

**PROPUESTA DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES
TEMPORALES PARA LA ATENCIÓN DE DAMNIFICADOS EN LA FASE DE
RESPUESTA POST DESASTRE: CASO INUNDACIÓN ROLDANILLO VALLE.**

LAURA ALEJANDRA MAHECHA PELAEZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL - VALLE**

2019

**PROPUESTA DE UN MODELO DE LOCALIZACIÓN DE ALBERGUES
TEMPORALES PARA LA ATENCIÓN DE DAMNIFICADOS EN LA FASE DE
RESPUESTA POST DESASTRE: CASO INUNDACIÓN ROLDANILLO VALLE.**

LAURA ALEJANDRA MAHECHA PELÁEZ

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA
INDUSTRIAL.**

**DIRECTOR:
MSC. CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL - VALLE**

2019

Dedicatoria

A mi madre, por su esfuerzo, ejemplo y amor incondicional.

A mi padre, mi ángel protector y fuente de inspiración.

A mi hermano, por creer en mí.

A mis amigos, por el acompañamiento y contribuir en mi formación académica y personal.

Agradecimientos

A mi director de proyecto, por su paciencia, entusiasmo, comprensión y dedicación
Al cuerpo de bomberos voluntarios del Municipio de Roldanillo por su ayuda, aportes y enseñanzas.
Al plantel de docentes, por transmitir sus conocimientos con pasión y amor en las aulas.
Al coordinador del programa académico, por su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE ANEXOS	9
GLOSARIO	10
ACRÓNIMOS.....	11
INTRODUCCIÓN	12
1.1 Enfoque del problema.....	12
1.2 Objetivos.....	13
1.3 Justificación	14
1.4 Metodología	15
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS EN RIESGO DE INUNDACIÓN E INSTALACIONES CANDIDATAS	16
2.1 Contextualización del municipio de Roldanillo	16
2.2 Identificación de zonas en riesgo de inundación	16
2.3 Identificación de las instalaciones candidatas para ser habilitadas como albergues.....	19
DEFINICIÓN DE CRITERIOS O FACTORES RELEVANTES PARA DETERMINAR Y EVALUAR LAS INSTALACIONES.....	21
3.1 Criterios de selección de albergues temporales	21
3.2 Evaluación de instalaciones propuestas	27
FORMULACIÓN DEL MODELO	30
4.1 Aplicación al caso de estudio.....	32
4.2 Recolección de información.....	32
4.3 Resultado.....	34
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO.....	35
5.1 Variación al parámetro de tiempos de viaje	35
5.2 Variación al parámetro de distancia lineal	36
5.3 Variación al parámetro de cantidad de afectados.....	37
5.4 Variación al parámetro de capacidad de los Albergues	38
5.5 Variación del parámetro de tiempo de adecuación de las instalaciones...	38
CONCLUSIONES	40

BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del perímetro urbano de Roldanillo con puentes y zonas de riesgo de inundación Fuente: adaptado de secretaria de planeación municipal de Roldanillo	18
Figura 2. Mapa del municipio de Roldanillo con ubicación de las instalaciones Fuente: Creación del autor por medio de Google maps.	20
Figura 3. Criterios de ubicación para albergues temporales. Fuente: adaptado de Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana, Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales, 2008	23
Figura 4. Peso ponderado para el conjunto de los criterios. Fuente: Obtenido de Total Decision.	28
Figura 5. Resultado de evaluación de las instalaciones para habilitar como albergues Fuente: obtenido de Total Decision.	29
Figura 6. Representación de la solución del estado de los albergues Fuente: creación del autor	33
Figura 7. Representación de la solución de la asignación de las zonas afectadas a los albergues Fuente: creación del autor	34
Figura 8. Variación de la función de desempeño respecto al aumento de tiempo de viaje Fuente: creación del autor	36
Figura 9. Variación de la función de desempeño respecto al incremento parámetro de distancia. Fuente: creación del autor	37
Figura 10. Impacto en la función de desempeño respecto al incremento de población afectada Fuente: creación del autor	37
Figura 11. Impacto en la función de desempeño respecto al incremento de la capacidad de las instalaciones. Fuente: creación del autor	38
Figura 12. Impacto en la función de desempeño respecto a la variabilidad del tiempo de adecuación de albergues. Fuente: creación del autor	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodología de investigación propuesta	15
Tabla 2. Zonas en riesgo de inundación	17
Tabla 3. Instalaciones propuestas para albergue	19
Tabla 4. criterios y factores relevantes en la selección y ubicación de albergues temporales.	23
Tabla 5. Selección de criterios relevantes	26
Tabla 6. Resultados del modelo aplicado al caso de estudio	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ocurrencia de desastres: 2017 en comparación con 2007-2016 adaptado de: (CRED, 2018).	48
Anexo B. Calificación del experto 1 a los Criterios seleccionados obtenida de Total Decision.	48
Anexo C. Calificación del experto 2 a los criterios seleccionados obtenida de Total Decision	49
Anexo D. Calificación del experto 3 a los criterios seleccionados Fuente: obtenida de Total Decision.	49
Anexo E. Calificación de cada instalación respecto a cada criterio. Fuente : Obtenida de Total Decision	49
Anexo F. Cantidad de personas afectadas Fuente: creación del autor.....	50
Anexo G. Capacidad y ponderación de las instalaciones candidatas Fuente: creación del autor	50
Anexo H. Código del modelo matemático obtenido: captura de pantalla de CPLEX Studio IDE 12.8.0	51
Anexo I. Lista de instalaciones candidatas y zonas afectadas con sus respectivos números. Fuente: creación del autor	52
Anexo J. Resultados del modelo matemático. Fuente: creación del autor.....	53
Anexo K. Mapa de Roldanillo con ubicación de las zonas afectadas, albergues habilitados e instalaciones propuestas fuente: Creación del autor.	54

GLOSARIO

Termino	Significado
Inundación	Fenómeno altamente destructivo que hace parte de la evolución dinámica de una corriente, cubriendo zonas secas por invasión del agua.
Inundación súbita	Alto Incremento de las aguas de un rio de manera inesperada.
Amenaza	fenómeno o condición peligrosa que puede generar la muerte, lesiones o daños a la propiedad.
Riesgo	Probabilidad de que se produzcan muertes, lesiones o daños en bienes de un sistema.
Albergue	Instalaciones habilitadas para proporcionar protección, alimentación, abrigo y seguridad a víctimas de emergencias o desastres.
Respuesta	Reacción ante un incidente, medidas adoptadas para evitar sufrimiento de la población.
Post desastre	Proceso de operaciones orientadas a reinsertar la población, en su dinámica social después de un desastre.

Vulnerabilidad Factores que aumenta la susceptibilidad del sistema
ante los efectos de las amenazas

ACRÓNIMOS

ONU	Organización de las Naciones Unidas
-----	-------------------------------------

CRED	Center for Research on the Epidemiology of disasters
------	--

UNISDR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
--------	--

UNGRD	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
-------	---

IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
-------	--

IFRC	Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja
------	--

CLOPAD	Comité Local de Prevención y Atención de Desastres
--------	--

CMGR	Comité Municipal Para la Gestión del Riesgo
------	---

UNHCR	United Nations High Commissioner for Refugees
-------	---

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El aumento de desastres naturales está relacionado directamente con las prácticas humanas que incrementan la concentración de gases, ocasionando alteraciones en el clima mundial (ONU, 2008). En la actualidad ocurren cuatro veces más desastres naturales que en la década de 1960, siendo las inundaciones la amenaza que más ha afectado a personas en el siglo XXI (Banco mundial, 2017). En este sentido, es importante mencionar que las inundaciones se clasifican en dos tipos: inundaciones repentinas e inundaciones progresivas, ambas con características que varían según la zona de ocurrencia, es decir, el efecto que tienen en una zona rural no es el mismo que en una zona urbana (Rubiano, 2015).

Por otro lado, en el año 2017 se registraron 335 desastres naturales en el mundo, 126 fueron causados por inundaciones (*ver Anexo A*) (CRED, 2018). Respecto a Colombia, se le atribuyen altos valores en la dimensión del riesgo y exposición a amenazas naturales, en especial, amenazas por inundación; considerando que el 88% de los desastres que ocurren en Colombia son de origen hidrometeorológico (INFORM, 2018). Además, con el aumento de desastres naturales surge la logística humanitaria, teniendo como finalidad gestionar respuestas operacionales a la población damnificada (Rennemo & Hvattum, 2014).

1.1 Enfoque del problema

En Colombia murieron 2022 personas y 1.276.935 casas fueron destruidas por inundaciones en el año 2018 (UNISDR, 2019). Es por esto que es importante resaltar al municipio de Roldanillo, ubicado al norte del Valle del Cauca, debido a que es considerado como un municipio con alto riesgo de inundación, puesto que su perímetro urbano es surcado por tres fuentes hídricas, las cuales frecuentemente presentan crecientes súbitas que afectan aproximadamente 1228 personas (Consejo municipal de Roldanillo, 2016). Entre los años 1999 y 2013 las inundaciones dejaron 7653 personas afectadas, 1328 viviendas parcialmente destruidas y 54 totalmente destruidas (UNGRD, 2013), en cuanto a los últimos

cuatro años, en la zona urbana se han presentado 25 inundaciones súbitas, dejando 29 casas parcialmente averiadas (Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Roldanillo, 2019). Pese a la constatación de amenaza de inundación, en Roldanillo sobresale la ambigüedad de los organismos de socorro y la administración pública, las cuales hacen uso de métodos rudimentarios para dar respuestas a las necesidades básicas de la población, lo que evidencia fallas en la planeación estratégica, la falta de herramientas como soporte; sin contar el desinterés frente a la actualización de los planes de emergencia y de gestión del riesgo, los cuales son considerados en Colombia por la ley 1523 del año 2012, como un requerimiento indispensable en los que se constituye la gestión del riesgo para el desarrollo y coordinación de actividades, que mitiguen el impacto negativo que tienen los desastres en la población (IDEAM, 2012).

De acuerdo a la situación descrita anteriormente, los organismos de socorro necesitan establecer herramientas de apoyo para la toma de decisiones, por lo cual, en este trabajo de grado se define la siguiente pregunta de investigación enmarcada en la etapa post desastre considerando únicamente dentro del escenario de amenazas, las inundaciones súbitas en el perímetro urbano del municipio de Roldanillo:

¿Cómo facilitar la toma de decisiones respecto al problema de localización de albergues temporales en la fase de respuesta post desastre que contribuya a minimizar el tiempo de respuesta para la atención de damnificados?

Esta pregunta está planteada desde una posición operacional, estratégica para la localización de albergues, con el objetivo de minimizar el tiempo de respuesta de los organismos de ayuda humanitaria.

1.2 Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una red de instalaciones para habilitar como albergues que permita a los organismos de control gestionar de manera estratégica la atención para la etapa post desastre en caso de inundaciones súbitas, minimizando el tiempo de respuesta.

Objetivos específicos

- Identificar las zonas de alto riesgo de inundación y las instalaciones candidatas para la ubicación de albergues en el municipio de Roldanillo.
- Definir criterios o factores relevantes para determinar y evaluar las instalaciones candidatas para la ubicación de albergues en el municipio de Roldanillo.
- Formular un modelo matemático para la ubicación de albergues temporales y asignación de atención a la población damnificada.
- Realizar un análisis de sensibilidad del modelo frente a la variación de parámetros de interés y observar el impacto que tienen en la función de desempeño.

1.3 Justificación

Cada año incrementa exponencialmente los eventos desastrosos de origen natural en Colombia, por tal motivo, es preciso la implementación y planificación de estrategias que permitan la reducción del riesgo. Actualmente pocas regiones cuentan con modelos operacionales de respuesta (IFRC, 2010), y el municipio de Roldanillo no es la excepción, contribuyendo a que las operaciones post desastre se realicen de manera descoordinada.

En el momento que ocurre un desastre, la población afectada queda vulnerable a cualquier otro tipo de amenaza y es pertinente que los organismos de control tengan conocimientos sobre las herramientas que provee la logística humanitaria para la determinación de la ubicación de albergues, ya que más allá de la importancia que tienen los albergues en la supervivencia de los afectados, son el medio para proveer seguridad y protección; sin mencionar el papel que cumple manteniendo la dignidad humana (Shelter Cluster, 2015).

A partir de dicha necesidad, en este trabajo se plantean estrategias, con el propósito de desarrollar herramientas logísticas que contribuyan como soporte para la toma de decisiones sobre la localización de albergues temporales en la fase de respuesta post desastre, con el objetivo de reducir los tiempos de respuesta para la atención

de damnificados en caso de inundación repentina en el perímetro urbano del municipio de Roldanillo.

1.4 Metodología

Tabla 1. Metodología de investigación propuesta

Metodología propuesta		Métodos y herramientas
Objetivos	Pasos	
Identificar las zonas de alto riesgo de inundación y las instalaciones candidatas para la ubicación de albergues en el municipio de Roldanillo.	Identificación de zonas afectadas.	Revisión de los planes municipales de Roldanillo
	Identificación de las instalaciones.	
Definir criterios o factores relevantes para determinar y evaluar las instalaciones candidatas para la ubicación de albergues en el municipio de Roldanillo.	Identificación de los criterios o factores.	Revisión de la literatura
	Determinación de Criterios.	
	Asignación de peso para cada criterio según su importancia relativa.	Método AHP
	Determinación de escala para calificar las alternativas.	Método Scoring
	Obtención de la calificación para las instalaciones respecto a cada criterio.	Método de expertos
	Obtención de los resultados.	Método de factores ponderados Total Decision
Formular un modelo matemático para la ubicación de albergues temporales y asignación de atención a la población damnificada.	Identificación del modelo a proponer.	Revisión de la literatura
	Proponer el modelo a aplicar.	
	Programar el modelo.	CPLEX optimizer
Realizar un análisis de sensibilidad del modelo frente a la variación de parámetros de interés y el impacto en la función de desempeño.	Cambio de parámetros de interés.	CPLEX optimizer
	Análisis de los resultados.	Excel

Fuente: creación del autor

Para finalizar, las inundaciones son el desastre que se presenta con mayor frecuencia, afectando a la población en múltiples formas (Organización Panamericana de la Salud, 2006). Teniendo en cuenta que la toma de decisiones en este tipo de situaciones es complicada, es por ello que se deben tener estrategias preestablecidas para que la intervención administrativa municipal y de los organismos de socorro para brindar respuestas oportunas a los damnificados.

CAPITULO 2

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS EN RIESGO DE INUNDACIÓN E INSTALACIONES CANDIDATAS

Para dar respuesta al primer objetivo de la investigación se realiza la revisión de los planes estratégicos locales como: plan básico de ordenamiento territorial, el acuerdo del plan de desarrollo municipal, el plan municipal de desarrollo, el plan municipal para la gestión de riesgo, documentos consignados por los organismos de socorro y el CLOPAD. El presente capítulo identifica las zonas en riesgo de inundación súbita en el perímetro urbano del municipio de Roldanillo y las instalaciones con las que cuenta el municipio, aclarando que la actualización del plan básico de ordenamiento territorial, el plan de desarrollo, el plan municipal para la gestión de riesgo se encuentra en proceso de actualización.

2.1 Contextualización del municipio de Roldanillo

El municipio de Roldanillo se localiza en el noroccidente del Valle del Cauca, es caracterizado por tener una morfología en su zona plana típica de una llanura de inundación, sin contar, que lo que hoy es el casco urbano, hacía parte del área de amortiguación del río, donde se acumulaba gran parte del agua en la temporada de lluvia, por lo que las inundaciones se convierten en la amenaza más latente en el municipio, teniendo en cuenta que el relieve que se presenta entre el río Cauca y piedemonte tiene forma de batea (Alcaldía Municipal de Roldanillo , 2009).

En el municipio la cantidad de lluvia es variada, presentando precipitaciones fuertes que ocasionan desbordamiento de quebradas e inundaciones súbitas en la zona urbana, con frecuencia es tan alta la intensidad de los aguaceros que como consecuencia ocurren fenómenos de arrastre y remoción de la capa superficial del suelo. (Alcaldía Municipal de Roldanillo , 2009)

2.2 Identificación de zonas en riesgo de inundación

Las inundaciones en el municipio de Roldanillo se presentan cuando los aguaceros intensos o de larga duración sobrepasan la capacidad de retención de humedad del suelo. Entre las áreas que presentan peligro de inundación influyen los ríos

Roldanillo, Cáceres, la quebrada el Rey, el zanjón Ipira (CMGR Roldanillo, 2012). Las zonas urbanas que permanecen en constante amenaza de inundación por desbordamiento del río Roldanillo, en su mayoría por asentamiento en zonas de influencia del río, son las calles 2, 4, 5, 6,7 ,8, 9,10, el puente de la carrera 10, al igual que la calle 1ra con carrera 12 y 10, por formación de palizadas y colmatación del río; por el caño Ipira es afectada la zona de la universidad Antonio Nariño, el río Rey a nivel del puente panorama por inundaciones lentas hacia la margen izquierda sobre el río Cauca y por desbordamiento del zanjón de los mudos entre las calles 5 y 6 con carrera 2 y 4. (CLOPAD del Municipio de Roldanillo, 2008). Desbordamientos que afectan los siguientes barrios y urbanizaciones del municipio como:

Tabla 2. Zonas en riesgo de inundación

Zonas en riesgo de inundación		
Humberto González n.	José maría Barbosa	Villa rosita
Los llanitos	Carlos Holguín Sardi	Unión de vivienda popular
Obrero	Torrijos	San Sebastián
José Joaquín Jaramillo	Tres de mayo	La asunción
Simón Bolívar	El portal	Las colinas
San José obrero	Rey medio	Rey alto
La ermita	Rey bajo	Doña Emma
La nueva ermita	Arrayanes	La ceiba
Guerrero	Ipira	El prado

Nota. informe viviendas en riesgo (Sisbén , 2012).

Estas zonas son catalogadas como las más vulnerables durante las épocas de lluvias intensas, porque están ubicadas en rondas de las fuentes hidrográficas del municipio. (Secretaría de gobierno de Roldanillo, 2011). En la Figura 1 se logra observar el mapa del perímetro urbano del municipio de Roldanillo, ubicando los puentes y zonas vulnerables a las frecuentes colmataciones de los ríos e inundación

por crecientes súbitas, también es posible divisar los tres ríos que surcan el municipio.

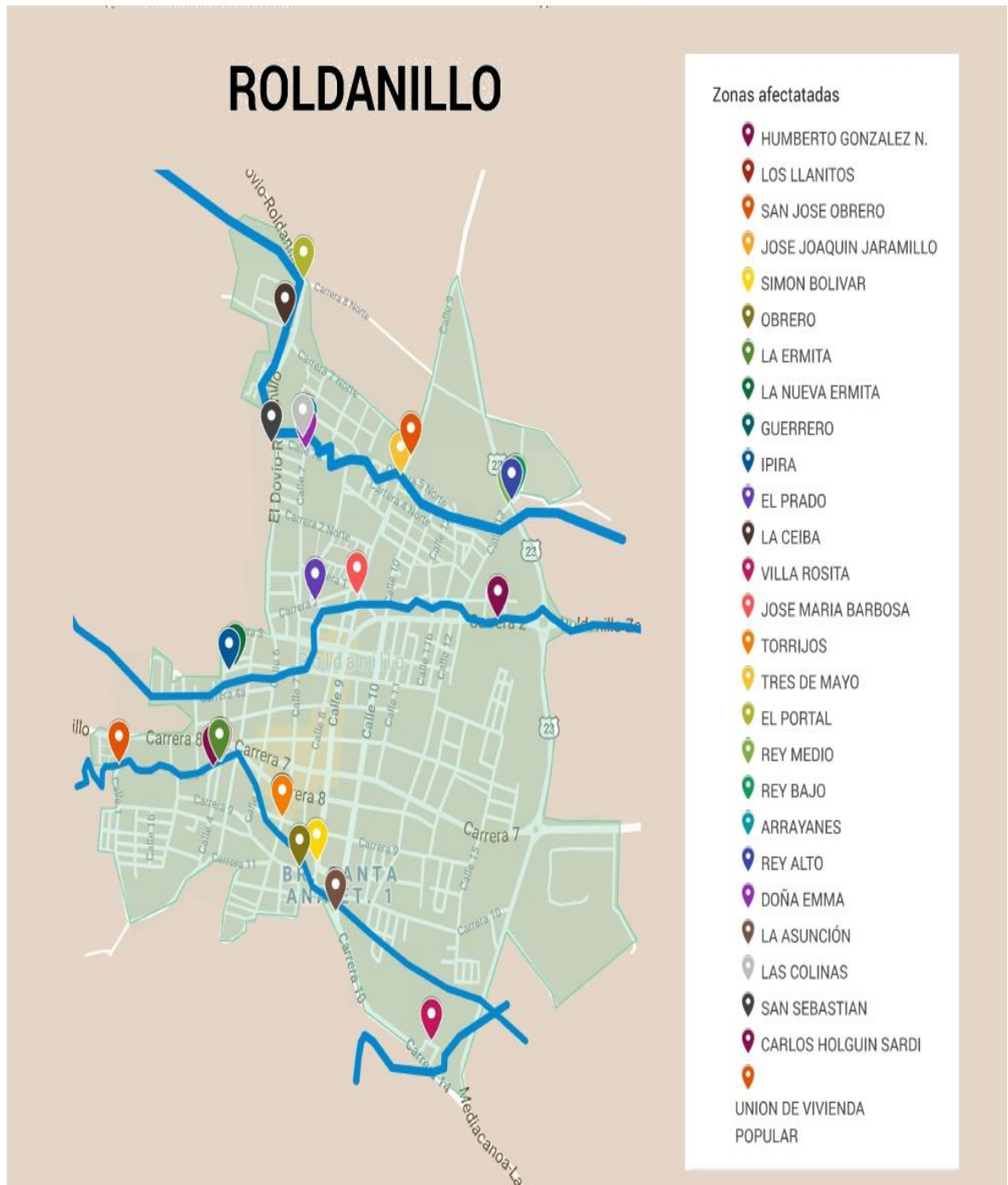


Figura 1. Mapa del perímetro urbano de Roldanillo con puentes y zonas de riesgo de inundación Fuente: adaptado de secretaria de planeación municipal de Roldanillo

2.3 Identificación de las instalaciones candidatas para ser habilitadas como albergues

Las instalaciones que se proponen frecuentemente para ser habilitadas como albergues temporales, por lo regular son propiedades que pertenecen al Estado, es por esto que las instalaciones de propiedad privada como fábricas y almacenes no son consideradas; sin embargo, los tipos de instalaciones consideradas en situaciones de calamidad son: Hospitales, escenarios deportivos, instituciones educativas, centros comunales (Organización Internacional para las Migraciones, 2012). Las instituciones educativas son la última opción para ser usada como albergue temporal, ya que limita la continuidad del proceso educativo de la población en general, pero cuando su uso es inevitable se debe gestionar con la administración municipal, para minimizar el impacto negativo en la población estudiantil (Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana, 2008). Debido a las pocas instalaciones que posee el municipio de Roldanillo, se consideraron las instituciones educativas como candidatas, teniendo en cuenta que debe de ser por última opción y de manera transitoria, también se consideraron escenarios deportivos, en cuanto a los salones comunales, Roldanillo solo cuenta con tres instalaciones en su perímetro urbano, los cuales fueron adecuados para instalar puestos de salud, no se incluyó como opción el hospital debido a su alto riesgo de inundación (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2015). Las instalaciones propuestas son:

Tabla 3. Instalaciones propuestas para albergue

Instalaciones candidatas		
Belisario Peña Piñeiro	John F. Kennedy	Normal Superior Jorge Isaac
Alfonso López Pumarejo	Tomas Ignacio Esquivel	Coliseo cubierto Iván Muñoz Villa
San Sebastián	Carlos Villafañe	Centro de integración ciudadano
Eustaquio Palacio	Nuestra Señora del Chiquinquirá	
Libardo Madrid V.	Divino niño	

Nota. Adaptada de informe de estadísticas de matrículas secretaria de educación Roldanillo

Entre las estructuras propuestas se encuentran escuelas de básica primaria y bachillerato. Los planteles educativos privados no son considerados como opción en el presente trabajo. En la Figura 2 se presenta el mapa del municipio donde es posible observar la ubicación de las instituciones educativas.



Figura 2. Mapa del municipio de Roldanillo con ubicación de las instalaciones Fuente: Creación del autor por medio de Google maps.

Para resumir, en el municipio de Roldanillo se identificaron 27 zonas urbanas vulnerables a inundaciones súbitas, entre barrios y urbanizaciones, en cuanto a instalaciones, se determinó 13 potenciales para habilitar como albergue, aunque la documentación revisada se encuentra un poco desactualizada, fue posible identificar la información requerida para el cumplimiento del presente objetivo.

CAPITULO 3

DEFINICIÓN DE CRITERIOS O FACTORES RELEVANTES PARA DETERMINAR Y EVALUAR LAS INSTALACIONES

Para el desarrollo del presente capítulo se realiza una breve revisión de la literatura para definir los criterios más importantes en la selección de instalaciones y se ejecuta la evaluación de las instalaciones propuestas con los criterios ya determinados, por medio del método de factores ponderados, para realizar un análisis comparativo entre las diferentes opciones, definiendo por medio de esta evaluación las alternativas que tienen mayor relevancia entre las otras.

3.1 Criterios de selección de albergues temporales

Las decisiones que se toman para la localización de albergues, deben ser estimadas con precisión, debido a que todas las necesidades esenciales de la población afectada deben ser satisfechas, es por esto que la decisión de abrir o no un albergue debe ser valorada por personal capacitado. (El Proyecto Esfera , 2011). Los criterios para la selección de instalaciones, son usados como evaluadores, con el fin de identificar las estructuras que no están diseñadas para la habitación humana (Organización Internacional para las Migraciones, 2012). Algunos factores de estudio que se tienen en cuenta en Perú para conocer la situación de la zona afectada y las limitaciones que inciden en las características de los albergues son:

- Factor físico: comprende aspectos creados por el hombre y el ambiente natural.
- Factor material: identifica características mínimas de confort y tipo de albergue

- Factor humano: estudia la población afectada, Nivel educativo, capacidad económica y otros recursos humanos, que puedan ser utilizados para la instalación y funcionamiento de los albergues.
- Factor político: conocer las leyes vigentes que aplican, observar la situación y formular las necesidades que resultan después de un desastre, para plantear nuevas leyes o decretos.

Cuatro factores que permiten determinar la capacidad, la accesibilidad, la naturaleza del albergue, recursos disponibles, distribución de los afectados, la cantidad de albergues (Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú, 2006). Aunque Bashawri y Garrity determinan que los factores economicos y fisicos cobran la mayor importancia a la hora de seleccionar o construir un refugio (Bashawri & Garrity, 2014). Otros determinantes más específicos a la hora de seleccionar las estructuras son: topografía, infraestructura, seguridad y protección, accesibilidad, proximidad y tipo de propiedad (Trivedi & Singh, 2017), factores muy similares se presentan en la guía de centros colectivos los cuales se resumen en: Características del edificio, Duración del uso de albergues, propiedad del edificio, uso del edificio, tamaño, condiciones del edificio, áreas para adecuación (UNHCR, 2010). Xu y Yin, para la planificación y evaluación de instalaciones urbanas hacen uso de los siguientes criterios: Seguridad, Accesibilidad, Economía, Distancia/tiempo, Máxima cobertura, Capacidad (Xu & Yin, 2016), igualmente, Wei y Li definen que los principios más importante para la selección de locaciones están relacionados con la proximidad de la ubicación del albergue con las personas afectadas y por supuesto que la ubicación del albergue sea de fácil acceso y se debe conocer las estructuras que pueden cubrir la necesidad con antelación (Wei & Li, 2012). Soltani y Ardalan coinciden con los criterios definidos por la organización internacional para las migraciones los cuales son: seguridad, accesibilidad, tamaño, disponibilidad de recursos, consideraciones sociales. (Organización Internacional para las Migraciones, 2012) (Soltani & Ardalan, 2015).

Es relevante que con anticipación se tenga conocimiento y control sobre las características que deben poseer las estructuras que normalmente se habilitan como albergues, por tal razón en Colombia se usan los siguientes criterios para la identificación de espacios que se puedan adecuar como albergues temporales (Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana, 2008).

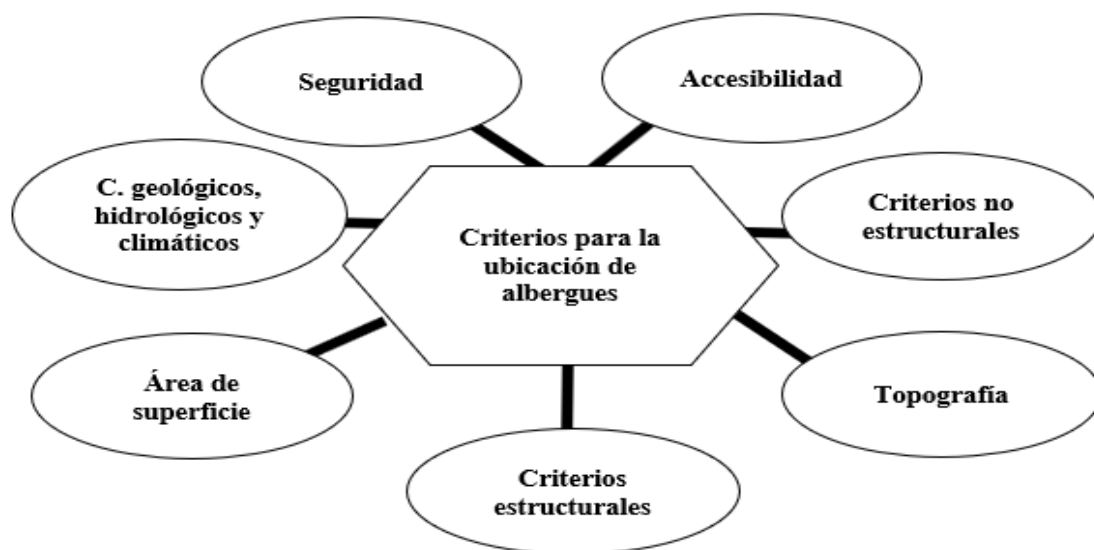


Figura 3. Criterios de ubicación para albergues temporales. Fuente: adaptado de Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana, Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales, 2008

Como se muestra en la Figura 3 en Colombia se tiene en cuenta siete criterios para la ubicación y selección de albergues, a su vez, cada uno con características diferentes que se pueden apreciar en la Tabla 4

Tabla 4. criterios y factores relevantes en la selección y ubicación de albergues temporales.

<u>Criterios</u>	<u>Características</u>
	• Existencia de riesgos que puedan afectar la población albergada. • Zona con alteración de orden público. • Zonas expuestas a contaminación.

Seguridad	• Zona con protección frente a condiciones adversas del clima. • Aislamiento de elementos de combustión o inflamables. • Medidas de control frente a delincuencia común. • Buen uso de plantas de conexión eléctrica. • Existencia de contaminación industrial. • Existencia de flora y fauna que puedan perjudicar al ser humano.
Accesibilidad	• Condiciones adecuadas para el acceso y la evacuación en caso de emergencia. • Buen estado de las vías que rodean el albergue temporal. • Posibilidad de acceso de un vehículo de carga. • Existencia de vía terrestre, marítima o aérea. • Espacio para la adecuación de un helipuerto
Criterios estructurales	• Condiciones de la edificación. • Año de la construcción de la edificación. • Vulnerabilidad de la edificación. • Condiciones generales y capacidad de la estructura. • Disponibilidad de servicios higiénicos (baños, duchas, letrinas). • Estructura proporcional al número de personas y viceversa. • Existencia de iluminación y ventilación.
Criterios no estructurales	• Espacio físico disponible. • Facilidad para construcción de servicios sanitarios (baños, letrinas, duchas). • Existencia de espacio para área de cocina y comedor. • Redes de agua cercana de agua potable, alcantarillado y energía eléctrica.

	• Espacios adecuados para la implementación de áreas de logística y bienestar social.
Criterios geológicos, hidrológicos y climatológicos	• Mapeos de amenazas geofísicas del terreno. • Registro histórico de los comportamientos climáticos de la región. • La topografía del terreno permite un desagüe fácil. • Existencia de riesgos hídricos de inundación, de precipitación de lluvias, y escorrentía del terreno. • El terreno libre de elementos que imposibiliten la construcción del albergue o que impidan la adecuación y comodidad de los albergados.
Topográfico	• Las cuencas no sobrepasan un 6% de inclinación ni por debajo del 1% para que sea posible el movimiento del agua. • Disposición de canales de avenamiento para reducir al mínimo las inundaciones o la formación de charcos de agua. • Las características del terreno deberán condicionar también la ubicación de las letrinas y otras instalaciones, y por tanto la planificación de los asentamientos. • Una recomendación relativa a una planificación de 45 m2 por persona que incluye: La parcela de la vivienda y la superficie necesaria para caminos, senderos instalaciones educativas, líneas, cortafuegos, administración, depósitos de agua, zonas de distribución, mercados y almacenamientos, más un espacio limitado de huertos de familias individuales
Área de superficie	

Fuente: Adaptado de Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana, Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales, 2008.

Para concluir, es pertinente delimitar los criterios a usar en la investigación, dentro de los cuales priman los criterios socializados por la cruz roja colombiana, es por esto, que se determinan más relevantes los criterios con los que coincide el manual de albergues de la cruz roja colombiana con la literatura revisada y otras organizaciones internacionales. En la Tabla 5 se realiza la selección de los criterios:

Tabla 5. Selección de criterios relevantes

Criterios de la Cruz Roja Colombiana							
Autores organizaciones	Accesibilidad	Seguridad	Geológicos, hidrológicos y climatológicos	Topografía	Estructurales	No estructurales	Área de superficie
Wei & Li	X				X		
Xu & Yin	X	X	X			X	X
Trivedi & Singh	X	X	X	X	X		
Bashawri & Garrity					X		
Nacional de Defensa Civil de Perú	X		X		X		
UNHCR					X	X	
Soltani & Ardalan	X	X	X		X	X	
Organización Internacional para las Migraciones	X	X	X		X	X	

Fuente: creación del autor

3.2 Evaluación de instalaciones propuestas

La evaluación de las instalaciones potenciales para habilitar como albergues, se realizará por el método de factores ponderados, usado por Xu y Yin en su investigación para la selección de albergues en áreas urbanas, ya que este método permite valorar y comparar la relevancia que tienen las alternativas, logrando determinar las locaciones que deben tener prioridad entre las demás.

La ecuación del método de factores ponderados es la siguiente:

$$Q_j = \sum_i (F_i * A_{ij})$$

Donde:

Q_j puntuación global de la alternativa j

F_i Peso ponderado de cada factor i

A_{ij} Puntaje de la alternativa j respecto al factor i

Los factores a tener en cuenta, son los considerados los más relevantes a la hora de seleccionar una instalación los cuales se definieron anteriormente como: criterios estructurales, criterios no estructurales, criterios geológicos, hidrológicos y climatológicos, seguridad, accesibilidad.

El peso ponderado para el conjunto de los criterios fue calculado por medio del proceso de análisis jerárquico (AHP) y la matriz de preferencias calificada con la escala de Saaty, a través del análisis comparativo de los criterios que se realizó con expertos (ver Anexo B, C, D), en este caso los bomberos voluntarios del municipio de Roldanillo y un bombero voluntario del municipio de Zarzal, los resultados fueron obtenidos mediante la herramienta Total Decision, la cual arrojó un ratio de inconsistencia de 1,19%, teniendo en cuenta que el ratio debe de estar entre 1% y 10%, los pesos ponderados para cada criterio se resumen en:

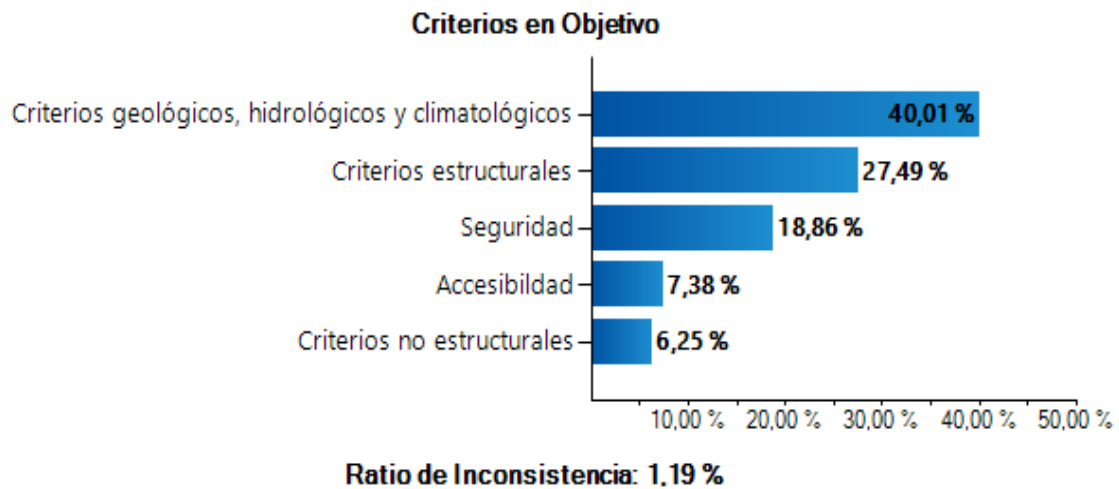


Figura 4. Peso ponderado para el conjunto de los criterios. Fuente: Obtenido de Total Decision.

Para realizar la evaluación de las alternativas respecto a cada criterio, también se contempló la ayuda del cuerpo de bomberos voluntarios de Roldanillo, ya que la coordinación de riesgo del municipio, aseguro que eran las personas más competentes para la labor, debido a su permanente seguimiento y participación en los operativos de socorro y evacuación de las zonas mayormente afectadas por inundación.

Para la evaluación de las alternativas se utilizó el método Scoring, estableciendo un orden jerárquico entre las alternativas respecto a cada criterio, usando una escala entre 1 y 5, siendo 1, la peor calificación y 5 la mejor (*ver Anexo E*). La calificación de las alternativas respecto al criterio estructural contempló las condiciones físicas de las instalaciones; en relación al criterio de seguridad se consideró que las zonas no estén expuestas a alteraciones de orden público, delincuencia; en cuanto a los criterios geológicos, hidrológicos y climatológicos se observó la cercanía de las alternativas a fuentes hídricas, posibles deslizamientos e históricos de afectaciones por amenazas naturales en las instalaciones candidatas; para el criterio de accesibilidad se tuvo en cuenta, el número de vías de comunicación con las que contaba cada instalación y el estado de las mismas, por último los criterios no estructurales, se examinó los espacios o territorios libres con los que contaba cada

instalación y si existía la disponibilidad de alcantarillado, electricidad, agua potable y cocina.

La ejecución del método de factores ponderados para la evaluación completa de las instalaciones se realizó por medio de la herramienta Total Decision, la cual arrojó los siguientes resultados:

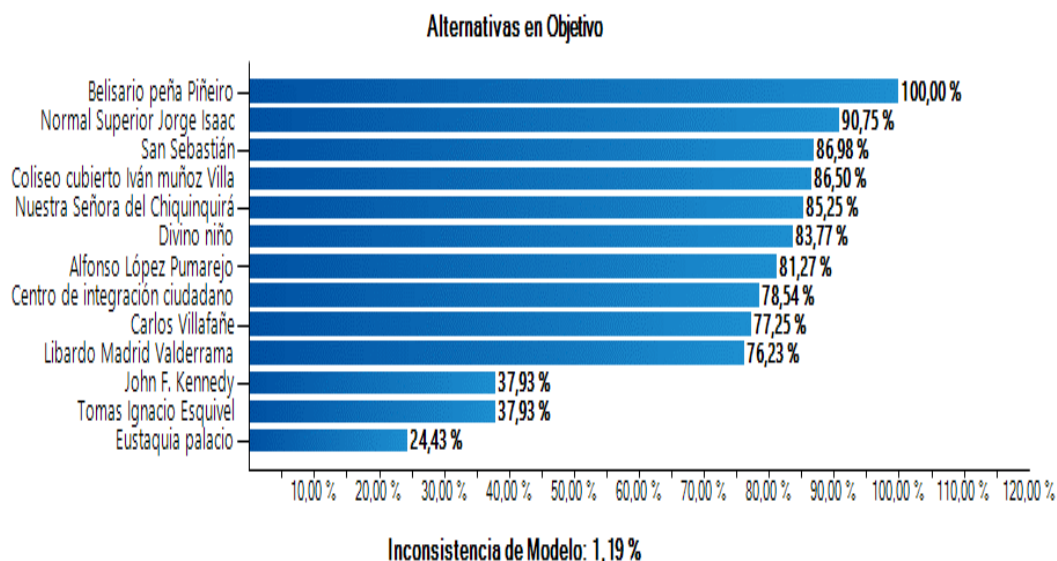


Figura 5. Resultado de evaluación de las instalaciones para habilitar como albergues

Fuente: obtenido de Total Decision.

Para concluir, los criterios que se determinaron como factores importantes en la selección y evaluación de las instalaciones potenciales fueron: criterios estructurales, criterios no estructurales, criterios geológicos, hidrológicos y climatológicos, seguridad, accesibilidad. Además, se puede observar en la Figura 5 que la mayoría de las instalaciones tienen potencial para ser habilitadas como albergues temporales, obteniendo puntajes globales altos y cumpliendo con la mayoría de los criterios evaluados a excepción de las instituciones Tomas Ignacio palacios y John F. Kennedy las cuales son vulnerables a amenazas hidrológicas y de la institución Eustaquio Palacio la cual se encuentra en proceso de remodelación.

CAPITULO 4

FORMULACIÓN DEL MODELO

El modelo a aplicar en el presente trabajo se basa en el presentado por (Marulanda & Leguizamón, 2010) con las modificaciones realizadas por (Morales Celis & Palacios Valencia, 2017), en el cual se enfocaron en la localización de instalaciones y asignación de recursos, con el objetivo de minimizar el tiempo total de atención a la población afectada, Al modelo se le agrega una restricción para asignar el rango máximo de servicio de cada instalación aporte obtenido de los autores (Xu & Yin, 2016), además, se tiene en cuenta que en las propuestas de solución de ningún modelo debe tener un enfoque económico, ya que en situaciones de emergencia prima el bienestar social (Holguín-Veras & Pérez, 2013).

Notación

- **Conjuntos**

D = Conjunto de nodos de zonas afectadas

N = Conjunto de albergues candidatos

- **Parámetros**

T_{ij} Tiempo de viaje desde la zona afectada i hasta el albergue j

D_{ij} Distancia lineal entre la zona afectada i y el albergue j

A_i Población afectada de la zona afectada i

CP_j Capacidad del albergue j

P_j Ponderación del albergue j

R_j Rango máximo de servicio del albergue j

U_j Tiempo máximo de tardanza para adecuar un albergue j

- **Variables de decisión**

X_{ij} 1, si la zona afectada i es atendida por el albergue j

y_j 1, si el albergue j es habilitado.

Modelo

$$\text{MIN } Z = \sum_{i \in D} \sum_{j \in N} T_{ij} X_{ij} + \sum_{j \in N} U_j \frac{1}{P_j} Y_j \quad (1)$$

Sujeto a:

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

$$\sum_{i \in D} A_i X_{ij} \leq CP_j Y_j \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} CP_j Y_j \geq \sum_{i \in D} A_i \quad (4)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall j \in N, \forall i \in D \quad (5)$$

$$X_{ij} D_{ij} \leq R_j Y_j \quad \forall j \in N, \forall i \in D \quad (6)$$

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad \forall j \in N, \forall i \in D \quad (7)$$

$$Y_j = \{0,1\} \quad \forall j \in N \quad (8)$$

La ecuación (1) describe la función objetivo del modelo, el cual consiste en minimizar el tiempo total de atención, donde este, se compone de dos partes: la primera considera el tiempo de viaje entre las zonas afectadas y los albergues habilitados, la segunda parte contempla el tiempo que se debe invertir en adecuar las instalaciones para habilitar como albergue temporal; La ecuación (2) asegura que cada zona afectada sea atendida por al menos un albergue; la ecuación (3) garantiza que la capacidad del albergue habilitado sea suficiente para atender la población afectada de la zona asignada; la ecuación (4) asegura que el total de los albergues habilitados cubran la totalidad de la población afectada; la ecuación (5) indica que para atender un nodo de la zona afectada i se debe abrir un albergue j ; la ecuación (6) garantiza que la distancia lineal entre la zona afectada y el albergue es menor al alcance máximo de servicio del albergue. Finalizando las ecuaciones (7) y (8) caracterizan las variables consideradas en el modelo.

En el modelo se tiene en cuenta los siguientes supuestos:

- La cantidad de afectados no es mayor a la capacidad total de los albergues.
- La cantidad de afectados es conocida.
- La capacidad de las instalaciones propuestas es conocida
- Las infraestructuras de las instalaciones propuestas no fueron afectadas por ninguna amenaza.
- Las vías de comunicación entre las zonas afectadas y los albergues continúan con su funcionamiento habitual.

La función objetivo del modelo está dada por la suma del tiempo de asignación de los damnificados y la adecuación de las instalaciones habilitadas, es decir, el tiempo de asignación es el tiempo de viaje entre las zonas afectadas y las instalaciones habilitadas a las que fueron asignadas; el tiempo de adecuación de las instalaciones es calculado respecto a la ponderación que recibió cada instalación en la previa evaluación de las condiciones y viabilidad de ser acondicionados.

4.1 Aplicación al caso de estudio

El modelo propuesto es aplicado al caso de estudio para la localización de albergues y asignación de las personas afectadas por inundaciones súbitas para la fase de respuesta post desastre en el municipio de Roldanillo, considerando que el modelo se realiza a un escenario pesimista y suponiendo que todas las personas que viven en las zonas afectadas necesitan refugio temporal.

4.2 Recolección de información

Para alimentar el modelo y lograr aplicarlo se recolectó la información de la siguiente manera:

- El tiempo y distancia de viaje entre las zonas afectadas y las instalaciones propuestas se calculó por medio de la herramienta Google Maps, aclarando que el tiempo de viaje que se tomó en cuenta fue el de caminata, ([ver aquí](#))

- La capacidad de atención de las instituciones educativas se determinó por medio del número de estudiantes vinculados a cada institución, asumiendo que se cumple la norma técnica colombiana 4595-4596 que asigna para cada alumno un área de 2 m² (Ministerio de Educación, 2016), dada la anterior afirmación el área que se obtuvo para cada institución, se divide entre 3,5 m², los cuales deben de ser asignados para cada persona en albergues temporales (ver Anexo G) (Organización Internacional para las Migraciones, 2012).
- La demanda se determinó por medio del número de viviendas en amenaza de inundación en el municipio de Roldanillo, considerando que en promedio viven 4 personas por hogar (ver Anexo F) (Sisbén, 2012).
- El tiempo de tardanza para las operaciones de respuesta y adecuación de las instalaciones debe ser en las primeras 72 horas como máximo (UNGRD, 2013)
- El rango de cobertura para un albergue temporal es de 2 km (Xu & Yin, 2016)
- La ponderación de las instalaciones se determinó por el resultado de la evaluación de cada instalación previamente realizada (ver Anexo G).

Representación de la solución

La solución de este modelo se compone de dos partes:

La variable Y_j toma valores entre $\{0,1\}$, siendo 0, el valor para representar que el albergue j no ha sido habitado, 1 de lo contrario.

Albergues					
1	2	3	4	5	6
0	0	1	0	0	N

Figura 6. Representación de la solución del estado de los albergues Fuente: creación del autor

La representación de la asignación de las zonas afectadas a los albergues, se realiza mediante una matriz, donde X_{ij} toma el valor 1, para representar que la zona afectada i ha sido asignada al albergue j , cero de lo contrario.

		Y_j			
		1	2	3	N
X_{ij}	1	0	1	0	0
	2	0	1	0	1
	3	1	0	0	0
	D	0	0	1	0

Figura 7. Representación de la solución de la asignación de las zonas afectadas a los albergues Fuente: creación del autor

4.3 Resultado

El modelo se corrió en la herramienta CPLEX Studio IDE 12.8.0, con un equipo de procesador Intel® Core™ i3-31110M CPU @ 2.40GHz, con memoria RAM 4,00 GB, y sistema operativo de 64 Bits, procesador x64, el código de programación se encuentra en el Anexo H .

Las zonas vulnerables son 27 con un total de 1228 personas afectadas para este caso de estudio, los albergues candidatos para la atención de la población afectada son 13, con capacidad total de atención de 3137. En la Tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para el caso de estudio, como el tiempo total de atención, los albergues que se deberían habilitar, las zonas asignadas a cada albergue. El número de albergue pertenece a una instalación, al igual que las zonas afectadas tienen un número que las representa, los cuales se pueden observar en el Anexo I

Tabla 6. Resultados del modelo aplicado al caso de estudio

T. de atención (Min)	T. de atención (Hr)	Albergues Habilitados	Z. asignada al albergue 1	Z. asignada al albergue 9
353.874	5.897	[1, 9]	[5,6,13,14,16,18,19, 21,23,25,26,27]	[1,2,3,4,7,8,9,10,11,12 ,15,17,20,22,24]

Fuente: creación del autor

Para concluir, en el Anexo J se puede observar el resultado proporcionado por la herramienta CPLEX optimizer, en la cual, al albergue 1 se le asignaron 12 zonas

afectadas y al albergue 9 le fueron asignadas 15 zonas afectadas, cubriendo la demanda total de afectados. La suma total del tiempo de servicio de atención se estimó en 5,8 horas, además en el Anexo K es posible observar el mapa del municipio con la ubicación de las zonas afectadas, los albergues que fueron habilitados y las instalaciones propuestas en el modelo.

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

Es importante que después del desarrollo del modelo se corrobore su validez, es por esto que en el presente capítulo el modelo matemático es sometido a un análisis de sensibilidad respecto a la variación de parámetros de interés como: los tiempos de viaje, la distancia, la cantidad población afectada, la capacidad de las instalaciones y por último el tiempo de tardanza para la adecuación de las instalaciones, con el fin de observar el impacto que tienen estas variaciones en la función de desempeño, es decir, como afecta la variación de cada uno de los parámetros en el tiempo total de atención de los damnificados y cómo reacciona el modelo ante los diferentes cambios realizados a los datos ingresados principalmente.

5.1 Variación al parámetro de tiempos de viaje

Para el análisis del impacto que tienen las variaciones de los tiempos de viaje en la función de desempeño del modelo, se hizo un incremento paulatino de este parámetro, los resultados se pueden observar en la Figura 8. El modelo responde coherentemente al incremento de los tiempos de viajes, ya que también presenta aumento en el valor del resultado de la función objetivo, debido a que, entre mayor sea el tiempo de viaje, es mayor el tiempo de asignación de las zonas afectadas a los albergues, por ende, mayor es el tiempo de atención al damnificado.

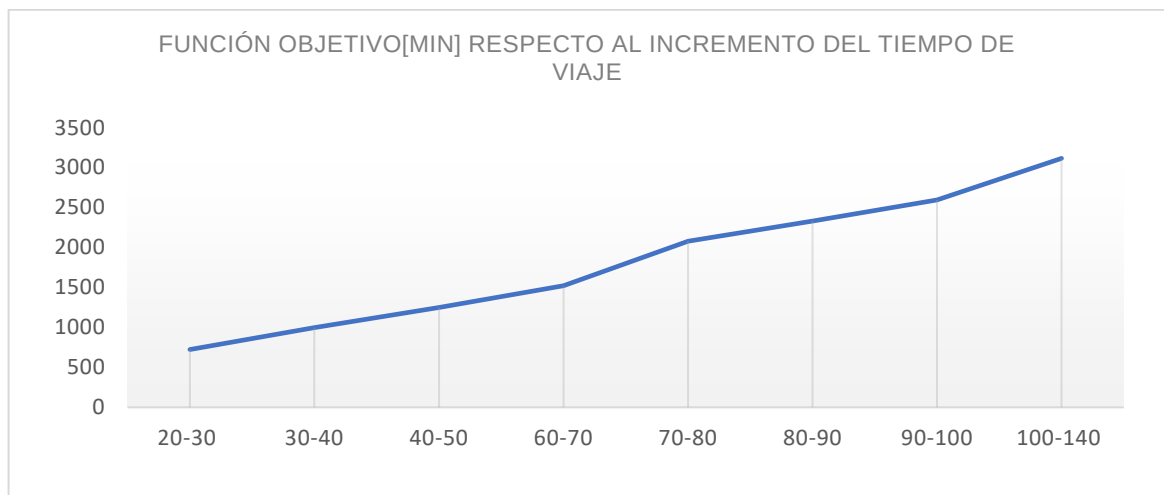


Figura 8. Variación de la función de desempeño respecto al aumento de tiempo de viaje Fuente: creación del autor

5.2 Variación al parámetro de distancia lineal

Para observar el impacto que tiene el parámetro de distancia lineal en la función de desempeño, se realizó una ampliación de las distancias de manera mínima, ya que se tuvo en cuenta que si las distancias sobrepasaban los 2 km el modelo no asignaría demanda a ninguna instalación, puesto que no estaría dentro del alcance del servicio de atención del albergue. En la Figura 9 se observa que la variación del parámetro de distancia no tiene efecto en la función de desempeño del modelo, por tal motivo, el tiempo de atención no se ve afectado por esta variación, ya que esta restricción es realizada con el fin de que las asignaciones que haga el modelo estén dentro del alcance de servicio de las instalaciones. Para verificar que el modelo no asignara demanda al sobrepasar los 2km de distancia, se realizó la variación al parámetro fijando valores mayores a 2km, como resultado, el modelo no generó ninguna solución, respuesta positiva para el modelo.

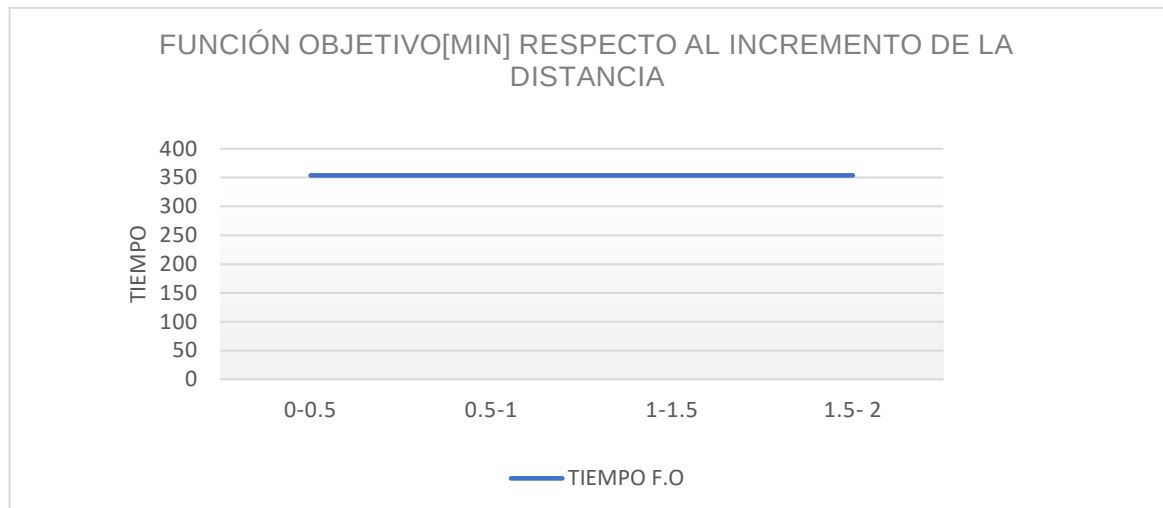


Figura 9. Variación de la función de desempeño respecto al incremento parámetro de distancia. Fuente: creación del autor

5.3 Variación al parámetro de cantidad de afectados

Respecto a los efectos que pueda tener la variación de la cantidad de población afectada en la función de desempeño, se examina por medio de un aumento y disminución este parámetro, donde en la Figura 10 se observa que con el aumento de la cantidad de población afectada, incrementa el tiempo de atención, debido a que habría más población por asignar, por tal motivo existiría un aumento en el total de los tiempos de viaje, medida que se tiene en cuenta en la función de desempeño.

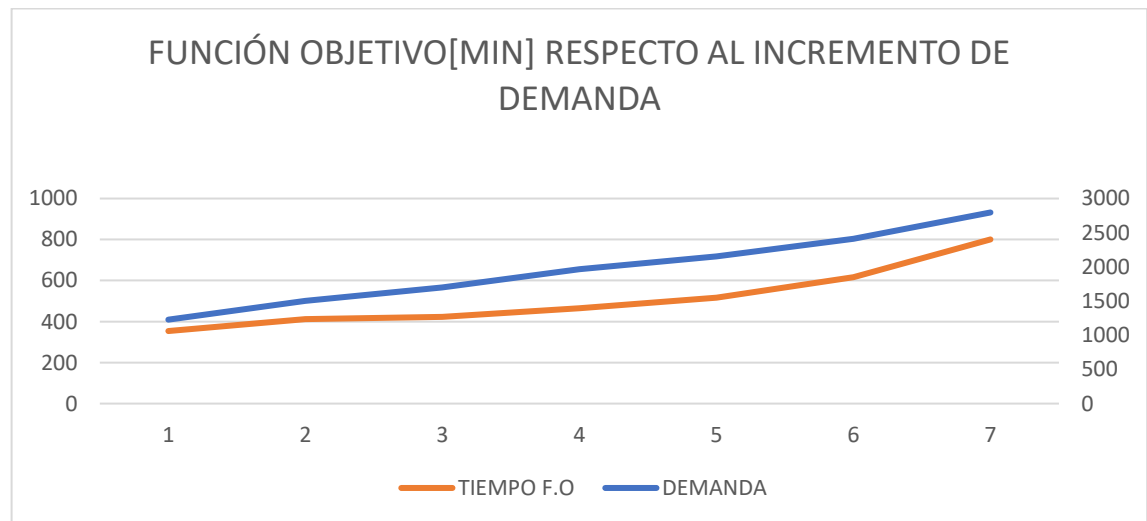


Figura 10. Impacto en la función de desempeño respecto al incremento de población afectada. Fuente: creación del autor

5.4 Variación al parámetro de capacidad de los Albergues

Para el parámetro de capacidad de los albergues se realizaron incrementos, con el fin de observar el impacto que genera la variación de este parámetro en la de función de desempeño del modelo. Como se puede observar en la Figura 11, entre mayor sea la capacidad de las instalaciones, menor es el tiempo de atención, resultado coherente ya que al haber una mayor capacidad de las instalaciones propuestas existe mejores alternativas de solución, es decir, la asignación de las personas afectadas se puede realizar de una manera más eficaz, teniendo como resultado una disminución en el tiempo de atención.

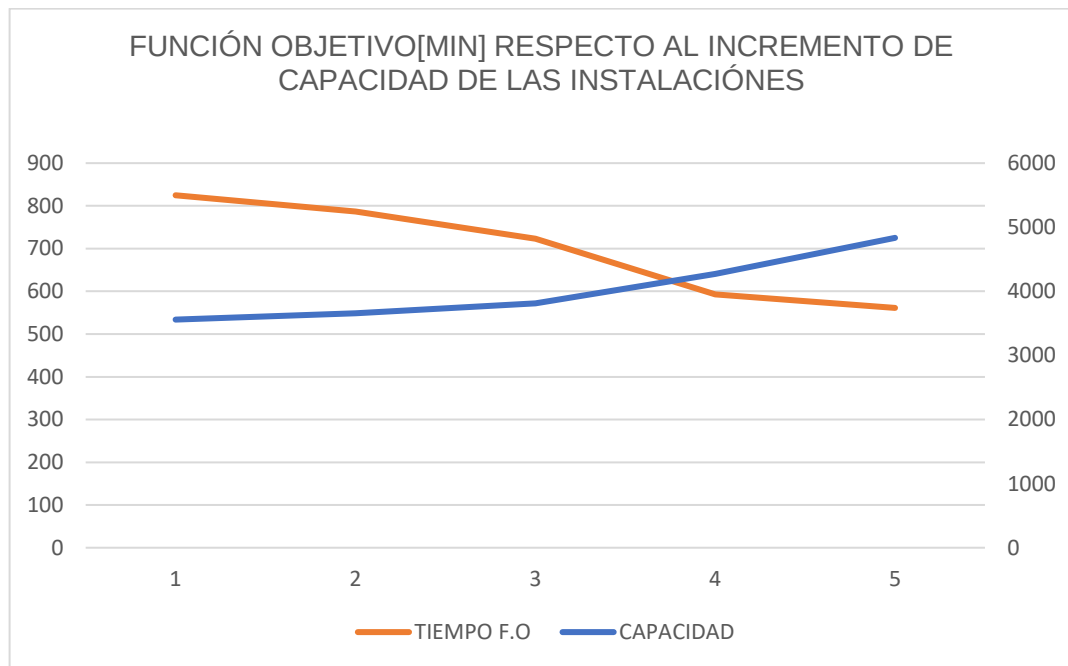


Figura 11. Impacto en la función de desempeño respecto al incremento de la capacidad de las instalaciones.
Fuente: creación del autor

5.5 Variación del parámetro de tiempo de adecuación de las instalaciones

A pesar de que el tiempo de tardanza para adecuar una instalación como albergue ya está estipulado en 72 horas por los organismos de socorro, se realizan variaciones de este parámetro para observar cómo afecta el tiempo total de atención. En la Figura 12 se representa el comportamiento de la función de

desempeño respecto a los cambios hechos en este parámetro, como resultado se observa que cuando se reduce el tiempo de adecuación de las instalaciones, se reduce el tiempo de atención total, resultado coherente ya que se asigna un tiempo operacional menor para la adecuación de la instalación, sin contar que las instalaciones que poseen ponderaciones altas, reducen el tiempo de adecuación debido a sus buenas condiciones.

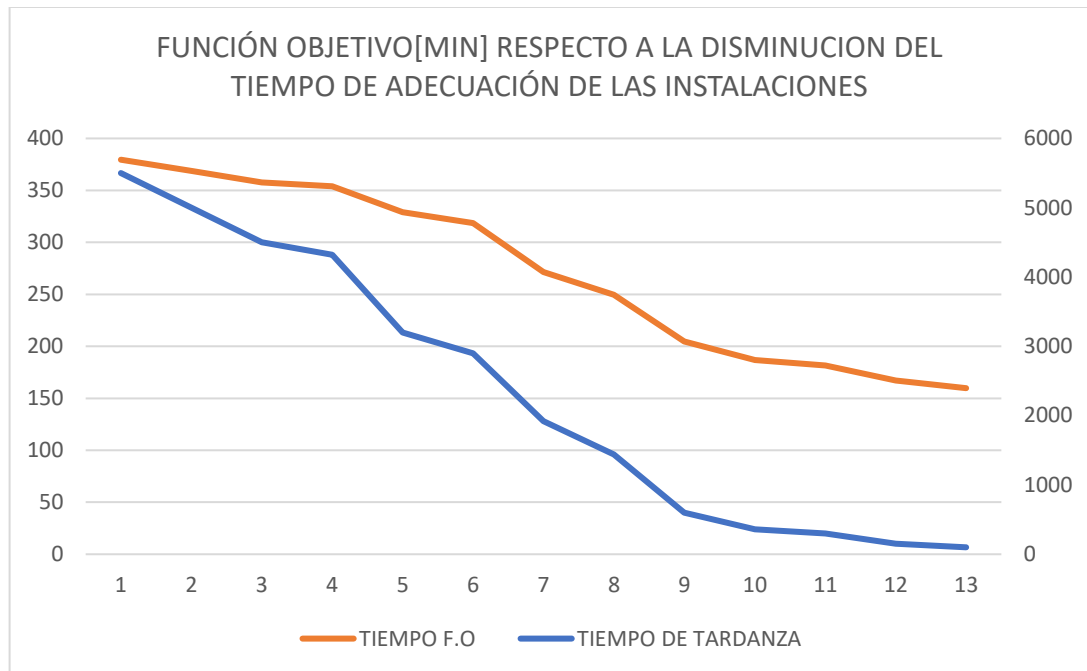


Figura 12. Impacto en la función de desempeño respecto a la variabilidad del tiempo de adecuación de albergues. Fuente: creación del autor

En conclusión, el análisis realizado al modelo verificó la validez de los resultados obtenidos en el caso estudio y el comportamiento del modelo respecto a variaciones de los parámetros de mayor interés, los resultados son confiables y varían coherentemente a los cambios realizados en cada parámetro, brindando una visión de los posibles resultados que se pueden obtener, cambiando la situación que se presentó en el caso de estudio.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

El incremento de desastres de origen natural en los últimos años, son producto del uso indiscriminado de los recursos naturales y las inadecuadas prácticas humanas, que generan cambios drásticos en el clima causando desastres a nivel mundial. En la revisión de la literatura se determina las inundaciones súbitas como el desastre natural que se presenta con mayor frecuencia, siendo el tipo de desastre más destructivo y letal para la población, asimismo se señala a Colombia como un país vulnerable en el que persisten constantes amenazas de desastres de origen natural, donde una parte considerable de la población colombiana vive en amenaza de inundación, debido a que suelen habitar zonas cercanas a los ríos, produciendo un incremento del riesgo de inundación, sin mencionar, que se encontraron pocas investigaciones en Colombia para la implementación de herramientas que contribuyan a reducir el impacto negativo que tienen los desastres naturales en la población, cuestión agravante para los efectos que puede causar un desastre natural.

Contrario a lo anterior, se resalta la preocupación y el interés mundial por desarrollar investigaciones, que proporcionen soportes para el manejo de desastres, siendo el eje central de dichas investigaciones la logística humanitaria, la cual, se enfoca en la administración de recursos y coordinación de actividades para la atención de damnificados en caso de emergencia. La logística humanitaria se divide en las operaciones pre y post desastre las cuales poseen cuatro fases: mitigación y preparación, correspondientes a la primera etapa, y respuesta y recuperación, asociadas a la segunda etapa.

Continuando con la revisión de la literatura para presentar una propuesta de solución al problema de localización de albergues en caso de inundaciones

súbitas, se estableció que los factores que priman en la mayoría de las investigaciones post desastre son: identificación y evaluación de estructuras, capacidad de respuesta, cantidad de personas afectadas, reducción de los tiempos de respuesta, reducción de costos, entre otros factores; que determinaron la dinámica del desarrollo de los objetivos del presente trabajo.

Para dar respuesta al primer objetivo se identificaron las zonas vulnerables y las instalaciones potenciales en el municipio caso de estudio, la cual se realizó por medio de la revisión de los planes estratégicos y de ordenamiento territorial con los que cuenta el municipio. En el proceso de consecución de la información la tarea fue ardua, ya que hubo limitaciones en la solicitud de la documentación relacionada con la coordinación de la prevención de desastres, situación que refleja dificultades en la preparación del municipio para enfrentar desastres de cualquier tipo, generando un obstáculo en la creación y fortalecimiento de estrategias para la reducción del riesgo de desastre y atención de emergencias del municipio.

En el desarrollo del segundo objetivo, el presente trabajo resalta la importancia que tiene la fase de respuesta, ya que es la fase post desastre que se encarga de evaluar y localizar las instalaciones, entre las cuales se encuentran los albergues como un elemento vital para proveer seguridad y supervivencia a los damnificados. Es preciso aclarar que los albergues son instalaciones de propiedad pública que se acondicionan, para suplir la necesidad del caso, sin mencionar, que es de suma importancia evaluar y determinar las instalaciones antes de ser habilitadas, con el fin de definir las instalaciones que tendrán mayor prioridad entre las otras. En la revisión literaria, se logró establecer que el primer paso para localizar albergues, es evaluar cada instalación respecto a los criterios más relevantes, los cuales son así definidos por diferentes autores, entre estos se resaltan factores relacionados con la seguridad, accesibilidad, criterios estructurales, criterios

no estructurales, criterios hidrológicos, climatológicos y geológicos. De igual forma, para la evaluación del cumplimiento de los criterios en cada instalación potencial identificada se empleó la metodología de factores ponderados, la cual, proporcionó información requerida para realizar el análisis y evaluación de las instalaciones, integrando el proceso analítico jerárquico en la obtención del peso ponderado de cada criterio y el método Scoring para la calificación de las alternativas respecto a cada criterio, teniendo en cuenta que la calificación de las instalaciones propuestas se realizó por expertos, en el caso de Roldanillo las personas más competentes para la tarea son los bomberos voluntarios, ya que son señalados por la coordinación del riesgo y otros organismos de socorro como la entidad más idónea para atender este tipo de eventos. Finalmente, los resultados obtenidos proporcionan información necesaria para continuar con el desarrollo de los objetivos de investigación.

Los modelos matemáticos son definidos como herramientas fundamentales para soportar la toma de decisiones en situaciones de emergencia, debido a esto, para el cumplimiento del objetivo de localización de albergues y asignación de la población afectada fue de suma importancia la revisión de la literatura, la cual proporcionó información importante considerando elementos importantes derivados de diversas investigaciones sobre operaciones post desastre, como el tiempo de viaje, distancia, cantidad de población afectada, capacidad de las instalaciones, ponderación de las instalaciones candidatas, rango máximo de servicio de los albergues y tiempo máximo para adecuar una instalación; todo esto formulado con el objetivo de minimizar el tiempo total de atención, porque en situaciones de emergencia debe primar el bienestar y la seguridad de la población afectada. El modelo considera que el total de la población afectada debe ser atendida, es decir, la capacidad de las instalaciones candidatas cubre la demanda de la población afectada- Además se considera que no se debe exceder la

distancia del rango máximo de alcance de las instalaciones y también cada zona afectada es asignada por lo menos a un albergue. La respuesta proporcionada por el modelo fue coherente para el caso de estudio, para ello, se validó el modelo por medio de un análisis de sensibilidad, realizando variaciones a los parámetros de importancia como los tiempos de viajes, distancias, cantidad de la población afectada, capacidad de los albergues y tiempo de adecuación de las instalaciones; en los cuáles se observó cuales generan mayor impacto en la función de desempeño del modelo. Los parámetros analizados fueron los tiempos de viaje, la cantidad de la población afectada, la capacidad de los albergues y el tiempo de adecuación de las instalaciones; ya que incidieron de forma directa en la función de desempeño del modelo matemático formulado.

El presente proyecto genera una propuesta de solución a una de las preocupaciones que deben surgir al ocurrir un desastre natural o evento disruptivo, es decir, la localización de albergues temporales, proporcionando herramientas al municipio para soportar decisiones e incentivar el inicio de establecimiento de planes y estrategias que vinculen el uso de herramientas utilizadas a nivel mundial, con el fin de lograr una intervención efectiva ante situaciones de emergencia.

Para futuras investigaciones se recomienda hacer uso de la información recolectada en el presente trabajo, para el desarrollo de iniciativas que integren la zona rural del Municipio de objeto de estudio, ya también normalmente es afectada por inundación.

Además, integrar otros problemas relacionados con el ruteo entre zonas afectadas y albergues habilitados y decisiones de localización de centros de distribución y almacenes de donaciones.

Finalmente, considerar en el modelo matemático elementos de naturaleza estocástica e integrar a la función de desempeño otras medidas como la minimización de los costos de privación.

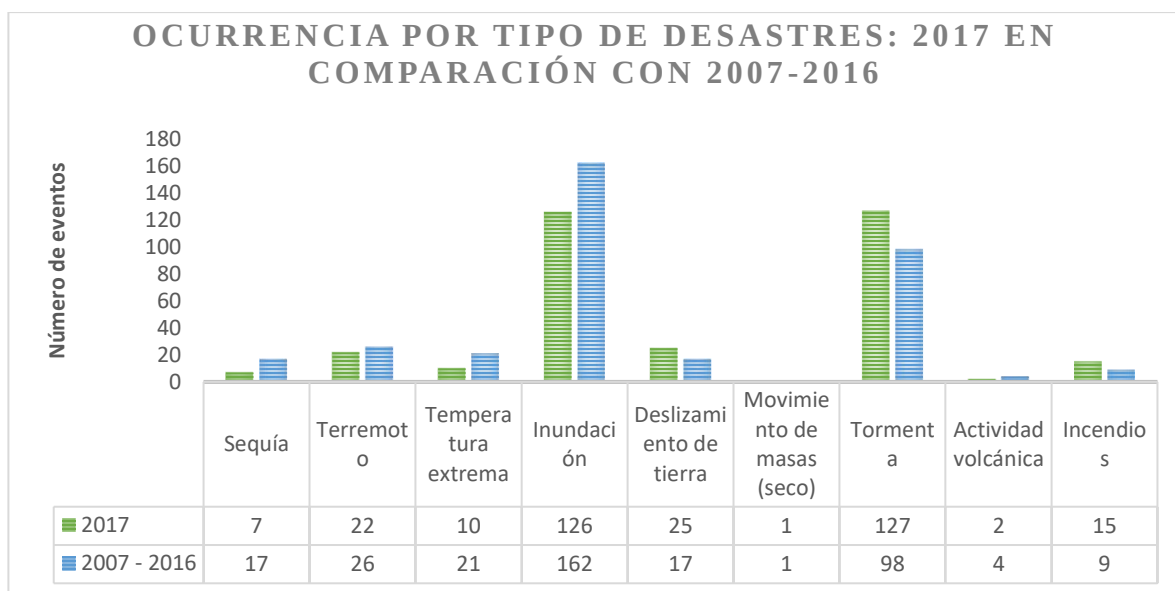
BIBLIOGRAFÍA

- Cruz Roja . (2010). *Informe mundial sobre desastres*.
- Alcaldía Municipal de Roldanillo . (2009). Plan basico de ordenamiento territorial del municipio de Roldanillo. Roldanillo , Colombia .
- Alcaldía Municipal de Roldanillo. (2015). Plan de desarrollo municipal. Roldanillo, Colombia.
- Banco mundial. (15 de Diciembre de 2017). *Resumen del año 2017 en 12 gráficos*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/12/15/year-in-review-2017-in-12-charts>
- Bashawri, A., & Garrity, S. (2014). An overview of the design of disaster relief. *Procedia Economics and Finance* 18, 924 – 931.
- Burón, C. L. (2003). LOS DESASTRES NUNCA SERÁN NATURALES. *Revista invi* N° 47, 39 a 51.
- CLOPAD del Municipio de Roldanillo. (4 de juio de 2008). Gestión del riesgo del municipio de Roldanillo. Roldaillo, Valle del cauca, Colombia.
- CMGR Roldanillo. (2012). *Plan municipal de gestión de riesgo*. Roldanillo .
- CMGR Roldanillo. (02 de Agosto de 2012). Plan Municipal para la gestión del riesgo . Roldanillo, Valle del cauca, Colombia.
- CRED. (2018). *Natural disasters 2017*. Bruselas.
- CRED. (2019). *2018 Review of disaster events*. Brussels.
- CRED. (2019). *2018 Review of disaster events*. Brussels.
- Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Roldanillo. (2019). informe anual de emergencias y prevencion . Roldanillo, Valle del Cauca, Colombia .
- El Proyecto Esfera . (2011). Proyecto Esfera: Carta humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria.
- Holguín-Veras, J., & Pérez, N. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, 262-280.
- IDEAM. (24 de Abril de 2012). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/24189/390483/11.+LEY+1523+DE+2012.pdf/4e93527d-3bb8-4b53-b678-fbde8107d340?version=1.2>
- IDEAM. (2014). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- IFRC. (2010). *Informe mundial sobre desastres*.
- INFORM. (2018). *Índice de gestión de riesgo para América Latina y el Caribe*.
- Instituto Nacional de Defensa Civil de Perú. (2006). Protocolo para la instalacion de albergues. Perú: Dirección Nacional de Operaciones.

- Machado, V. R. (2009). *Situaciones de desastres Manual para la organización de la atención médica de urgencia*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas.
- Marulanda, & Leguizamón. (2010). solución al problema de localización (cflp) a través de búsqueda tabú y relajación lagrangeana, caso de estudio: industria de productos alimentarios. Bogotá D.C., Colombia.
- Ministerio de Educación. (2016). *Mineducación*. Obtenido de <https://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-96894.html>
- Morales Celis, L. X., & Palacios Valencia, S. A. (2017). Localización de instalaciones y asignación de recursos mediante un algoritmo heurístico, para la atención pos desastre, en caso de inundación o remoción de masa. Bucaramanga, Colombia.
- ONU. (2008). *El cambio climático y la reducción del riesgo de desastre*. Ginebra.
- ONU. (2008). *El cambio climático y la reducción del riesgo de desastre*. Ginebra.
- Organización Internacional para las Migraciones. (Abril de 2012). Caja de herramientas: gestión de albergues (centros colectivos). Bogotá, D.C., Colombia.
- Organización Internacional para las Migraciones. (2012). Manual de introducción a la gestión de alojamientos temporales. Bogotá, Colombia.
- Organización Panamericana de la Salud. (2006). Hospitales seguros ante inundaciones. Washington, D.C.
- Rennemo, S. J., & Hvattum, L. M. (2014). A three-stage stochastic facility routing model for disaster response planning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116-135.
- Rubiano, L. S. (2015). Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre - caso inundaciones. Chía, Colombia.
- Secretaría de gobierno de Roldanillo. (2011). Informe de casas en riesgo de inundación del municipio de Roldanillo. Roldanillo, Valle del Cauca, Colombia.
- Sisbén. (2012). informe viviendas en riesgo. Roldanillo, Valle del Cauca, Colombia.
- Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana. (2008). *Manual de albergues temporales*. Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana.
- Sociedad Nacional de La Cruz Roja Colombiana. (2008). Manual Nacional para el manejo de albergues temporales.
- Soltani, A., & Ardalan, A. (2015). Criteria for Site Selection of Temporary Shelters after Earthquakes: a Delphi Panel. *PLoS Curr*, 7.
- Trivedi, A., & Singh, A. (2017). Prioritizing emergency shelter areas using hybrid multi-criteria decision approach: a case study. *J. Multi-Criteria Decis. Anal.* 24, 133–145.

- UNGRD. (06 de Junio de 2013). *Datos abiertos, gobierno digital Colombia*. Obtenido de <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Inundaciones-Colombia/es7m-wj39>
- UNGRD. (2013). Manual de logistica para la atención de emergencia . Bogotá D.C., Colombia.
- UNHCR. (2010). Collective centre guideline.
- UNISDR. (2019). *UNISDR*. Obtenido de <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp>
- Wei, L., & Li, W. (2012). Decision Support for Urban Shelter Locations Based on Covering Model. *Procedia Engineering* 43, 59 – 64.
- Xu, J., & Yin, X. (2016). Multi-criteria location model of earthquake evacuation shelters to aid in. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 20, 51- 62.

ANEXOS



Anexo A. Ocurrencia de desastres: 2017 en comparación con 2007-2016 adaptado de: (CRED, 2018).

Comparación de Criterios en:

OBJETIVO - EVALUACIÓN DE INSTALACIONES PARA HABILITAR COMO ALBERGUE

	Seguridad	Accesibilidad	Criterios geológicos, hidro	Criterios no estructurales	Criterios estructurales
Seguridad	1	3	1	5	1
Accesibilidad	1/3	1	1/3	5	1/3
Criterios geológicos, hidro	1	3	1	5	1
Criterios no estructurales	1/5	1/5	1/5	1	1/7
Criterios estructurales	1	3	1	7	1

Anexo B. Calificación del experto 1 a los Criterios seleccionados obtenida de Total Decision.

Comparación de Criterios en:

OBJETIVO - EVALUACIÓN DE INSTALACIONES PARA HABILITAR COMO ALBERGUE

	Seguridad	Accesibilidad	Criterios geológicos, hidro	Criterios no estructurales	Criterios estructurales
Seguridad	1	3	1/5	3	1
Accesibilidad	1/3	1	1/6	1/3	1/4
Criterios geológicos, hidro	5	6	1	6	5
Criterios no estructurales	1/3	3	1/6	1	1/2
Criterios estructurales	1	4	1/5	2	1

Anexo C. Calificación del experto 2 a los criterios seleccionados obtenida de Total Decision

Comparación de Criterios en:

OBJETIVO - EVALUACIÓN DE INSTALACIONES PARA HABILITAR COMO ALBERGUE

	Seguridad	Accesibilidad	Criterios geológicos, hidro	Criterios no estructurales	Criterios estructurales
Seguridad	1	3	1/4	3	1/4
Accesibilidad	1/3	1	1/4	1	1/6
Criterios geológicos, hidro	4	4	1	5	1
Criterios no estructurales	1/3	1	1/5	1	1/6
Criterios estructurales	4	6	1	6	1

Anexo D. Calificación del experto 3 a los criterios seleccionados Fuente: obtenida de Total Decision.

	Intensidad	Valor	Intensidad	Valor
Belisario peña Piñeiro	Excelente	100,00 %	Excelente	100,00 %
Alfonso López Pumarejo	Excelente	100,00 %	Bueno	80,00 %
San Sebastián	Promedio de Participantes	80,00 %	Medio	60,00 %
Eustaquia palacio	Promedio de Participantes	20,00 %	Regular	40,00 %
Divino niño	Excelente	100,00 %	Malo	20,00 %
Normal Superior Jorge Isaac	Excelente	100,00 %		
Libardo Madrid Valderrama	Medio	60,00 %		
Carlos Villafañe	Excelente	100,00 %		
Nuestra Señora del Chiquinquirá	Excelente	100,00 %		
John F. Kennedy	Promedio de Participantes	20,00 %		
Tomas Ignacio Esquivel	Promedio de Participantes	20,00 %		
Coliseo cubierto Iván Muñoz Vill.	Excelente	100,00 %		
Centro de integración ciudadano	Excelente	100,00 %		

Anexo E. Calificación de cada instalación respecto a cada criterio. Fuente : Obtenida de Total Decision .

Instituciones educativas	Número de estudiantes	Área m²	Capacidad	ponderación
Belisario peña Piñeiro	1146	2292	655	100.00
Alfonso López Pumarejo	92	184	53	81.27
San Sebastián	127	254	73	86.98
Eustaquia palacio	222	444	127	24.43
Divino niño	71	142	41	83.73
Normal Superior Jorge Isaac	1206	2412	689	90.75
Libardo Madrid Valderrama	64	128	37	76.23
Carlos Villafañe	133	266	76	77.25
Nuestra Señora del Chiquinquirá	1056	2112	603	85.25
John F. Kennedy	371	742	212	37.93
Tomas Ignacio Esquivel	341	682	195	37.83
Coliseo cubierto Iván Muñoz Villa		657	188	86.50
Centro de integración ciudadano		657	188	78.54

Anexo G. Capacidad y ponderación de las instalaciones candidatas Fuente: creación del autor

Zonas en amenaza	afectados	Zonas amenaza	afectados
HUMBERTO GONZÁLEZ N.	32	JOSÉ MARÍA BARBOSA	24
LOS LLANITOS	260	TORRIJOS	40
SAN JOSÉ OBRERO	12	TRES DE MAYO	36
JOSÉ JOAQUÍN JARAMILLO	56	EL PORTAL	4
SIMÓN BOLÍVAR	16	REY MEDIO	104
OBRERO	112	REY BAJO	92
LA ERMITA	48	ARRAYANES	20
LA NUEVA ERMITA	32	REY ALTO	92
GUERRERO	28	DOÑA EMMA	16
IPIRA	20	LA ASUNCIÓN	36
EL PRADO	16	LAS COLINAS	4
LA CEIBA	8	SAN SEBASTIÁN	48
VILLA ROSITA	12	CARLOS HOLGUÍN SARDI	16
UNIÓN DE VIVIENDA POPULAR	44		

Anexo F. Cantidad de personas afectadas Fuente: creación del autor

```

1  /*****
2  * OPL 12.8.0.0 Model
3  * Author: mahecha
4  * Creation Date: 28/02/2019 at 3:14:37 p. m.
5  *****/
6  //CONJUNTOS
7  int nafectados = ...; //cantidad de zonas afectadas
8  range afectados = 1..nafectados; // conjunto de zonas afectadas
9  int nalbergues = ...; //cantidad de albergues propuestos
10 range albergues = 1..nalbergues; // conjunto de albergues propuestos
11
12 //PARAMETROS
13
14 float d [afectados][albergues]=...; //distancia lineal entre la zona afectada i al albergue j
15 float p [albergues]=...; // ponderacion del albergue j
16 float u [albergues]=...; // tiempo maximo de tardanza para adecuar el albergue j
17 float a [afectados]=...; //poblacion afectada de la zona i
18 float cp [albergues]=...; // capacidad del albergue j
19 float t [afectados][albergues]=...; //tiempo de viaje entre la zona afectada i al albergue j
20 float r [albergues]=...; //rango maximo de servicio del albergue j
21
22 //VARIABLES DE DECISIÓN
23 dvar boolean x [afectados] [albergues]; // 1, si la zona afectada i es atendida por el refugio j, 0 de lo contrario
24 dvar boolean y [albergues]; // 1, si el albergue es habilitado, 0 de lo contrario
25
26 //FUNCIÓN OBJETIVO
27 dexpr float z = sum (i in afectados, j in albergues)(t[i][j]*x[i][j])+ sum (j in albergues)((u[j]/p[j])*y[j]);
28 minimize z;
29
30 // RESTRICCIONES:
31 subject to {
32 // cada zona afectada es atendida por un albergue
33
34 forall (i in afectados)
35     sum (j in albergues)(x[i][j]) >= 1;
36
37 //la capacidad del albergue habilitado sea suficiente para atender la demanda de la zona i
38
39 forall (j in albergues)
40     sum (i in afectados)(a[i]*x[i][j]) <= (cp[j]*y[j]);
41
42 //la capacidad total del los albergues habilitados cubra la totalidad de la poblacion afectada
43
44 sum(j in albergues)(cp[j]*y[j])>=sum (i in afectados)(a[i]);
45
46 //rango maximo de cobertura de cada albergue
47 forall (i in afectados, j in albergues)
48     x[i][j]*d[i][j]<=r[j]*y[j];
49
50 //para atender la zona afectada i se debe habilitar un albergue
51
52 forall (i in afectados,j in albergues)
53     x[i][j] <= y[j];
54
55 }

```

Anexo H. Código del modelo matemático obtenido: captura de pantalla de CPLEX Studio IDE 12.8.0

N°	Instituciones educativas
1	Belisario peña Piñeiro
2	Alfonso López Pumarejo
3	San Sebastián
4	Eustaquia palacio
5	Divino niño
6	Normal Superior Jorge Isaac
7	Libardo Madrid Valderrama
8	Carlos Villafañe
9	Nuestra Señora del Chiquinquirá
10	John F. Kennedy
11	Tomas Ignacio Esquivel
12	Coliseo cubierto Iván Muñoz Villa
13	Centro de integración ciudadano

N°	Zonas afectadas
1	Humberto González N.
2	Los Ilanitos
3	San José Obrero
4	José Joaquín Jaramillo
5	Simón Bolívar
6	Obrero
7	La Ermita
8	La Nueva Ermita
9	Guerrero
10	Ipira
11	El Prado
12	La Ceiba
13	Villa Rosita
14	José María Barbosa
15	Torrijos
16	Tres De Mayo
17	El Portal
18	Rey Medio
19	Rey Bajo
20	Arrayanes
21	Rey alto
22	Doña Emma
23	La Asunción
24	Las Colinas
25	San Sebastián
26	Carlos Holguín Sardi
27	Unión De Vivienda Popular

Anexo I. Lista de instalaciones candidatas y zonas afectadas con sus respectivos números. Fuente: creación del autor

X_{ij}	Y_j	ALBERGUES												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ZONAS AFECTADAS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ALBERGUES Y_j													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Anexo J. Resultados del modelo matemático. Fuente: creación del autor



Anexo K. Mapa de Roldanillo con ubicación de las zonas afectadas, albergues habilitados e instalaciones propuestas fuente: Creación del autor.