Antioquia, Córdoba, Cesar, Cauca y Meta. Entre tanto, Bogotá, Cali y Barranquilla son las ciudades con más alta población ubicada en zonas de potencial inundación, seguidas por Apartadó (Antioquia), Chía (Cundinamarca) y Jamundí (Valle del Cauca), lo cual evidencia que en el Valle del Cauca el riesgo por ubicación es alto. (Silva, 2015).

Al analizar el territorio colombiano y más específicamente el Sur Occidente de Colombia, se logra observar que las inundaciones son el desastre natural con mayor porcentaje de ocurrencia en el país, como lo muestra la Figura 12, donde en un periodo entre 1971-2000 ocurrieron 6606 inundaciones, representando el 36,8% del total de desastres, ya sean de pequeña o mediana magnitud. (Cardona et., al 2004).

FIGURA 12. Distribución de los eventos ocurridos en Colombia (1971-2000).



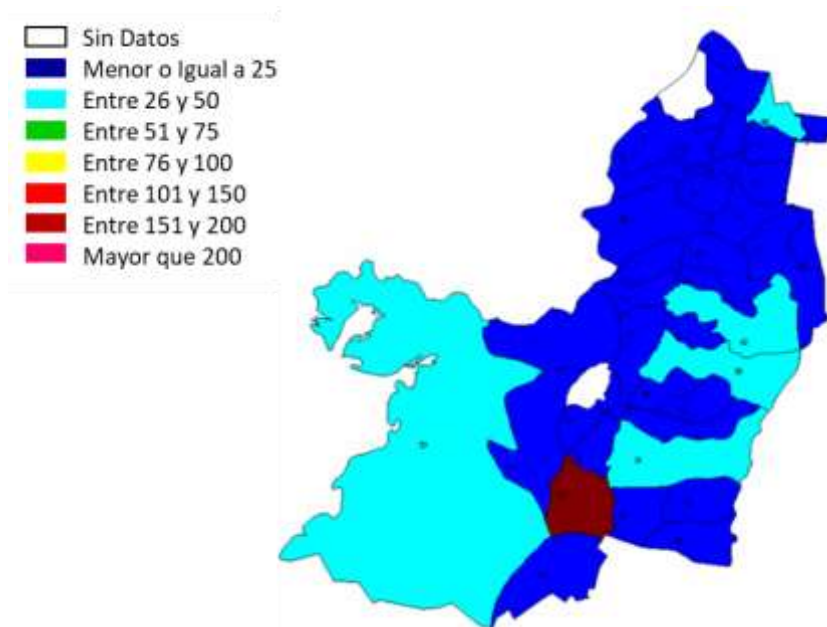
Fuente: Cardona et., al (2004).

A nivel nacional ocurren inundaciones, pero existen cinco departamentos donde se centra el 38,2% de las inundaciones, dentro de estos departamentos con mayor ocurrencia se encuentra el Valle del Cauca con 708 eventos registrados hasta el año 2010, siguiéndolo Antioquia, Bolívar, Córdoba y Magdalena.

El Departamento del Valle del Cauca por sus condiciones geológicas, topográficas, hidrográficas, propician la ocurrencia eventos naturales de diferentes orígenes, como los movimientos masales, avenidas torrenciales, sismos e inundaciones, entre otros. (Secretaria de Planeación Departamental, 2011).

Las inundaciones en este departamento se deben en su mayoría a desbordamientos del río Cauca. En la figura 13 se especifica la distribución de inundaciones en el departamento, lo que permite analizar que en la mayor parte de la región se presentan inundaciones. (Cardona et., al 2004).

Figura 13. Distribución de las inundaciones Valle del Cauca (1971- 2000).



Fuente: Cardona et., al (2004).

Las inundaciones en el departamento Vallecaucano representan el 31,2% de los desastres que se presentan en la región, siendo también el desastre con mayor porcentaje de afectaciones en la población después de los deslizamientos, dejando víctimas fatales representadas en un 15,3% de la población total.

Por lo anterior, se infiere que las amenazas y riesgos en los municipios del Valle podría tener las siguientes lecturas y categorías: Por acumulado del número de desastres (de mayor a menor): Cali, Buenaventura, Carago, Tuluá, Buga y Palmira; por número de muertos acumulado en los desastres: Cali, Buenaventura. Palmira, Florida, Argelia y Yumbo; por número de viviendas destruidas por desastres: Cali, Buenaventura, Florida, Cartago, Tuluá. (Secretaria de Planeación Departamental, 2011).

En la ola invernal del Valle del Cauca en el periodo 2010-2011, los datos generados son municipios afectados 42, las familias damnificadas 33.132, las personas damnificadas 175.600. Se estima que 15.593 viviendas afectadas, 10.613 quedaron en riesgo de colapsar y 821 ya se destruyeron o colapsaron, para un total de 27.027 viviendas afectadas.

El daño en infraestructura vial se estima en 3.030 Kms (65%) de los 4.700 kms de vías terciarias del Departamento.

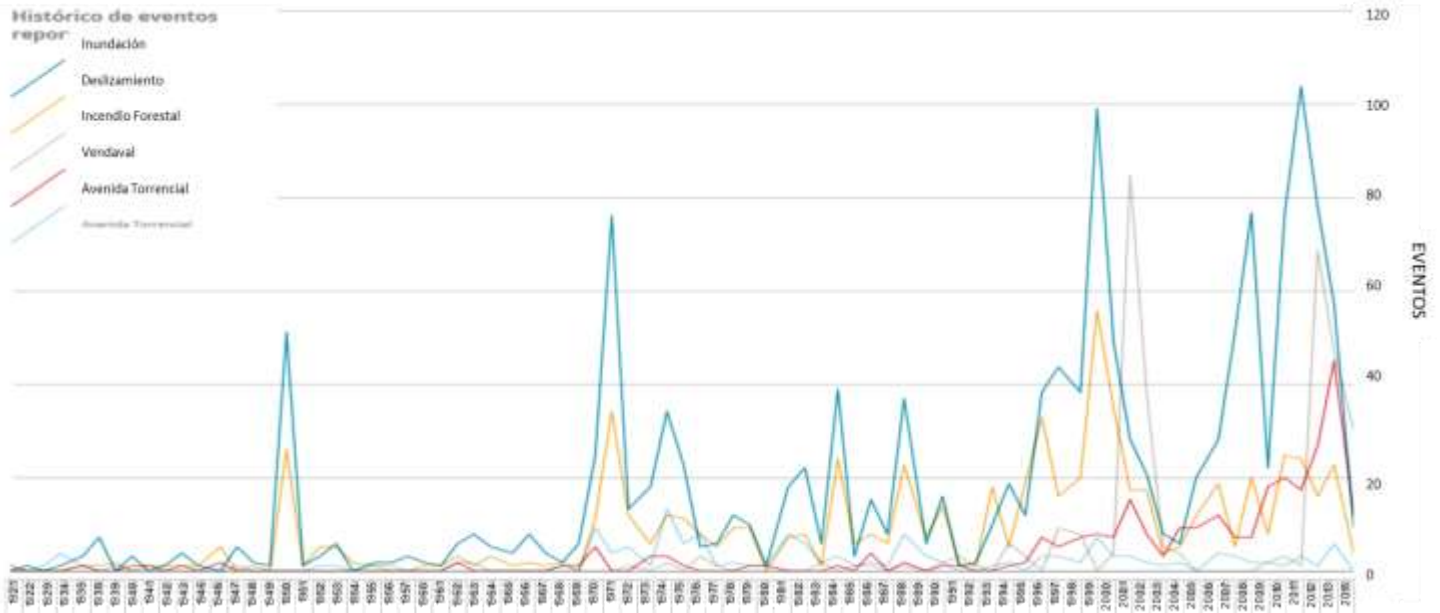
El sector agrícola por su parte, presentó las siguientes afectaciones: en caña de azúcar se afectaron 20.000 Has, en sorgo, maíz, y soya 12.050 Has, en Pastos 4.715 Has, en Café 5.401 Has, 3.254 Has, en pequeñas producciones 25.580 Has, para un total de 71.000 hectáreas afectadas.

De acuerdo al reporte histórico nacional de eventos asociados a fenómenos hidrometeorológicos, meteorológicos, hidrometeogeomorfológicos y meteopiroecológicos, desde 1921 el Valle del Cauca se ha visto afectado principalmente por eventos de inundación y deslizamientos.

En los últimos 30 años (1985 – 2015), han sido registrados 982 eventos de inundación (eventos hidrometeorológicos) y 467 eventos de deslizamiento (eventos hidrometeogeomorfológicos), representando respectivamente, el 46,2% y 22,4% del total de fenómenos reportados para este departamento. (IDEAM, et. al, 2017).

Durante este período, los 3 años en que se registraron mayores frecuencias en los eventos de inundación en el departamento, fueron los años 2011, 1999 y 2012, donde se reportaron 104, 99 y 78 eventos respectivamente. En el caso de los deslizamientos, los 3 años con mayores registros en los últimos 30 años, fueron 1999, 2000 y 1996, con 56, 35 y 33 eventos reportados respectivamente. (IDEAM, et. al, 2017). La Figura 14 permite visualizar el histórico de eventos reportados en el departamento.

FIGURA 14. Histórico de Eventos Reportados en el departamento del Valle del Cauca.



Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2017). <<Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático>>

Basados en esta información o caracterización de la zona, se permite establecer la región base que es el centro del Valle del Cauca, y el tipo de desastre a trabajar es las inundaciones por su alto porcentaje (%) de ocurrencia en el territorio colombiano y la necesidad de crear un proyecto que permita la atención oportuna a la población que queda damnificada y vulnerable, siendo Tuluá el municipio caso de estudio, puesto que se ha visto afectado por las inundaciones.

7. FORMULACIÓN DEL MODELO

7.1. LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES Y CENTRO DE DISTRIBUCIÓN.

Este modelo de localización es un modelo matemático de programación lineal entera mixta, con el cual se pretende determinar cuál es la mejor opción (lugar) para la ubicación de un centro de distribución y diferentes albergues temporales, de tal manera que el tiempo de viaje para llevar los suministros desde el centro de distribución hacia los albergues se minimice y así prestar una atención oportuna la población vulnerable sea la menor posible.

La formulación del modelo, los datos y comandos de este modelo se encuentran en los anexos 13.2.

SUPUESTOS:

- El municipio de Tuluá no cuenta con una infraestructura especial y adecuada para la ubicación de albergues temporales ante el desastre de inundación, por lo cual se acude a hacer uso de algunas instalaciones educativas tanto en el casco urbano como en la zona rural.
- Las zonas a ser afectadas y evacuadas por este tipo de desastre se conocen con certeza.
- Los damnificados no son enviados a casas de familiares, amigos o vecinos.
- Los damnificados llegan al albergue asignado.
- Los suministros son kits temporales (almohada, colchoneta y cobija), el cual es requerido por cada damnificado.
- Se asume que cada damnificado hace uso de un solo kit.
- Los kits son donados y están bajo la responsabilidad de las instituciones nacionales y departamentales.
- Los kits se encuentran previamente en el Centro de distribución.
- Los tiempos de viaje y cantidad de damnificados son determinísticos.

CONJUNTOS PRINCIPALES

CNS: conjunto de nodos seguros en la región

CD: subconjunto nodos seguros CNS zonas seguras para la instalación del centro de distribución indexado por i

CA: subconjunto de nodos seguros CNS zonas seguras para la instalación de albergues indexado por j

CV: conjunto de zonas de la región inundadas donde están los damnificados indexado por k

PARÁMETROS

TIEMPCD $_{ij}$: tiempo de traslado desde el centro de distribución en la zona i hasta los albergues en la zona j

TIEMPCV $_{kj}$: tiempo de traslado desde las regiones donde están los damnificados en la zona k hasta los albergues en la zona j

DAMN $_k$: damnificados en la zona k que requieren atención

C $_j$: capacidad de damnificados a atender en los albergues en la zona j

U: número arbitrario muy grande suministros

CONSD: consumo de suministros (kits) por cada damnificado

N $_i$: capacidad Centro de Distribución (suministros)

VARIABLES DE DECISIÓN

M $_i$ binaria: 1 para indicar si el centro de distribución es ubicado en la zona i ; 0 de lo contrario

W $_j$ binaria: 1 para indicar si el albergue es ubicado en la zona j ; 0 de lo contrario.

G $_{ij}$ binaria: 1 para indicar si el centro de distribución i atiende al albergue j ; 0 de lo contrario.

D $_{kj}$: cantidad de damnificados de la zona k que son atendidos en el albergue j .

Y $_{kj}$ binaria: 1 para indicar si los damnificados de la zona k son atendidos en el albergue j . 0 de lo contrario

Q $_{ij}$: cantidad de suministros a ser enviados desde el centro de distribución i hacia el albergue j .

FUNCIÓN OBJETIVO

Minimizar el tiempo de viaje desde el centro de distribución ubicado en la zona i y zona de damnificados k hasta los albergues ubicados en las zonas j [minutos]

$$\sum_{\forall i,j} TIEMPCD_{ij} * G_{ij} + \sum_{k,j} TIEMPCV_{k,j} * Y_{kj}$$

RESTRICCIONES

1. Una zona solo puede ser usada para ubicar un centro de distribución o albergue.

$$M_i + W_j \leq 1 \quad \forall i \in CD, j \in CA, i = j$$

2. Garantiza la apertura de un único centro de distribución i

$$\sum_{i \in CD} M_i = 1$$

3. El centro de distribución atiende el albergue j solo si el albergue está abierto

$$\sum_{i \in CD} G_{ij} = W_j \quad \forall j \in CA$$

4. Garantiza la atención damnificados de cada zona k en el albergue j solo si está se abre

$$\sum_{k \in CV} D_{kj} \leq \sum_{k \in CV} DAMN_k * W_j \quad \forall j \in CA$$

5. El Albergue atiende damnificados de la zona solo si se decide atenderlos.

$$D_{kj} = Y_{kj} * DAMN_k \quad \forall j \in CA, k \in CV$$

6. Los damnificados de cada zona afectada k son atendidos en un solo albergue j

$$\sum_{j \in CA} Y_{kj} = 1 \quad \forall k \in CV$$

7. Un albergue se abre solo si el número de damnificados a ser atendidos supera el 10% de la capacidad del albergue.

$$\sum_{k \in CV} D_{kj} \geq 0.1 * C_j * W_j \quad \forall j \in CA$$

8. Cada albergue que se abra debe tener la capacidad suficiente para atender a los damnificados de una zona afectada k

$$\sum_{k \in CV} DAMN_k * Y_{kj} \leq C_j * W_j \quad \forall j \in CA$$

9. Se envían suministros de ayuda desde un centro de distribución al albergue solo si el centro de distribución atiende al albergue

$$Q_{ij} \leq G_{ij} * U \quad \forall i \in CD, j \in CA$$

10. La cantidad de suministros a enviar del centro de distribución al albergue no debe exceder la capacidad del centro de distribución.

$$\sum_{j \in CA} Q_{ij} \leq N_i * M_i \quad \forall i \in CD$$

11. La cantidad de suministros enviados del centro de distribución a los albergues no deben exceder la capacidad de los albergues.

$$\sum_{i \in CD} Q_{ij} \leq CONSD * C_j * W_j \quad \forall j \in CA$$

12. El total de damnificados a atender en el albergue j de la zona k debe ser como mínimo el total de damnificados de esa zona.

$$\sum_{j \in CA} D_{kj} \geq DAMN_k \quad \forall k \in CV$$

13. Restricción que garantiza que el número de albergues sean suficientes para atender la población damnificada

$$\sum_{j \in CA} W_j \geq \frac{\sum_{k \in CV} DAMN_k}{\sum_{j \in CA} C_j}$$

14. Garantiza que se envíen los suministros suficientes para cubrir la demanda del albergue

$$\sum_{i \in CD} Q_{ij} \geq CONSD * \sum_{k \in CV} D_{kj} \quad \forall j \in CA$$

15. 16, 17, 18, 19 y 20 Rango de valores que pueden tomar las variables

$$\begin{aligned} M_i &\in \{0,1\} \quad \forall i \in CD \\ W_j &\in \{0,1\} \quad \forall j \in CA \\ G_{ij} &\in \{0,1\} \quad \forall i \in CD, j \in CA \\ Y_{kj} &\in \{0,1\} \quad \forall k \in CV, j \in CA \\ D_{kj} &\geq 0 \quad \forall k \in CV, j \in CA \\ Q_{ij} &\geq 0 \quad \forall i \in CD, j \in CA \end{aligned}$$

7.2. RUTEO DE PERSONAL ESPECIALIZADO

El modelo que se muestra a continuación, fue una adaptación del Modelo de Ruteo de Vehículos con limitaciones de capacidad y flota homogénea (CVRP) (Ralphs et al., 2001).

La formulación del modelo, los datos y comandos de este modelo se encuentran en los anexos 13.2.

SUPUESTOS

- Los 3 grupos de apoyo (Cruz Roja, Defensa Civil y Bomberos) tienen la misma habilidad y capacidad para atender a los damnificados por este tipo de desastre, y cuentan con todas las herramientas necesarias.
- Las personas especializadas forman una sola unidad de apoyo.
- La capacidad de atención se determina de acuerdo al número de damnificados y personal disponible.
- No se consideran restricciones de acceso en las vías.
- Todo el personal especializado se encuentra disponible en el centro de distribución.
- Los tiempos de viaje son determinísticos
- La unidad de apoyo transporta todo el personal especializado requerido para la atención de damnificados.

CONJUNTOS PRINCIPALES

CDA: Conjunto de vértices de entrada (Centro de distribución más albergues de donde sale la unidad de apoyo) indexado por i y j

UA: Conjunto de Unidades de apoyo disponibles indexado por k

PARÁMETROS

T_{ij} : Tiempo de viaje desde el CDA i hasta CDA j (Minutos)

C : Capacidad de atención del personal especializado asociada a cada UA k (Damnificados/Personal)

A_i : Demanda del albergue asociado a cada CDA i y CDA j (Damnificados)

NP : Cantidad personal especializado disponible en cada unidad de apoyo (Personal)

VARIABLES DE DECISION

P_{ijk} : 1 para indicar si la unidad de apoyo k pasa por la ruta de i a j ; 0 en caso contrario (unidades)

D_{ik} : Demanda del albergue i suplida por la unidad de apoyo (Personal)

S_i : Variable adicional que representa la carga de la unidad de apoyo después de visitar el albergue i (Personal)

FUNCIÓN OBJETIVO

Minimizar el tiempo de viaje desde el centro de distribución a todos los albergues.

$$\sum_{\forall i,j,k \ i \neq j} T_{ij} * P_{ijk}$$

RESTRICCIONES

1. Asegurar que el personal llegue al albergue

$$\sum_{i,k \ i \neq j} P_{ijk} \geq 1 \quad \forall j \in CDA$$

2. Indica que el albergue i puede ser servido por el personal especializado si y solo si k pasa por i

$$D_{ik} = \frac{A_i}{C} * \sum_{j \in CDA} P_{ijk} \quad \forall i \in CDA, k \in UA: i \geq 1$$

3. Asegura que la demanda de cada albergue abierto se satisface por completo

$$\sum_{k \in UA: i \geq 1} D_{ik} = \frac{A_i}{C} \quad \forall i \in CDA$$

4. Determina que la cantidad entregada en cada viaje hacia los albergues no exceda el número de personal especializado disponible

$$\sum_{i \in CDA: i \geq 1} D_{ik} \leq NP \quad \forall k \in UA$$

5. Balance de Flujo, que indica que las Unidades de apoyo que salen del centro de distribución vuelven a él.

$$\sum_{i \in CDA, i \neq n} P_{ink} - \sum_{j \in CDA, j \neq n} P_{njk} = 0 \quad \forall n \in CDA, k \in UA$$

6. 7. y 8. Evitar sub-rutas

$$S_i - S_j + NP * P_{ijk} \leq NP - \frac{A_i}{C} \quad \forall i, j \in CDA, k \in UA: i \neq j, i \neq 0, j \neq 0$$

$$\frac{A_i}{C} \leq S_i \quad \forall i \in CDA: i \neq 0$$

$$S_i \leq NP \quad \forall i \in CDA: i \neq 0$$

9. 10, 11, Y 12 Rango de valores que pueden tomar las variables

$$P_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in CDA, k \in UA$$

$$D_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in CDA, k \in UA$$

$$S_i \geq 0 \quad \forall i \in CDA$$

$$S_j \geq 0 \quad \forall j \in CD$$

8. CASO ESTUDIO

El Municipio de Tuluá se encuentra ubicado en el suroeste colombiano, en el centro del departamento del Valle del Cauca entre la cordillera Central y el Rio Cauca.

La cabecera municipal está a 960 msnm en la zona plana y 4.400 metros de altitud en los páramos de Barragán y Santa Lucia. En materia de recurso hídrico el municipio cuenta con el río Tuluá que pasa por su casco urbano y los ríos Bugalagrande y Morales como estructura central, con los ríos San Marcos y Frazadas y con las acequias o quebradas del ahorcado, La Ribera, Tesorito, La Luisa, La Mina, Piedritas, Zabaletas y Zorrilla, como estructura ramificada y en el río Cauca como eje final de todas las vertientes. (Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres Municipio de Tuluá, 2012).

Cuenta con 1014,96 km como área territorial (IDEAM, et. al, 2017). La extensión territorial total del municipio es de 910,55 kilómetros cuadrados (Km-2) de los cuales el 98,78% corresponde al sector Rural y 1,22% al sector urbano (CMGR, 2012).

Según cifras del DANE, Tuluá cuenta con una población aproximada de 216.619 habitantes, 187,121 en la cabecera municipal y 29.483 en zona rural. (Cámara de Comercio de Tuluá, 2016).

Los modelos propuestos son el de localización de albergues temporales y ruteo de personal especializado. El modelo de localización lo que pretende es arrojar los lugares óptimos para la ubicación de un centro de distribución y albergues temporales de tal manera que se minimice el tiempo de viaje entre ellos al momento de distribuir ayuda humanitaria, y el tiempo de viaje desde las zonas afectadas hacia los albergues para la movilización de damnificados. Mientras que el modelo de ruteo pretende generar que el personal especializado al momento de atender los albergues con damnificados desde su respectivo lugar de origen, obtengan un tiempo mínimo de traslado a cada uno de ellos.

Con el fin de validar los modelos propuestos en el punto anterior se toma como referencia el municipio de Tuluá y su afectación por la ola invernal en el año 2011. Las inundaciones se producen en temporada de invierno, por el desbordamiento del río Tuluá en primera instancia, afectando los barrios de: Tomas Uribe(CV1), La Trinidad(CV2), Siete de Agosto(CV3), San Antonio(CV4), La Inmaculada(CV5), Villa Nueva(CV6), Casa Huertas(CV7), Portales de Río en la zona urbana(CV8), y en el corregimiento de Bocas de Tuluá(CV9) y Tres Esquinas(CV10); el río Morales Afectando los barrios de: Urbanización la Villa(CV11), El Bosque(CV12), Santa Rita(CV13). (CMGR, Consejo Municipal de Gestión del Riego de Desastres Municipio de Tuluá, 2012).

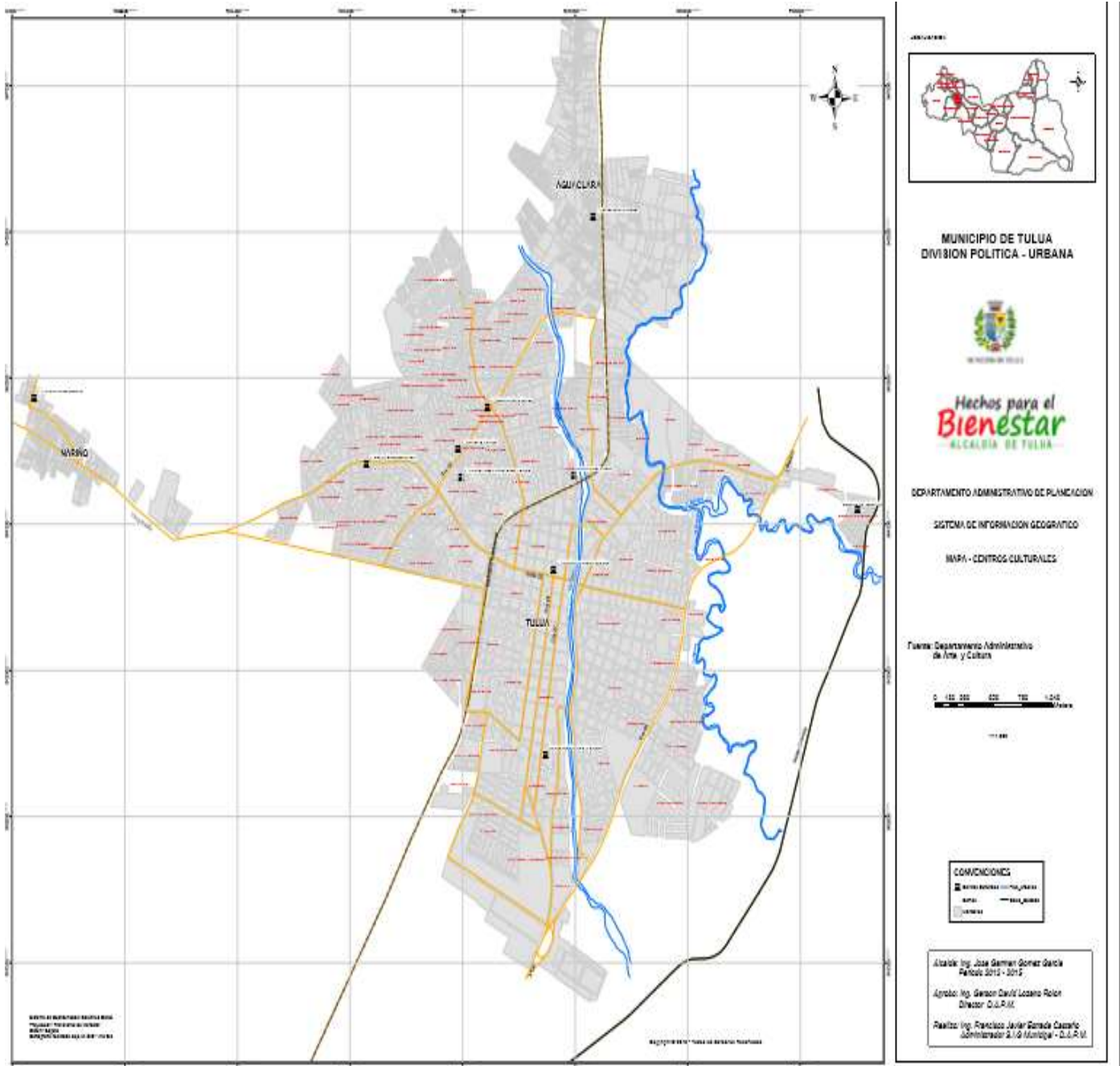
Para que los modelos proporcionen un resultado óptimo satisfaciendo la necesidad en la población damnificada, se identificaron unas zonas seguras, donde posiblemente se pueda localizar albergues temporales, estos lugares son: coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas(CA1), Colegio Salesiano San Juan Bosco(CA2), Coliseo Benicio Echeverry(CA3), Estadio Doce de Octubre(CA4), Institución Educativa Aguaclara(CA5) Institución Educativa Técnica Occidente Tuluá(CA6), Puesto de Salud la independencia(CA7), Rubén Cruz Vélez(CA8), Institución Educativa Julia Restrepo(CA9), Colegio Gimnasio del Pacífico(CA10), Institución Educativa Julio Cesar Zuluaga corregimiento Tres Esquinas(CA11), Institución Educativa Julio Cesar Zuluaga en el corregimiento de Bocas de Tuluá(CA12); y un centro de distribución cuyos sitios potenciales para su localización son el coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas(CD1) y el colegio Salesiano San Juan Bosco(CD2); en el municipio de Tuluá la secretaria de gobierno no cuenta con instalaciones adecuadas para la ubicación de albergues temporales, es por ello que hacen uso de las instituciones educativas oficiales y algunos centros de salud, aunque se sabe que a la hora de una emergencia que se requiera ubicar albergues no se debe recurrir a las instituciones educativas y centros de salud, porque de esta manera se estaría interviniendo en las actividades académicas y laborales, pero como se mencionó anteriormente el municipio y en este trabajo se acude a dichas instalaciones, porque no se cuentan con otras disponibles.

Las entidades o grupos de personal especializado para la atención de desastres son: Bomberos Voluntarios, Defensa Civil y Cruz Roja.

Los tiempos de viajes y todos los datos necesarios para el desarrollo de los modelos se encuentran en los anexos 13.1.

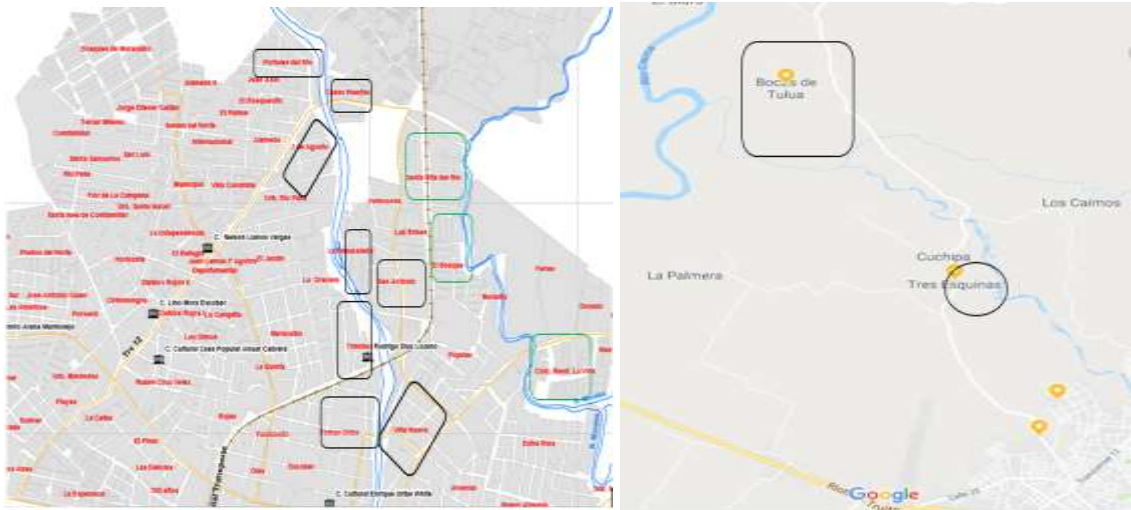
<< CA1 significa albergue temporal 1, y CD1 significa centro de distribución 1>>. (Ver Figura 15)

Figura 15. División Política del municipio de Tuluá



Fuente: Estrada (2015).

Figura 16. Zonas en Riego por Inundaciones

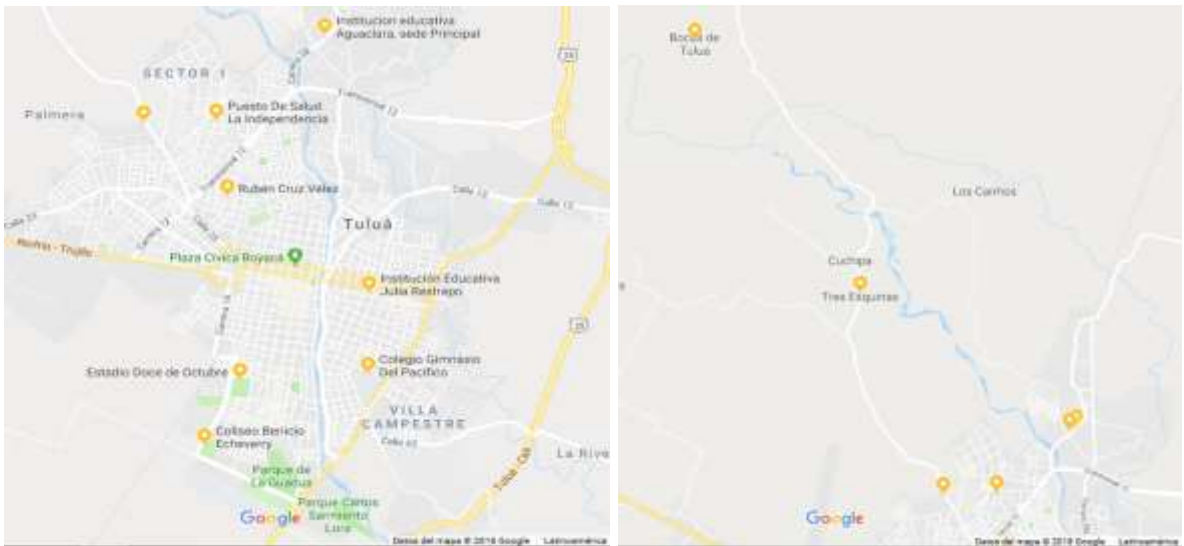


A. Casco Urbano

b. Zona rural

Fuente: Google Maps

Figura 17: Zonas Seguras para la ubicación de Albergues Temporales



Fuente: Google Maps

Figura 18. Zonas seguras para la ubicación del Centro de distribución.



Fuente: Google Maps

Las Instituciones Involucradas en la respuesta a emergencias son:

- a. **Identificación de la Población Afectada y Entrega de Ayudas Humanitarias:** CMGR, Policía Nacional, Defensa Civil Junta Centro del Valle, Defensa Civil Junta Tuluá, Ejercito Nacional, ASOJUNTAS Juntas de Acción Comunal, Cruz Roja Colombiana.
- b. **Montaje y Funcionamiento de Alojamientos Temporales:** CMGR, Juntas de Acción Comunal, Policía Nacional, Ejercito Nacional, Cámara de Comercio, ICBF, Secretaría de Salud, Secretaria de Obras Públicas (CMGR, Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres Municipio de Tuluá, 2012).

Los vehículos con los que cuenta el municipio para estas actividades son: Camperos, ambulancias, camionetas y motos.

Las acciones ejecutadas por amenazas de inundación en el municipio de Tuluá se identifican en la tabla 4.

Tabla 4: Acciones a ejecutar para la prevención y control de las amenazas por inundación.

ACCIÓN Y/O ACTIVIDAD	RESPONSABLES
Vigilancia y/o monitoreo de precipitaciones parte de la alta cuenca de ríos.	Empresas Privadas (Centroaguas y CETSA)
Alerta (sistema y/o procedimiento)	Sr. Alcalde – Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo
Alarma (sistema y/o procedimiento)	Bomberos, Vehículos de Socorro y Policía Nacional y Medios de comunicación
Prevención: (preparación, planeación, capacitación y simulacros).	Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo.(Comité Municipal para la Reducción del Riesgo)
Evacuación preventiva	Defensa Civil, Cruz Roja, y Cuerpo de Bomberos Voluntarios. (Comité Municipal para el Manejo de Desastres)
Censos de afectados	Cruz Roja, Defensa Civil (SEDAMA en la zona rural plana media y alta).
Atención de víctimas en el sitio	Cruz Roja, Defensa Civil y Cuerpo de Bomberos Voluntarios Y Grupos De Apoyo
Búsqueda y rescate	Equipos SAR de Cruz Roja, Defensa Civil y Cuerpo de Bomberos Voluntarios.
Traslado asistencial de víctimas	Cruz Roja, Defensa Civil y Cuerpo de Bomberos Voluntarios, Grupos De Apoyo y Hospitales y Clínicas.

Fuente: CMGR (2012)

Las inundaciones se catalogan como emergencias nivel III según la secretaria de Gobierno (2012), ya que son eventos o incidentes de baja frecuencia que tienen un impacto importante sobre un sector de la ciudad, espacialmente puede ser en uno o más sectores, además estos eventos usualmente afectan a un número importante de familias (varias decenas) y se pueden expandir o generar riesgos conexos, pero puede ser controlado.

En la atención de este tipo de emergencias participan todas las entidades operativas del CMGR la coordinación directa se hace según lo define el Decreto 498 de 2012. La capacidad técnica y logística del municipio es suficiente y el período operacional es normalmente mayor de 8 horas, pero menor de 48 horas. Este tipo de emergencia es registrada tanto por medios de comunicación locales como departamentales. Su manejo demanda la atención directa del director del CMGR, y en algunas ocasiones del Secretario de Gobierno y/o otros miembros del gabinete. En algunos casos donde el impacto sobre la gobernabilidad es importante (ej. Atentados terroristas) requiere el manejo directo del Alcalde. En algunas ocasiones a este nivel se declara la Emergencia Municipal.

9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados arrojados por el software CPLEX en la plataforma NEOS Server se encuentran en los anexos 13.4.

- El modelo de localización determinó abrir el centro de distribución No. 1 (CD1) y los albergues No. 5 y 11 (CA5, CA11), estas ubicaciones temporales garantizan un tiempo de viaje mínimo de 93 minutos lo que garantiza la atención de toda la población vulnerable.

En la figura 19 se ilustra la ubicación del centro de distribución y los albergues, y en las figuras 20 y 21 se muestra la asignación de las zonas afectadas en cada una de estos albergues.

Figura 19 Ubicación del centro de distribución y los albergues



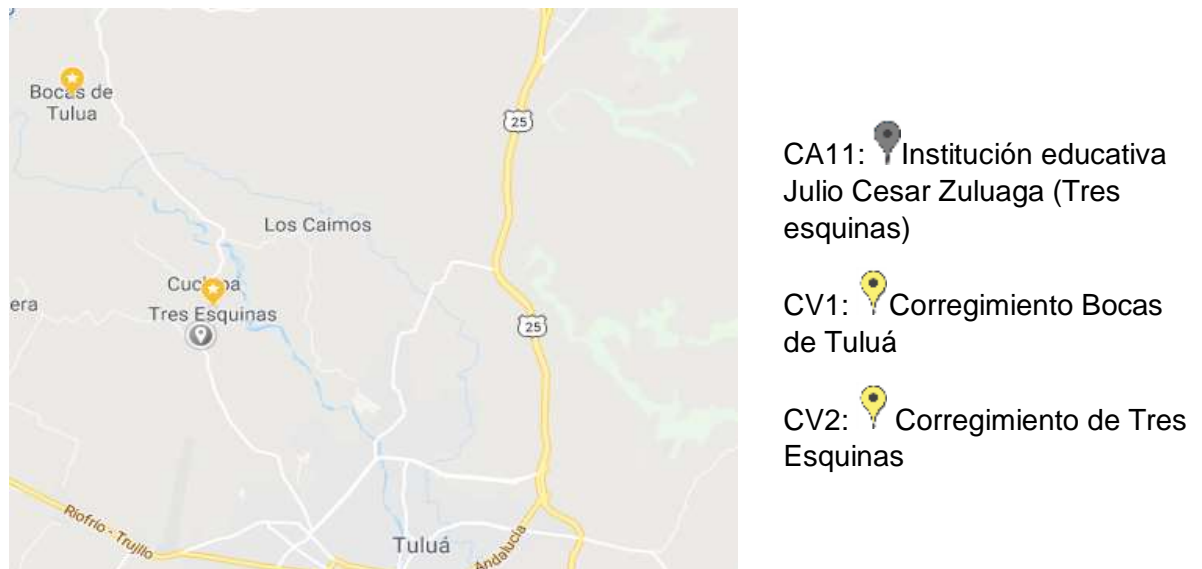
Fuente: Google Maps

Figura 20. Asignación de las zonas afectadas al CA5.



Fuente: Google Maps

Figura 21. Asignación de las zonas afectadas al CA11.



Fuente: Google Maps

La cantidad de damnificados y suministros asignados a cada albergue se muestran en las tablas 5 y 6 respectivamente

Tabla 5. Damnificados de cada lugar afectado que van a ser atendidos en cada albergue

CA \ CV	5	11
1	0	47
2	0	21
3	27	0
4	32	0
5	21	0
6	25	0
7	25	0
8	30	0
9	16	0
10	32	0
11	26	0
12	27	0
13	25	0

Fuente: Creación del autor, basado en datos de AMPL.

Tabla 6. Suministros asignados desde el Centro de distribución a cada Albergue

CA \ CD	1
5	286
11	68

Fuente: Creación del autor, basado en datos de AMPL.

Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

- Variables 374: 194 variables binarias y 180 variables enteras.
- Restricciones 284, todas lineales: 182 Restricciones de igualdad y 102 restricciones de desigualdad. 1472 nonzeros.
- 1 objetivo lineal. 178 nonzeros.
- Tiempo de corrida: 300
- Hilos:4
- Iteraciones: 76 MIP simplex

Estos resultados muestran que todas las zonas afectadas donde se encuentran los damnificados en la cabecera municipal son atendidos por la institución Educativa Aguaclara sede principal (CA5) que también se encuentra en el casco urbano y cerca al centro de distribución Coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas (CD1), y las zonas de damnificados en la parte rural del municipio son atendidas por la Institución educativa Julio Cesar Zuluaga (CA11), y este a su vez es atendido por el mismo centro de distribución Coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas (CD1).

- El modelo de Ruteo para obtener un tiempo mínimo de viaje y así tener una oportuna atención de los damnificados, determinó que la unidad de apoyo con personal especializado sale del Coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas (CD1), va hacia el albergue I.E. Aguaclara (CA5) dejando 96 personas especializadas, luego se dirige al albergue I.E. Julio Cesar Zuluaga (CA11) dejando 23 personas especializadas y finalmente se regresa de allí hacia su punto de partida el CD1. En la Tabla 7 se muestran los resultados arrojados por el modelo.

Tabla 7. Resultados Modelo Ruteo de personal especializado.

Tiempo de Viaje: 40 minutos

Ruta: CD1 → CA5 → CA11 → CD1

Personal Especializado (D) por Albergue (CA) abierto		
CA	CA5	CA11
D	96	23

Fuente: Creación del autor, basado en datos de AMPL.

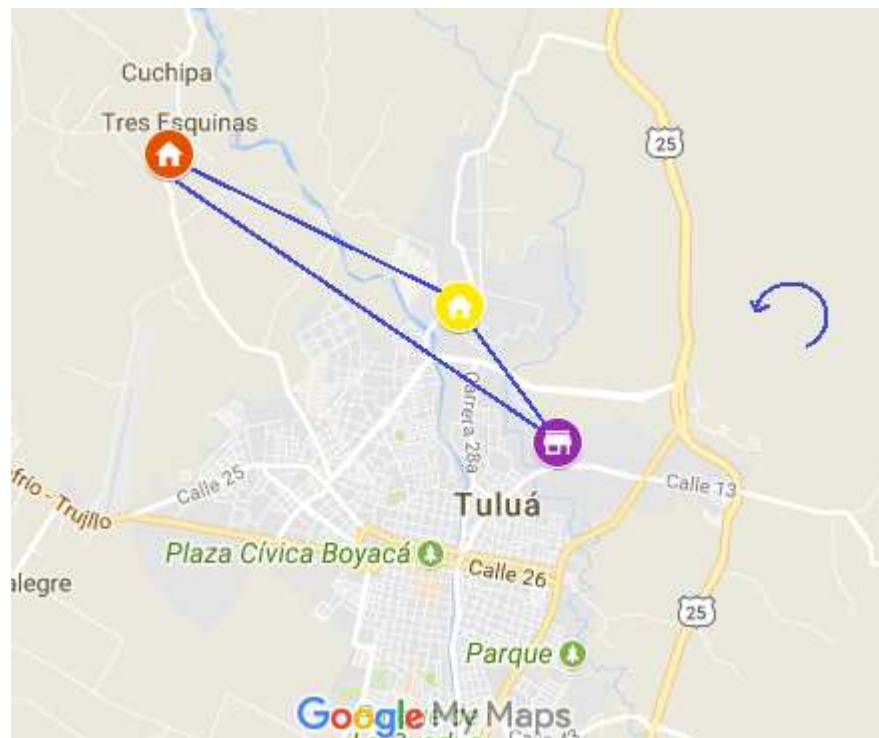
Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

- Variables 10: 8 variables binarias y 2 variables enteras.
- Restricciones 10, todas lineales: 5 Restricciones de igualdad y 5 restricciones de desigualdad. 6 nonzeros.
- 1 objetivo lineal. 6 nonzeros.
- Timelimit: 300
- Hilos:4
- Iteraciones: 0 MIP simplex

Se observa en el modelo base de ruteo que la ruta que sigue el personal especializado inicia en el centro de distribución CD1, de ahí va al albergue CA5 donde el 80% del personal especializado atiende la demanda de este albergue ya que la mayoría (+- 80%) de damnificados se concentran allí, por lo que se hace necesaria mayor cantidad de personal especializado para aliviar el sufrimiento de los damnificados por un desastre, de ahí se dirige a atender al otro albergue temporal abierto CA11 el cual tiene el 20% de los damnificados, generando un tiempo mínimo de 40 minutos de traslado de la unidad de apoyo con personal especializado hacia los albergues.

Estos modelos definen cuántos albergues temporales se deben abrir, seleccionando cuáles de los sitios potenciales se pueden habilitar para dicha función y los damnificados que irán a cada uno, también define cual centro de distribución abrir que tenga la capacidad de abastecer cada albergue abierto, y el ruteo del personal especializado, cumpliendo con la función objetivo de encontrar una solución que genere el menor tiempo posible en la atención de los damnificados. Los resultados conjuntos de Localización y ruteo se muestran en la Figura 22.

Figura 22. Resultados Modelo Localización y Ruteo de personal especializado.



Fuente: Autores

Aunque el modelo de localización haya generado una solución para la toma de decisiones a la hora de ubicar albergues temporales para la atención de damnificados por las inundaciones en el municipio de Tuluá, y el modelo de ruteo una solución que cumpliera con el objetivo de minimizar el tiempo de viaje de la unidad de apoyo con personal especializado desde el centro de distribución hacia los albergues donde se encuentran los damnificados, se requiere realizar un análisis de posibles escenarios a partir de la variación de parámetros de interés para observar cómo se comportan los modelo de localización y ruteo para así poder tener una mejor respuesta y toma decisiones al momento que se presente una inundación.

10. ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS

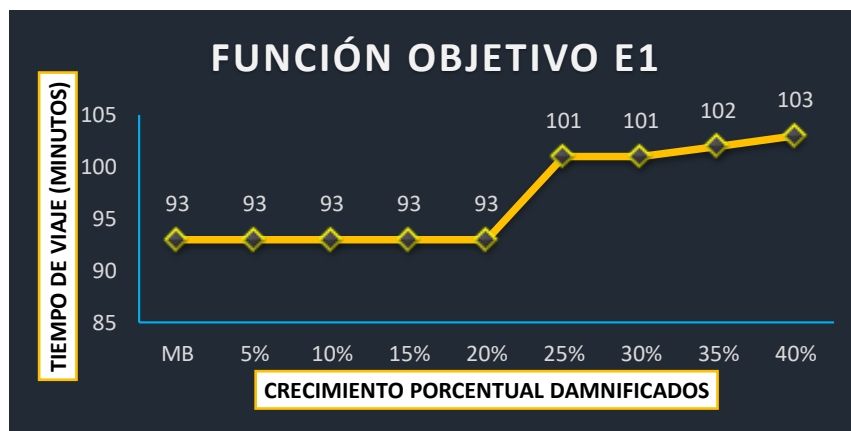
Se han establecido cuatro escenarios que se pueden presentar al ocurrir un desastre natural con el fin de poder evaluar el modelo, no solo en una posible situación sino en un campo más amplio, por lo cual se propone variar algunos parámetros que son a criterio propio de impacto en los resultados arrojados por el modelo y así analizar cada escenario, tanto para el modelo de Localización de albergues temporales como el modelo de ruteo de personal especializado.

Los resultados arrojados por el software CPLEX en la plataforma NEOS Server se encuentran en el anexo 13.3.

Escenario 1.

Aquí en el modelo se aumenta la cantidad de damnificados en cada zona de riesgo establecida en el modelo base en un 40%, se toma este porcentaje (%) basados en un ensayo donde se fue aumentando el porcentaje en 5 puntos porcentuales, hasta lograr observar una variación en los resultados, estos resultados se observan en la figura 23.

Figura 23. Resultados Ensayo aumento porcentual Escenario 1.



Fuente: Autores

Se toma el 40% ya que aquí se genera una variación en el tiempo de viaje y además de ello se genera un cambio en la cantidad de albergues temporales que se abren y el centro de distribución es diferente al modelo base, las variables que se afectaron en el modelo de localización se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados Escenario 1 Localización.

VARIABLES	MODELO BASE	ESCENARIO 1			MODELO BASE		ESCENARIO 1		
F.O	93 min	103 min	CD Abierto		1		2		
CD Abierto	CD1	CD2	CA's Abiertos		5	11	1	5	11
CA's Abiertos	CA5 - CA11	CA1 - CA5 - CA11	Cant. Sum. por albergue		286	68	148	255	96

Tiempo Función Objetivo, Albergues (CA) y Centro de Distribución (CD) que se abren.

Representa la cantidad de suministros a ser enviados a cada albergue abierto desde el CD que se abrió

		MODELO BASE												
CA's Abiertos	11	5												
zonas en Riesgo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Damnificados. Aten. por albergue según zona	47	21	27	32	21	25	25	30	16	32	26	27	25	
Cantidad de damnificados a enviar desde cada CV a CA														
		ESCENARIO 1												
CA's Abiertos	11	1	5							1				
zonas en Riesgo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Damnificados. Aten. por albergue según zona	66	30	38	45	30	35	35	42	23	45	37	38	35	

Representa la cantidad de damnificados enviados desde de cada subzona en Riesgo a los albergues abiertos

Fuente: Autores

Como se puede observar al incrementarse el número de damnificados en cada zona de riesgo, el tiempo de atención aumenta en un 9,708%, ya no se abre el CD1 como en el modelo base sino el CD2 (Colegio Salesiano San Juan Bosco), abriendo de igual manera el CA5 y CA11 pero además abre el CA1 (Coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas), es decir, en este escenario se abren 3 albergues, esto debido a que la cantidad de damnificados es mayor a la del modelo base.

Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

- Variables 372: 193 variables Binarias y 179 variables enteras.
- Restricciones 283, Todas lineales: 181 restricciones de igualdad y 102 restricciones de desigualdad. 1464 nonzeros.
- 1 Objetivo lineal: 177 nonzeros
- Timelim: 300
- Hilos: 4
- Iteraciones: 231 MIP simplex.

Las variables que se afectaron en el modelo de Ruteo se muestran en la tabla 9

Tabla 9. Resultado Escenario 1 Ruteo.

Tiempo de Viaje: 51 minutos

Ruta: CD2 → CA1 → CA5 → CA11 → CD2

	F.O
Modelo Base	40 min
Escenario 1	51 min

Personal Especializado (D) por Albergue (CA) abierto			
CA	CA1	CA5	CA11
D	20	51	30

Fuente: Creación del autor, basado en datos de AMPL.

Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

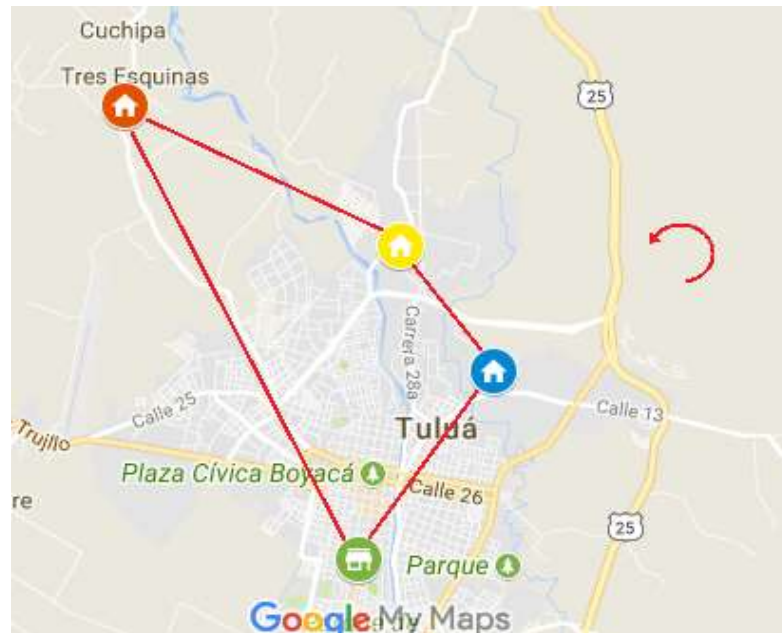
- Variables 18: 15 variables binarias y 3 variables enteras.
- Restricciones 17, todas lineales: 7 Restricciones de igualdad y 10 restricciones de desigualdad. 66 nonzeros.
- 1 objetivo lineal. 12 nonzeros.
- Timelimit: 300
- Hilos:4
- Iteraciones: 12 MIP simplex

Como se puede observar en el escenario 1 de ruteo donde la cantidad de damnificados se aumenta en un 40%, el grupo de personal especializado inicia su ruta en el CD2 que es el Colegio salesiano, se dirigen al CA1, luego al CA5, luego al CA11 y terminan en el CD2, sin generarse sub-rutas, en el CA5 se requiere mayor cantidad de personal especializado ya que allí se encuentra mayor cantidad de damnificados que en los otros albergues, por lo cual es coherente que se dejen más personal especializado en CA5 que en los otros, generándose un tiempo mínimo 51 minutos, este tiempo es mayor que el tiempo arrojado por el modelo base que es de 40 minutos.

La relación entre el aumento de damnificados y aumento del tiempo de ruteo se debe a los resultados que arroja el modelo de localización y es el hecho de abrir un albergue más lo que significa que el recorrido del personal especializado es más largo.

Los resultados conjuntos de Localización y ruteo se muestran en la Figura 24.

Figura 24. Resultados Modelo Localización y Ruteo de personal especializado escenario 1.

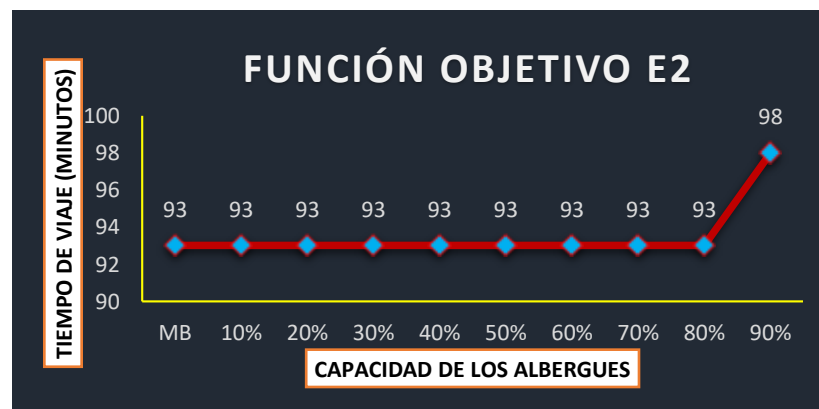


Fuente: Autores

Escenario 2.

Se propone disminuir la capacidad de las zonas seguras para la ubicación de albergues temporales en un 90%, se toma este porcentaje (%) basados en un ensayo donde se fue disminuyendo el porcentaje en 10 puntos porcentuales, hasta lograr observar una variación en los resultados, estos resultados se observan en la figura 25.

Figura 25. Resultados Ensayo disminución capacidad Escenario 2.



Fuente: Autores

Como se puede observar que una variación en la función objetivo se genera en cuando la capacidad de los albergues se disminuye en un 90%, es por tal motivo que el escenario 2 se trabajó con una disminución del 90%, las variables que se afectaron en el modelo de localización se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Resultados Escenario 2 Localización.

VARIABLES	MODELO BASE	ESCENARIO 2	MODELO BASE		ESCENARIO 2		
			1		1		
F.O	93 min	93 min	CD Abierto		1		
CD Abierto	CD1	CD1	CA's Abiertos		5	5	11
CA's Abiertos	CA5 - CA11	CA5 – CA6 – CA9	Cant. Sum. por albergue		286	176	96

Tiempo Función Objetivo, Albergues (CA) y Centro de Distribución (CD) que se abren.

Representa la cantidad de suministros a ser enviados a cada albergue abierto desde el CD que se abrió

MODELO BASE													
CA's Abiertos	11		5										
zonas en Riesgo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Damnificados. Aten. por albergue según zona	47	21	27	32	21	25	25	30	16	32	26	27	25

Cantidad de damnificados a enviar desde cada CV a CA

ESCENARIO 2													
CA's Abiertos	6	9	5					9	5	9	5		
zonas en Riesgo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Damnificados. Aten. por albergue según zona	47	21	27	32	21	25	25	30	16	32	26	27	25

Representa la cantidad de damnificados enviados desde de cada subzona en Riesgo a los albergues abiertos

Fuente: Autores

Este escenario permite observar que al disminuir la capacidad de las zonas seguras para la ubicación de albergues temporales influye en el modelo y hace que se abra un albergue más a diferencia del modelo base, para así poder abarcar la demanda de damnificados, la función objetivo en este escenario da como resultado 98 min de viaje, lo cual tiene un aumento del 5,1%, esto se debe a que hay mayor recorrido por hacer.

Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

- Variables 308: 160 variables binarias y 148 variables enteras.
- Restricciones 240, Todas lineales: 162 restricciones de igualdad y 78 restricciones de desigualdad. 1212 nonzeros.
- 1 Objetivo Lineal; 146 nonzeros.
- Timelim:300
- Hilos: 4
- Iteraciones: 68 MIP simplex.

Las variables que se afectaron en el modelo de Ruteo se muestran en la tabla 11

Tabla 11. Resultado Escenario 2 Ruteo.

Tiempo de Viaje: 36 min

Ruta: CD1 → CA9 → CA6 → CA5 → CD1

	F.O
Modelo Base	40 min
Escenario 2	36 min

Personal Especializado (D) por Albergue (CA) abierto			
CA	CA5	CA6	CA9
D	59	23	37

Fuente: Creación del autor, basado en datos de AMPL.

Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

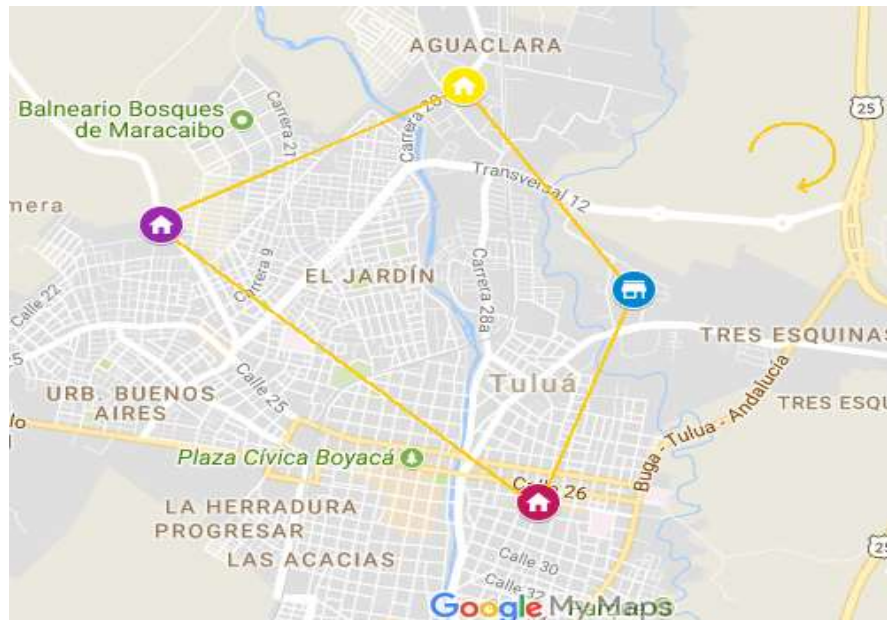
- Variables 18: 15 variables binarias y 3 variables enteras.
- Restricciones 17, todas lineales: 7 Restricciones de igualdad y 10 restricciones de desigualdad. 66 nonzeros.
- 1 objetivo lineal. 12 nonzeros.
- Timelimit: 300
- Hilos:4
- Iteraciones: 9 MIP simplex

En este escenario donde la capacidad de los albergues disminuye en un 90% y el modelo de localización arroja que se deben abrir 3 albergues temporales (CA5, CA6, CA9) a diferencia del modelo base que solo se abrieron 2 (CA5, CA11), el personal especializado inicia su ruta en el CD1 Coliseo de Ferias, pasando al CA9, luego va al CA6, siguiendo al CA5 y termina en el CD1, sin generarse subrutas. Debido a que se abre un CA más a diferencia del modelo base, el CA5 y CA9 son atendidos (+-) por el 76,2% del personal especializado ya que tienen más damnificados que el CA6.

El tiempo viaje es de 36 minutos, tiempo menor al del modelo base.

Los resultados conjuntos de Localización y ruteo se muestran en la Figura 26.

Figura 26. Resultados Modelo Localización y Ruteo de personal especializado escenario 2.

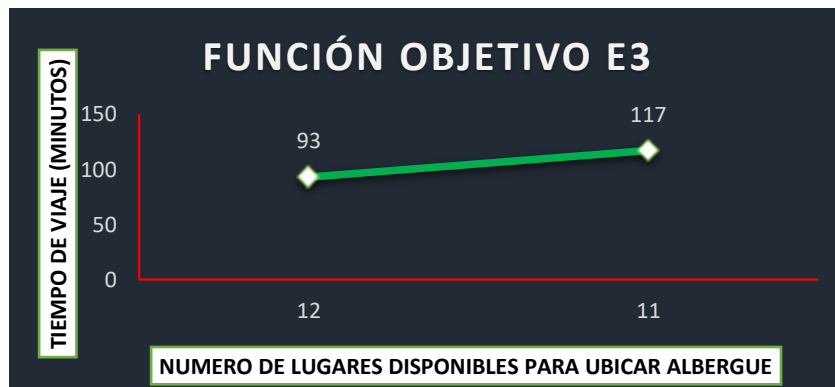


Fuente: Autores

Escenario 3.

Se disminuye la cantidad de zonas seguras para la posible ubicación de albergues temporales, pasando de 12 zonas seguras a 11, se decide eliminar la zona para ubicación N. 5, ya que en el modelo base más del 80% de los damnificados son enviados esta zona, por lo que se deseó evaluar el comportamiento del modelo sin esta zona, estos resultados se observan en la figura 27.

FIGURA 27. Resultados Ensayo aumento porcentual Escenario 3.



Fuente: Autores

La figura 27 muestra que al reducirse una zona segura para la ubicación de un albergue temporal se genera una variación en la función objetivo, las variables que se afectaron en el modelo de localización se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados Escenario 3 Localización.

VARIABLES	MODELO BASE	ESCENARIO 3	MODELO BASE		ESCENARIO 3			
			CD Abierto	1	2			
F.O	93 min	117 min	CA´s Abiertos	5	11	1	7	11
CD Abierto	CD1	CD2	Cant. Sum. por albergue	286	68	217	69	68
CA´s Abiertos	CA5 - CA11	CA1- CA7- CA10						

Tiempo Función Objetivo, Albergues (CA) y Centro de Distribución (CD) que se abren.

Representa la cantidad de suministros a ser enviados a cada albergue abierto desde el CD que se abrió

		MODELO BASE												
CA´s Abiertos	11	5												
zonas en Riesgo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Damnificados. Aten. por albergue según zona	47	21	27	32	21	25	25	30	16	32	26	27	25	
Cantidad de damnificados a enviar desde cada CV a CA														
		ESCENARIO 3												
CA´s Abiertos	10	1	7			1			7	1				
zonas en Riesgo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Damnificados. Aten. por albergue según zona	47	21	27	32	21	25	25	30	16	32	26	27	25	

Representa la cantidad de damnificados enviados desde de cada subzona en Riesgo a los albergues abiertos

Fuente: Autores

En este último escenario identificamos que el modelo al tener menos opciones para la ubicación de albergues temporales opta por abrir uno solo y es aquel que tiene la mayor capacidad para albergar damnificados tratando así de ser central a las zonas de damnificados, y esto genera que el tiempo de atención sea mayor, ya que se deben movilizar todos los damnificados a un solo punto.

Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

- Variables 343: 178 variables binarias y 165 variables enteras.
- Restricciones 263, Todas lineales: 179 restricciones de igualdad y 84 restricciones de desigualdad. 1350 nonzeros.
- 1 Objetivo Lineal; 163 nonzeros.
- Timelim:300
- Hilos: 4
- Iteraciones: 82 MIP simplex.

Las variables que se afectaron en el modelo de Ruteo se muestran en la tabla 13

Tabla 13. Resultado Escenario 3 Ruteo.

Tiempo de Viaje: 36 min

Ruta: CD2 → CA7 → CA1 → CA10 → CD2

	F.O	Personal Especializado (D) por Albergue (CA) abierto			
Modelo Base	40 min	CA	CA1	CA7	CA10
Escenario 3	36 min	D	73	23	23

Fuente: Creación del autor, basado en datos de AMPL.

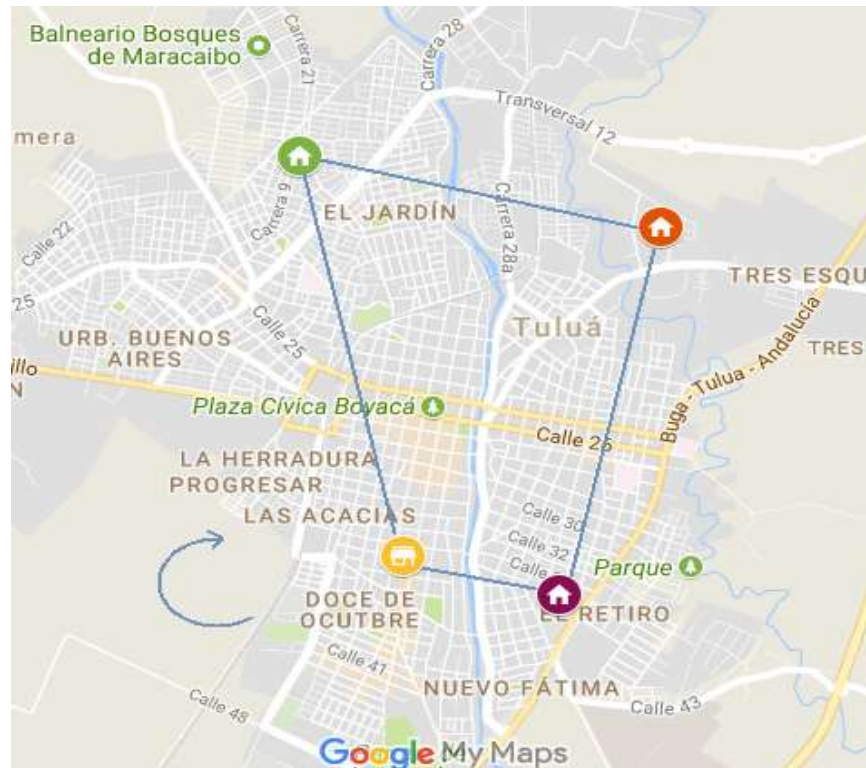
Los resultados computacionales (Neos Solvers, CPLEX):

- Variables 18: 15 variables binarias y 3 variables enteras.
- Restricciones 17, todas lineales: 7 Restricciones de igualdad y 10 restricciones de desigualdad. 12 nonzeros.
- 1 objetivo lineal. 12 nonzeros.
- Timelimit: 300
- Hilos:4
- Iteraciones: 19 MIP simplex

Debido a que el modelo de localización en este escenario donde se disminuye la cantidad de zonas seguras para la ubicación de unidades de apoyo, sacando aquella CA5, que es aquella donde se había enviado la mayoría de damnificados en el modelo base, y se observa que se abren otros albergues diferentes a los del modelo base, donde el 38.65% del personal especializado atiende el albergue CA1; pese que en este escenario hay más albergues abiertos, el tiempo es menor al del modelo base y es debido a que los albergues que aquí se abren son más cercanos en el sentido de que ya no se abre un albergue en la zona rural, sino todos dentro del casco urbano, es por ello que el tiempo de viaje disminuye.

Los resultados conjuntos de Localización y ruteo se muestran en la Figura 28.

Figura 28. Resultados modelo localización y ruteo de personal especializado escenario 3.



Fuente: Autores

Con los resultados de cada escenario se identificó que el modelo base de localización es sensible a la variación de parámetros tales como la cantidad de damnificados lo que afecta la función objetivo, ya sea de manera positiva o negativa; una variación en el parámetro de la cantidad de damnificados al aumentarla hace que se abra otro CA a parte de los que abre el modelo base, mostrando una relación proporcional y por ello el tiempo de atención en la función objetivo aumente, además se genera un cambio importante y es la decisión de abrir un CD diferente al del modelo base, como se evidencia en el escenario 1, y situación similar sucede en el escenario 3 al eliminar como zona segura CA5, permitiendo que el modelo abriese otros albergues diferentes al modelo base. Para el modelo de ruteo, estos escenarios se ven afectados de acuerdo a la información proporcionada por el modelo de localización

Estos análisis permiten concluir, que al evaluar varios escenarios para identificar las variaciones que se pueden presentar referente al modelo base de localización de albergues temporales y ruteo de personal especializado, se puede identificar cuál de ellos puede cumplir de forma más acertado la función objetivo de cada modelo. Para el modelo de localización el modelo base es aquel que arroja el menor tiempo de viaje (93 minutos) desde el centro de distribución hacia los albergues que se abrieron, entendiendo que aquí solamente se abrieron 2 albergues.

En cuanto al modelo de ruteo el escenario 2 es aquel que arroja un resultado que se acerca más al cumplimiento de la función objetivo que es disminuir el tiempo de viaje del personal especializado (36 min) iniciando y terminando su ruta en el centro de distribución que el modelo de localización decidió abrir, este resultado lo comparte con el escenario 3, la diferencia está en que el escenario 2 abre un CD y CA's diferentes del escenario 3.

11. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Dentro de la literatura se puede concluir que, para este tipo de situaciones generadas por un algún tipo de desastre, para la toma de decisiones uno de los tipos de herramientas claves son la programación lineal y sus derivados, por lo tanto para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se propuso un modelo de Localización que indique cuantos y donde se deben ubicar albergues temporales los cuales deben ser atendidos a su vez por un solo centro de distribución, y otro modelo de ruteo, que indica cual debe ser la ruta para la movilización de personal especializado para la oportuna atención de la población vulnerable, aquí se hizo uso del lenguaje de programación AMPL, y la plataforma de NEOS Server CPLEX para correr el modelo propuesto.

Ante una emergencia por desastres naturales lo más importante es que se tenga un plan de emergencia para poder atender a los damnificados, es por ello que la función objetivo de este trabajo y el resultado que se obtuvo es que ese tiempo que transcurre desde el momento en que pasa el desastre y se llegue a los damnificados sea el menor posible, sin tener en cuenta el tiempo de alistamiento, ya sea que se tengan que reubicar o no, sin desconocer que existen otros puntos importantes como los costos que conlleva abrir albergues y centros de distribución.

Para el desarrollo de este trabajo fue indispensable identificar una zona caso de estudio, por tal motivo se hizo un recorrido por la literatura sobre los diferentes tipos de desastres naturales en Colombia, donde se identifica que las inundaciones son un desastre natural con un alto porcentaje de ocurrencia en el territorio nacional, y uno de los departamentos mayormente afectados es el Valle del Cauca, donde Tuluá se ha visto perjudicado, siendo este municipio objeto de estudio.

Para proponer estos modelos, se revisó la literatura y se tuvieron en cuenta aspectos relevantes relacionado con planes de respuesta ante un desastre natural, enfocado en las inundaciones, a diferencia de otros tipos de desastres este se convierte en un escenario de atención temporal sin dejar de requerir una atención inmediata por parte de personas especializadas e instituciones nacionales de socorro.

Las consecuencias que deja una inundación no siempre serán iguales, ya que se pueden presentar diferentes afectaciones en las víctimas, la geografía del lugar y la magnitud de las mismas cambia, es por ello que se identificó la necesidad de evaluar diferentes escenarios posibles a la hora de presentarse la emergencia por inundaciones y poder así tener un campo más amplio de respuesta para la atención de las personas

afectadas por dicho evento. En los escenarios se generaron variaciones en la cantidad de damnificados, las capacidades de los albergues temporales, el centro de distribución que se pretendía abrir y la cantidad de zonas seguras para establecer los mismos, a través del análisis de estos escenarios se logra identificar que el modelo es sensible a modificaciones en los parámetros y es coherente que genere variedad de soluciones.

Una oportunidad de mejora en los procesos de Logística Humanitaria en el país, es consolidar datos que se generen en los eventos y tenerlos disponibles, para que en el momento de desarrollar un proyecto de estos se tenga un respaldo. Debido a las pocas investigaciones que se han realizado en el país y en el departamento sobre desastres naturales y la logística necesaria, se complejiza tener datos e información de fuentes confiables.

Para futura investigación se propone trabajar en los mismos modelos de localización de albergues temporales y ruteo de personal especializado teniendo en cuenta los tiempos de viaje como estocásticos, adicionando el tiempo de alistamiento de los albergues temporales y personal especializado, el cual también sería estocástico. De igual forma, considerar la cantidad de damnificados como estocástica.

También se propone incluir dentro de los modelos los costos que conllevan la apertura y habilitación de un albergue temporal y un centro de distribución. Además, de considerar elementos o factores ambientales en la función de desempeño.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aakil M. Caunhye, Xiaofeng Nie and Shaligram Pokharel. (2012) <<Optimization models in emergency logistics: A literature review.>>
- Acosta, L. Almendras, D. (2011). <<Localización de albergues para hogares afectados por un desastre natural>>. Chile
- Agudelo. O. (2009). <<Inundaciones en Colombia: un desastre que no es natural. Universidad Nacional>>. Recuperado de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/inundaciones-en-colombia-un-desastre-que-no-es-natural.htm>
- Alcaldía Municipal de Tuluá (2017). << Cantidad de Estudiantes por Institución Educativa Oficial>>. Tuluá, Colombia. Recuperado de: <http://www.tulua.gov.co/cantidad-estudiantes-institucion-educativa-oficial/>
- Alva, R. A., Vargas, J. (2014). <<Plan de despacho para la distribución de ayuda humanitaria en caso de un terremoto de gran magnitud en lima metropolitana y callao>>. Recuperado el 25 de noviembre de 2016 de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/61866>
- Ardila, F. C. A. Pérez, G. L. P. (2015). <<Diseño de rutas de transporte terrestre para el personal operativo nocturno de la sociedad portuaria regional de barranquilla.>> Recuperado el 22 de marzo de 2017 de <http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/bitstream/handle/11323/497/PROYECTO%20DE%20GRADO%20CARLOS%20ARDILA-LEIDYS%20PEREZ%202015.pdf?sequence=1>
- Arroyo-López, P. E, Colón, R. E., Iniestra-Gaytán, J., (2012). <<Un modelo bi-criterio para la ubicación de albergues, como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones>>. Recuperado el 22 de noviembre de 2016 de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4398257.pdf>
- AFSHAR A., HAGHANI A. (2012). <<Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations>>. .
- Aragon.unam.mx. (Sin fecha). << ¿Qué hacer en caso de lluvias e inundaciones?>>. [online] Recuperado el 14 de Septiembre de 2017 de : http://www.aragon.unam.mx/directorio/proteccion_civil/pdf/emergencia/Precipitacion.pdf
- AXSATER, Sven. <<Inventory Contro>>. Segunda Edición. New York: Springer Science, 2006. 336 p.
- Ballou H., Ronald. (2004). <<Logística administración de la cadena de suministro>>. Pearson Educación. México.
- Banco Mundial Colombia (2012). <<Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas>>.

- Beasley, J. (1983). <<Route first – cluster second methods for vehicle routing>>. Omega 11 pp 403 – 408.
- Brzezicki A. (2011). <<Modelos Matemáticos en Gestión de Desastres y Logística Humanitaria>>. Instituto de Matemáticas Universidad de Sevilla. España. Recuperado el 17 de Marzo de 2017 de <https://www.imus.us.es/actividad/845>
- Bustos, A., Jimenez, E. (2014). << Modelos para un mejor ruteo vehicular>>. Recuperado de <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/69225-modelos-un-mejor-ruteo-vehicular>
- Cardona, O. D. (2005). <<Glosario>>. Gestión del Riesgo, Manizales, Colombia. Recuperado de: http://www.gestiondelriesgomanizales.com/index.php?option=com_content&view=article&id=104&Itemid=202
- Cardona, et., al (2004). <<Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos>>. ERN, consultores en Riesgos y Desastres. Colombia.
- Castro, J. (2016). <<Desastres naturales amenazan al departamento del Valle del Cauca como consecuencia del fenómeno de El Niño y La Niña, ocasionando que se generen pérdidas de vidas humanas, interrupción en las vías, entre otras>>. El campesino.co. Recuperado de <http://www.elcampesino.co/desastres-naturales-amenazan-al-departamento-del-valle-del-cauca>
- Clarke, G. and Wright, W. (1964). <<Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points>>. Operations Research, No. 12 pp. 568-581.
- Cornejo, C., Vargas, J., Aragon-Casa, L., Serpa-Oshiro, V. (2013). <<Localización de almacenes y distribución de ayuda humanitaria para atención de damnificados en caso de desastre natural>>. Recuperado el 30 de noviembre de 2016 de <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP191.pdf>
- CEPAL, <<Valoración de daños y pérdidas Ola invernal en Colombia 2010-2011, 2012.>>
- CEPAL, <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/33658/ColombiaCapII.pdf>
- COLOMBIA HUMANITARIA (2011) <<Colombia humanitaria en el Valle del Cauca>>. Colombia.
- CMGR, Consejo Municipal Gestión de Riesgos y Desastres de Tuluá (2017). Respuesta Solicitud de Información. Colombia.
- CMGR, Consejo Municipal Gestión de Riesgos y Desastres de Tuluá (2012). <<Estrategia a la respuesta de Emergencias municipio de Tuluá Valle del Cauca>>. Recuperado de: <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/433>
- CMGR, Consejo Municipal Gestión de Riesgos y Desastres de Tuluá, (2012). <<Plan Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres>>. Colombia.

- Contreras C. y Díaz M. (2010). <<Métodos Heurísticos para la solución de problema de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP)>>. Testis de Grado, Universidad Industrial Santander. Colombia.
- Costa, Y. Sarache, W. (2014) <<An alternative solution for the repair of electrical breakdowns after natural disasters based on ant colony optimization>>. Colombia
- Cozzolino, A. (2012) <<Humanitarian Logistics, SpringerBriefs in Business>>, DOI: 10.1007/978-3-642-30186-5_2.
- Cruz Roja Colombiana (2017). <<Donaciones en especie para Mocoa>>. Colombia. Recuperado de: <http://www.cruzrojacolombiana.org/noticias-y-prensa/donaciones-en-especie-para-mocoa>
- DANE; IGAC; IDEAM (2011) <<Reporte no. 5 de áreas afectadas por inundaciones 2010 -2011>>. Colombia.
- Datos Abiertos (2017). Instituciones Educativas del Municipio de Tuluá. Recuperado de: <https://www.datos.gov.co/Educacion/Instituciones-educativas-del-Municipio-de-Tulu-v87r-zuvc/data>
- Daza, J. M. Montoya, J.R. Narducci, F. (2009) <<resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases>>. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372009000200003
- Definición ABC. (2007). <<Definición de Damnificado>>. [online] Recuperado el 15 de Septiembre de 2017 de: <https://www.definicionabc.com/derecho/damnificado.php>
- Definista (2014). <<¿Qué es Inundación?>> - Su Definición, Concepto y Significado. [online]. Recuperado el 14 de Septiembre de 2018 de: <http://conceptodefinicion.de/inundacion/>
- DPN Departamento Nacional de Planeación (2016). <<21 departamentos y Bogotá podrían verse afectados ante la nueva temporada de lluvias>>. Colombia.
- DPN (2015) <<3.181 muertos y 12,3 millones de afectados: las cifras de desastres naturales entre 2006 y 2014>>. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Paginas/3-181-muertos,-21-594-emergencias-y-12,3-millones-de-afectados-las-cifras-de-los-desastres-naturales-entre-2006-y-2014-.aspx>
- DNP Departamento Nacional de Planeación. (2005). <<Guía Metodológica 1: Incorporación de la Prevención y la Reducción de Riesgos en los Procesos de Ordenamiento Territorial>>. Colombia.
- DPN Departamento Nacional de Planeación (2015). <<Cifras de desastres naturales entre 2006 y 2014>>. Colombia.
- Ejército Nacional. (2011). <<Ficha Técnica Kit Noche>>. Colombia. Recuperado de: <https://www.ejercito.mil.co/?idcategoria=297811>

- Estrada, J. (2015). <<Municipio de Tuluá División Política-Urbana>>. Departamento Administrativo de Planeación, Tuluá. Colombia.
- FINAGRO, Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. Recuperado de: <http://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/simbolos-departamento/index.html>
- Floodup.ub.edu. (2016). <<¿QUÉ SON LAS INUNDACIONES?>>. [online]. Recuperado el 20 de Octubre de 2017 de: <http://www.floodup.ub.edu/inundaciones/>
- Gaytan, J. Arroyo, P, ENRIQUEZ, Ruth (2010). <<Logística Humanitaria: Planeación y Control del producto>>. Accedido el 4 Marzo 2016. Recuperado de <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/17787-logistica-humanitaria-planeacion-y-control-del-producto>
- Gestionderiesgosysalud-fm.wikispaces.com. (Sin fecha). *gestionderiesgosysalud-FM - Administración de Desastres. Definiciones..* [online]. Recuperado el 13 de Septiembre de 2017: <http://gestionderiesgosysalud-fm.wikispaces.com/Administraci%C3%B3n+de+Desastres.+Definiciones>.
- Global Humanitarian Assistance, A Development Initiative; (2014). Recuperado el 22 de marzo de 2017 de <http://realidadayuda.org/glossary/ayuda-humanitaria>
- GLOVER F., KOCHENBERGER G. (Eds.). <<Handbook of metaheuristics>>. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003. 556 p.
- Gobernación del Cauca, Ministerio del Medio Ambiente articula en el Cauca frente al Fenómeno del niño. Recuperado de: <http://www.cauca.gov.co/noticias/ministro-del-medio-ambiente-articula-acciones-en-el-cauca-frente-al-fenomeno-de-el-nino>
- González, E. (2014). <<Un modelo de optimización bi-nivel para enviar, recibir y distribuir ayuda en especie después de haber ocurrido un desastre natural>>. Recuperado el 02 de Diciembre de 2016 de: <http://eprints.uanl.mx/4842/1/1080230785.pdf>
- Goyes. L. J, Salazar. A. F. (2016). <<Logística Humanitaria: Seguridad Agroalimentaria>>. Trabajo de grado. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia.
- Google Maps. (2017). Recuperado de: <https://www.google.es/maps/place/Tulu%C3%A1,+Valle+del+Cauca/@4.1093,-76.2206576,13z/data=!4m5!3m4!1s0x8e39c5c6c761990d:0x4b91b4e5ee425e42!8m2!3d4.089869!4d-76.1914991>
- Gueri. M. (2009). <<Desastres Naturales en Popayán>>. Recuperado de <http://desastres-desastresnaturales.blogspot.com.co/2009/06/desastres-naturales-en-popayan.html>
- Guerra de Castillo Z., Salgado E., Caballero E. (2012). <<Information Systems to Optimize the Network Collaboration during Disasters: Case of the Panama Humanitarian Logistics Hub>>. Orlando, Florida, USA.

- GUNASEKARAN A., NGAI E.W.T. (2003). *The successful management of a small logistics company. En International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol. 33 N° 9, pp. 825-842.
- Gutiérrez. F, Lesmes. M. (2013) <<Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud>>. Colombia.
- Hamedi, M., Haghani, A., & Yang, S. (2012). <<Reliable Transportation of Humanitarian Supplies in Disaster Response: Model and Heuristic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*>>, 54, 1205– 1219. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.835
- Horner, Downs, (2010). <<Optimizing Hurricane Disaster Relief Goods Distribution: Model Development and Application With Respect to Planning Strategies>>.
- Hernández, E. (2013). <<Logística humanitaria en Panamá>>. Accedido el 23 Febrero 2016. Recuperado de http://humanitarialogistica.blogspot.com.co/2013_06_01_archive.html
- Hernández, J. I., Sánchez, R., Neira-Tovar, L.A. (2016). <<Sistemas MultiAgentes: Un Panorama de aplicación de distribución de ayuda en especie para logística humanitaria en situaciones post-desastres naturales>>. Recuperado el 25 de noviembre de 2016 de [http://www.spentamexico.org/v11-n1/A13.11\(1\)156-167.pdf](http://www.spentamexico.org/v11-n1/A13.11(1)156-167.pdf)
- Holguin, J. T, E. Ferreira, F. Jaller, M. & Thompson, R. (2012). <<The Tohoku disasters: Preliminary findings concerning the post disaster humanitarian logistics response>>. Washington D.C., United State: Annual Meeting of the Transportation Research Board. Recuperado el 16 Marzo del 2017: de <http://docs.trb.org/prp/12-1162.PDF>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. (2017). <<Análisis de vulnerabilidad y riesgo por cambio climático en Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático>>. IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.
- IFRC. Mundial sobre Desastres (2010). doi:-ISBN: 978-92-9139-158-5
- Intermón, O. (2014). <<La Realidad de la Ayuda: Glosario>>. [online] Realidadayuda.org. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017 de: <http://realidadayuda.org/glossary/ayuda-humanitaria>
- Itc.nl. (Sin fecha). <<Teledetección para el manejo de Desastres Naturales>>. [online] Recuperado el 14 de Septiembre de 2017 de: <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Presentaciones%20Powerpoint/10%20Sensores%20Remotos%20para%20Manejo%20de%20Desastres/Sensores%20Remotos%20para%20Manejo%20de%20Desastres.pdf>
- James R. Stock, Douglas M. Lambert (2001). <<Strategic Logistics Management>>. McGraw-Hill, cap 2.
- Jaramillo, A., Betancourt, S. (2010). <<Plan de emergencias prevención, atención, recuperación y respuesta>>.

- Johnson, C. (2007). <<Impacts of Prefabricated Temporary Housing after Disasters: 1999 Earthquakes in Turkey>>.
- Kalenatic, D. (2001). <<Modelo integral y dinámico para el análisis, planeación, programación y control de las capacidades productivas en empresas manufactureras>>. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, Instituto de Investigaciones Científicas.
- Kovács, G., & Spens, K. (2007). <<Humanitarian Logistics in Disaster Relief Operations>>. Helsinki, Finland. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 37(2), 99-114.
- Kovács, G., & Spens, K. (2009). <<Identifying challenges in humanitarian logistics. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management>>, 39(6), 506 – 528.
- Lavell, A. (2004). <<Sobre la Gestión del Riesgo: Apuntes hacia una Definición>>. [ebook] p.21. Recuperado el 14 de Septiembre de 2017 de: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2004/pdf/spa/doc15036/doc15036-contenido.pdf>
- Lavell, A., Mansilla, E., Smith, D., Brenes, A., Romano, L., Somarriba, H., Gamarra, L. & Armien, F. (2003). <<La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)>>. [ebook] Guatemala, p.69. Recuperado el 14 de Septiembre de 2017 de: <http://www.disaster-info.net/lideres/portugues/brasil%2006/Material%20previo/Allangestriesg.pdf>
- Liberatore, F., Ortuño, M.T., Tirado, G., Vitoriano, B., Scaparra, M.P. (2014). << A Hierarchical Compromise Model for the Joint Optimization of Recovery Operations and Distribution of Emergency Goods in Humanitarian Logistics>>. Recuperado el 01 de diciembre de 2016 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054812000809>
- Martínez Vela, M. & Vargas Garzón, J. (2007). <<Formulación del Plan Integral para la Prevención y Atención De Emergencias en el Área Administrativa y Sector Penal del Establecimiento Penitenciario y Carcelario E.P.C Bogotá “La Picota”>>. [ebook] Bogotá D.C., p.14. Recuperado el 14 de Septiembre de 2017 de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14917/41012084.pdf;jsessionid=B8E2A0B482E3AAB90103EC1BCDD120DB?sequence=1>
- Mejía, C. (2012). <<Modelo de Optimización y Heurístico multicriterio para operaciones conjuntas de Logística Humanitaria: Caso de estudio en México>>. Recuperado el 29 de noviembre de 2016 de <http://www.seprologistica.unal.edu.co/archivos/Seminario/4-ChristopherMejia.pdf>
- Mejía, L. Chicué, D. (2014). <<Análisis de vulnerabilidad territorial por inundación en el municipio de Chía, Cundinamarca>>. Colombia.
- Monterroso, E. (2000). <<El proceso logístico y la gestión de la cadena de abastecimiento>>.

- Mora, E. Mora, J. Serrato, M. (2016). <<A Qualitative Analysis of Inventory Management Strategies in Humanitarian Logistics Operations>>. México.
- Moreno, C. (2014). <<Cómo crear cadenas de suministro ambientalmente sostenibles: aportes para la agenda de investigación en SCM>>. Bogotá, Colombia.
- Moreno, K. V. (2012). <<Análisis de la relación entre estrategias de gestión logística humanitaria y el tiempo de respuesta en la atención de desastres, por medio de la metodología integral y dinámica>>. Recuperado el 20 de noviembre de 2016 de [http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/7466/KAROL%20VIVIANA%20MORENO%20\(T\)%20FINAL.pdf?sequence=3](http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/7466/KAROL%20VIVIANA%20MORENO%20(T)%20FINAL.pdf?sequence=3)
- Moreno, O. (2012). <<AMENAZAS, VULNERABILIDAD, RIESGOS Y DESASTRE>>. [ebook] CARTAGO, VALLE: Oscar Eduardo Moreno. Recuperado el 22 de Octubre de 2017 de: <http://es.calameo.com/read/0008439426e9d12f4ba97>
- nestorfuenmayor. (2008). *Diferencias y semejanzas entre desastre y emergencia | nestorfuenmayor*. [online]. Recuperado el 07 de Enero de 2018 de: <https://nestorfuenmayor.blogia.com/2008/012601-diferencias-y-semejanzas-entre-desastre-y-emergencia.php>
- OPS Organización Panamericana de la Salud, (2001). <<Logística y gestión de suministros humanitarios en el sector salud>>. Cap 11, pg 131.
- OCHA Colombia, (2009). <<INFORME – Desastres y emergencias de origen natural Trimestre Octubre - Diciembre 2009>>. Colombia.
- Osorio, C. (2014). <<Evolución de la investigación en logística humanitaria>>. Colombia.
- Overstreet, R. Hall, D. Hanna, J. & Rainer, R. (2013). <<Research in humanitarian logistics>>. USA.
- Özdamar, L. Ekinci, E. Küçükyazici, B. (2004). <<Emergency Logistics Planning in Natural Disasters>>. Singapore.
- Porto, J., Merino, M. (2008). << Definición de grafos>>. Recuperado de <https://definicion.de/grafos/>
- Perdomo, A. et al. <<Plan municipal de gestión del riesgo de desastres>>. Zarzal. Colombia.
- Ralphs, T.K., L. Kopman, W.R. Pullesyblank, and L.E. Trotter. (2001). On the Capacitated Vehicle Routing Problem.
- Ramírez, D. (2010). <<Modelo de entregas directas para la reducción de costos logísticos de distribución en empresas de consumo masivo. Aplicación en una empresa piloto de Caldas>>. Manizales. Colombia.
- Redacción El País. (2015). <<151 víctimas en el Valle por desastres naturales en los últimos ocho años>>. Recuperado de <http://www.elpais.com.co/elpais/valle/noticias/151-victimas-valle-por-desastres-naturales-ultimo-ocho-anos>
- Regis, F. (2016). <<Relief distribution for sudden-onset disasters under a multi-criteria reliable framework>>. México.

- Rego, Juan A. (2011). <<Administración de la cadena de abastecimiento>>. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10908/262>
- Reyes, L. Quintero, C. Torres, A. (2014). <<Modelo Matemático para la Programación de Personal Especializado en Logística Humanitaria Post-Desastre>>. Ecuador.
- Reyes, L. (2015). <<Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en Logística Humanitaria post-desastre - caso inundaciones>>. Tesis de maestría. Universidad de la Sabana. Colombia.
- Rocha L., et al. (2011). “Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución”. Ingeniería, Vol. 16. (pag. 2)
- SCHR/VOICE/ICVA. (2004). <<El Proyecto Esfera Humanitaria y Normas mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastre>> (pp. 2–408). Ginebra, Suiza. Recuperado de: <http://www.sphereproject.org>
- Secretaría de Planeación Departamental Valle del Cauca (2011). <<La gestión del riesgo en el ordenamiento territorial municipal del Valle del Cauca>>. Cali, Colombia, p.22. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017 de : www.valledelcauca.gov.co/planeacion/descargar.php?id=7631
- Silva. J. (2015). <<Tres de cada diez colombianos están expuestos a desastres>>. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15812223>
- Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana, Dirección General de Socorro Nacional, Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales. (2008). Recuperado el 21 de marzo de 2017 de [http://web.cruzrojacolombiana.org/publicaciones/pdf/manual_final_albergues temporales_1912011_035711.pdf](http://web.cruzrojacolombiana.org/publicaciones/pdf/manual_final_albergues_temporales_1912011_035711.pdf)
- Thomas, A., & Kopczak, L.R. (2005). <<From Logistics to Supply Chain Management: The path forward in the Humanitarian sector>>. Fritz Institute.
- Trabajoentura.co. (Sin fecha). [online]. Recuperado el 15 de septiembre de 2017 de: <http://www.trabajoentura.co/app/webroot/listas/3.8%20Unidad%20Tematica%20Administraci%C3%B3n%20de%20emergencias.pdf>
- Van Wassenhove, L. N. (2006). <<Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear>. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489.
- Vázquez. J. <<Logística inversa>>.
- Vidales, L. (2003). <<Glosario de términos Financieros>>. Pg 183.
- Viera, O. Moscatelli, S. Tansini, L. (2012). <<Logística humanitaria y su aplicación en Uruguay>>. Universidad de la República Oriental del Uruguay. Uruguay.

13. ANEXOS

13.1. Tiempos en minutos:

- Tiempo de viaje entre Centro de Distribución (CD) y Albergues temporales (CA)

	ZONAS SEGURAS	Coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas	Colegio Salesiano
ZONAS EN RIESGO	Capacidad CA	1000	700
	IDENT.	CD1	CD2
bocas de tulua	CV1	30	29
Tres Esquinas	CV2	20	19
tomas uribe	CV3	7	7
la trinidad	CV4	8	8
siete de agosto	CV5	9	10
san antonio	CV6	6	10
la inmaculada	CV7	8	10
villa nueva	CV8	8	9
casa huertas	CV9	13	12
portales del rio	CV10	7	12
urbanizacion la villa	CV11	5	15
el bosque	CV12	5	10
santa rita	CV13	4	11

Fuente: Autores

- Tiempo de viaje entre Puntos grupo de personal especializado (PE) y Albergues temporales (CA)

		IDENT.	CA			
			CA5	C11	CA9	CA1
PE	Bomberos Voluntarios	1	8	17	4	9
	Defensa Civil Junta Centro del Valle	2	12	20	2	8
	Defensa Civil Junta Tulua	3	8	11	9	10
	Cruz Roja	4	7	16	4	7

Fuente: Autores

- Tiempo de viaje entre Zonas de Riesgo (CV) y Albergues temporales (CA).

	ZONAS SEGURAS	Coliseo de Ferias Manuel Victoria Rojas	Colegio Salesiano	Coliseo Deportivo Benicio Echeverry	Estadio Doce de Octubre	Institución Educativa Aguasclara	Institución Educativa Técnica Occidente Tulú	Puesto de Salud	Rubén Cruz Vález	Institución Educativa Julia Restrepo	Colegio Gimnasio del Pacífico	Institución Educativa Julio Cesar Zuluaga Tres esquinas	Institución Educativa Julio Cesar Zuluaga en el corregimiento de Bocas de Tulú
ZONAS EN RIESGO	Capacidad CA	1000	700	1000	1000	2000	3000	50	70	3000	2000	400	400
	IDENT.	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA7	CA8	CA9	CA10	CA11	CA12
bocas de tulua	CV1	30	29	30	29	25	17	21	21	28	31	10	4
Tres Esquinas	CV2	20	19	23	18	16	6	10	11	19	21	1	10
tomas uibe	CV3	7	7	10	8	7	9	6	5	5	8	15	25
la trinidad	CV4	8	8	10	9	5	9	6	4	5	8	14	25
siete de agosto	CV5	9	10	12	10	3	8	4	6	7	11	13	24
san antonio	CV6	6	10	14	11	5	9	9	9	6	8	17	27
la inmaculada	CV7	8	10	15	14	4	12	8	9	8	10	18	27
villa nueva	CV8	8	9	11	9	7	11	9	6	5	7	16	27
casa huertas	CV9	13	12	14	12	3	9	6	7	9	12	15	26
portales del río	CV10	7	12	14	12	2	9	5	8	10	13	14	26
urbanización la villa	CV11	5	15	14	12	8	14	12	9	5	8	19	30
el bosque	CV12	5	10	14	12	6	13	11	10	6	9	17	28
santa rita	CV13	4	11	13	14	4	11	8	10	8	12	16	28

Fuente: Autores

13.2. Archivos Texto:

- [Formulación modelo – datos – comando Localización](#)
- [Formulación modelo – datos – comando Ruteo](#)

13.3. [Resultados Escenarios](#)

13.4. Archivos Resultados Modelos Localización y ruteo con sus diferentes escenarios generados por NEOS server.

LOCALIZACIÓN.

[Modelo Base](#)

[Escenario 1.](#)

[Escenario 2.](#)

[Escenario 3.](#)

RUTEO.

[Modelo base.](#)

[Escenario 1.](#)

[Escenario 2.](#)

[Escenario 3.](#)

13.5. [Cartilla Gestión del riesgo en el ordenamiento territorial municipal del Valle del Cauca.](#)

13.6. [Plan Municipal de gestión del riesgo de Tuluá Valle del Cauca \(PMGR\).](#)

13.7. [Estrategia a la respuesta de emergencias del municipio de Tuluá Valle del Cauca \(ESTR\).](#)