

**LOCALIZACIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE AYUDA
HUMANITARIA EN UN MUNICIPIO DEL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA
CASO: INUNDACIONES**

**LAURA ALEXANDRA PARRA FLOREZ
MARIA ALEJANDRA BOLAÑOS CARMONA**

DIRECTOR

**MSc. JULIÁN GONZÁLEZ VELASCO
MSc. CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL – VALLE**

2020

**LOCALIZACIÓN DE UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE AYUDA
HUMANITARIA EN UN MUNICIPIO DEL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA
CASO: INUNDACIONES**

**LAURA ALEXANDRA PARRA FLOREZ
MARIA ALEJANDRA BOLAÑOS CARMONA**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE INGENIERA INDUSTRIAL**

**DIRECTOR
MSc. JULIÁN GONZÁLEZ VELASCO
MSc. CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL – VALLE
2020**

DEDICATORIA

A Dios por permitirnos llegar a este momento tan especial de nuestra vida, por los triunfos y momentos difíciles que nos ha enseñado a valorarlo más.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional en todo el proceso de la carrera y por todos sus sacrificios que han hecho para hacernos mejores personas.

AGRADECIMIENTOS

A toda la familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento nos motivaron y de una u otra forma nos acompañan en todos nuestros sueños y metas.

A la Universidad del Valle, los profesores por sus enseñanzas y conocimiento compartido a lo largo de toda nuestra formación académica y al personal administrativo por todo su apoyo.

A nuestros directores de trabajo de grado, por su motivación, constante apoyo, múltiples enseñanzas y disposición a lo largo de la realización del proyecto.

A nuestra compañera de proyecto, por haber formado un excelente equipo de trabajo.

Al personal de la Alcaldía Municipal, al Cuerpo de Bomberos Voluntarios y a la Cruz Roja del municipio de Roldanillo por su apoyo y colaboración.

A todos en verdad muchas gracias... ¡Lo logramos!

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DEL MUNICIPIO CASO DE ESTUDIO	11
1.1. Identificación de centros de acopio	18
2. CRITERIOS PARA LOCALIZAR UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA	20
3. EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES IDENTIFICADAS	25
3.1. Resultados	27
4. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	28
4.1. Supuestos	29
4.2. Aplicación al caso de estudio	30
4.3. Datos	30
4.4. Resultados	31
4.5. Análisis de escenarios	32
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
ANEXOS	42

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización de Roldanillo en la región norte del Valle.	8
Ilustración 2. Consolidado anual de emergencias.	13
Ilustración 3. Localización de ríos urbanos.....	14
Ilustración 4. Localización Río El Rey en zona urbana.....	14
Ilustración 5. Estado de viviendas afectadas 2013.....	15
Ilustración 6. Rango de edad/ Género población afectada 2013.	15
Ilustración 7. Localización Zanjón de Ipira zona urbana.....	16
Ilustración 8. Localización Río Roldanillo y Cáceres zona urbana.	16
Ilustración 9. Rango de edad/género población afectada 2010, Río Roldanillo. .	17
Ilustración 10. Estado de viviendas población afectada 2010, Río Roldanillo.	17
Ilustración 11. Localización geográfica de los centros de acopio por sector.	19
Ilustración 12. Criterios para la ubicación y selección de un albergue temporal..	22
Ilustración 13. Árbol de jerarquías.	26
Ilustración 14. Priorización de criterios.	27
Ilustración 15. Ranking de alternativas.....	27
Ilustración 16. Localización de instalaciones candidatas.....	28

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sectorización de los barrios y viviendas en riesgo.....	12
Tabla 2. Puentes zona urbana de Roldanillo.	18
Tabla 3. Centro de acopio por sector.....	19
Tabla 4. Criterios para la localización de instalaciones según autores.	23
Tabla 5. Escala de preferencias.....	26
Tabla 6. Priorización de criterios.....	27
Tabla 7. Ranking de alternativas.....	27
Tabla 8. Datos de la variable D_{ij} dados en Km.	30
Tabla 9. Datos de la variable K_j dados en unidad de Kit.	30
Tabla 10. Resultado de asignación de demanda.	31
Tabla 11. Resultado si se abre un CEDI en un lugar i	31
Tabla 12. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con $P=2$	32
Tabla 13. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con $P=3$	33
Tabla 14. Área de los centros de distribución disponible para almacenamiento...	33
Tabla 15. Patrón de arrume por pallet.	34
Tabla 16. Capacidad de los centros de distribución.....	34
Tabla 17. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con capacidad limitada en $P=1$	34
Tabla 18. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con capacidad limitada y aumento de demanda en $P=1$	35

INTRODUCCIÓN

Los desastres naturales en el mundo han hecho parte de todas las generaciones de la humanidad, de la existencia y del desarrollo humano; es importante mencionar que, como consecuencia, dejan pérdidas invaluable, millones de muertos y cuantiosos daños a la infraestructura (Flórez Oviedo, N. E., 2018).

Precisamente en la última década, el mundo afrontó distintas catástrofes naturales que le arrebataron la vida a alrededor de 425 mil personas y en muchos casos los países aún sufren sus efectos. De acuerdo con información difundida por el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR), cada segundo una persona tiene que huir por culpa de un desastre natural y 22.5 millones de personas viven desplazadas a causa de las condiciones climáticas (Statista Research Department, 18 sept. 2019).

Por otro lado, Colombia actualmente se enfrenta a un gran número de inundaciones por año, afectando a miles de personas y generando un gran impacto en la calidad de vida de la población como lo fue la ola invernal que vivió el país en 2010-2011, la cual dejó como resultado 568.438 viviendas afectadas de las cuales 27.308 fueron en el Valle del Cauca (CEPAL, 2013).

Debido a las situaciones presentadas cada año en los diferentes departamentos del país, se hace evidente que en Colombia existe una ausencia de la planeación estratégica de la atención y respuesta a desastres por inundación principalmente a nivel municipal. Además, dentro de los principales problemas a los que se enfrentan las instituciones es el desconocimiento del número de afectados, que conlleva a no reconocer la demanda de ayuda requerida, las malas donaciones que provocan pérdida de tiempo en la elección de lo que es útil (González Lúa, E., 2015).

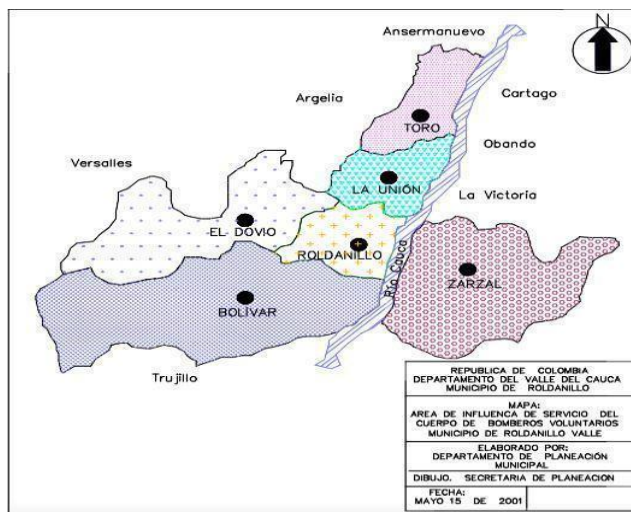
Por otra parte, la ONU y el Banco Mundial reportan a Colombia como el tercer país de mayor riesgo climático en el mundo, evidenciando la urgencia de incorporar una concepción de resiliencia en los procesos de planificación del desarrollo, en todos los ámbitos de la sociedad. (Sedano et al, 2012) Teniendo en cuenta que según el Dane el índice de pobreza supera el 46% en las ciudades y 65% en el campo, se vive ante una situación crítica de vulnerabilidad (DANE, 2012).

Además, en el periodo 2010-2011, el fenómeno de La Niña intensificó las temporadas de lluvias, dejando 5,2 millones de personas afectadas (11,3% de la población del país) en 1.027 municipios (87%), incluyendo el Distrito Capital. Las áreas de cultivo anegadas superaron el millón de hectáreas y las pérdidas económicas sobrepasaron los US \$4.870 millones (Cruz, K. S., Escobar, Y. C., & Díaz, Á. J. Á. (2015).

Frecuentemente, los municipios de Roldanillo, Zarzal, Bolívar, El Dovio y La Unión, ubicados al norte del departamento del Valle de Cauca (Ilustración 1), son afectados continuamente por este fenómeno (Gobernación del Valle del Cauca, 2018). El

secretario de Gestión de Riesgo del Valle del Cauca en el año 2018, expuso que estos municipios se ponen en alerta durante la ola invernal por la probabilidad de crecientes súbitos de algunos ríos que drenan al Río Cauca.

Ilustración 1. Localización de Roldanillo en la región norte del Valle.



Fuente: Departamento de Planeación Municipal de Roldanillo, 2001.

En cuanto a Roldanillo, es un municipio ubicado sobre el costado oriental de la Cordillera occidental, y al margen Occidental del río Cauca con una extensión de 217 Kms2 y con una población estimada de 32.035 habitantes de los cuales el 47,8% son hombres y el 52.2% son mujeres. El 77,1% de la población está en la parte urbana y el 22,9% en parte rural según informe económico de la Cámara de Comercio de Cartago (2019) con datos del DANE.

Posee una altura promedio de 966 m.s.n.m y una temperatura media de 24°C. Los periodos lluviosos del año son periódicamente abril - mayo y octubre - noviembre. Sin embargo, desde el año 2007 ha venido cambiando estos periodos y ha variado de manera indistinta en cualquier época del año (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2012).

El municipio está determinado por una condición de riesgo ya que la zona urbana del municipio, se encuentra cruzada por las quebradas Cáceres, Roldanillo, Río Rey y el Zanjón de Ipira, con asentamientos poblacionales, hasta la orilla de estos, por lo que en la época invernal se encuentra expuesto a fenómenos naturales como intensas lluvias, las cuales desencadenan inundaciones que afectan significativamente tanto la población del perímetro urbano como la de la zona rural averiando sus viviendas y enseres, lo que perjudica su núcleo familiar y socioeconómico (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2012).

En el año 2010 la Subsecretaría de Atención y Prevención de Desastres del Departamento indicó inundación en siete barrios del municipio dejando a 90 familias afectadas, 4 viviendas colapsadas y 12 averiadas. En el año 2011 la alcaldía

presentó un censo de damnificados tras inundaciones de 600 familias afectadas entre la zona rural y el casco urbano del municipio (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2012).

Debido a las condiciones del cambio climático y el deterioro de los cauces por parte de los habitantes ribereños, la situación se ha recrudecido, lo que genera que el impacto en la sociedad sea cada vez mayor (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2012). En marzo de 2019 las fuertes lluvias ocasionaron desbordamiento del río Roldanillo y el zanjón de Ipira, lo que desencadenó inundaciones en 7 barrios, dejando a 28 familias damnificadas y 12 viviendas afectadas (Decreto N° 024, 2019). La oficina municipal de Gestión del Riesgo entregó un informe en el que se anuncia que en el mes de junio el 50% de la población se encontró afectada debido a las intensas lluvias que provocaron desbordamientos en los ríos Roldanillo, el rey, Cáceres, Cauca y el Zanjón de Ipira, dejando 150 familias damnificadas, 300 viviendas afectadas, de las cuales en 40 viviendas perdieron todos sus enseres además de la afectación presentada en el servicio público vial por lo que fue decretado la situación de Calamidad Pública (Decreto N° 037, 2019).

En el municipio de Roldanillo alrededor de 4000 habitantes son vulnerables a inundaciones, según la matriz de amenazas del área urbana, más de 1100 familias podrían perder sus bienes, aproximadamente 200 personas pueden perder la vida y al menos 400 personas pueden resultar heridas (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

Actualmente, el municipio de Roldanillo carece de un Plan Local de Emergencias y Contingencias PLEC vigente (Contraloría Departamental del Valle del Cauca, 2012), el cual se debe realizar para prevenir, mitigar y tener una mayor velocidad de respuesta ante desastres de inundaciones. La alcaldía no ha trabajado en la construcción del PLEC debido a que no cuentan con herramientas que faciliten esta labor, es por esto que se considera que el municipio no está preparado para afrontar inundaciones de gran magnitud por lo que al no estar en capacidad de responder a una situación así, puede derivar en una crisis humanitaria y económica.

Teniendo en cuenta los antecedentes del municipio respecto a desastres hidrológicos, este carece de centros de distribución de ayuda humanitaria que disminuyan el tiempo de recolección y distribución de éstas hacia los lugares donde se encuentran refugiados los damnificados.

Con el fin de reducir el sufrimiento y carencia de las personas afectadas, se propone la localización de un centro de distribución que cumpla con las condiciones para almacenar ayudas alimentarias con capacidad de cubrir la cantidad de personas afectadas y permita proveer en el menor tiempo posible las ayudas humanitarias a los afectados para garantizar la supervivencia, así como su pronta recuperación.

Por esta razón, en este proyecto se propone un modelo matemático que facilite la localización de instalaciones y la distribución de ayudas humanitaria como parte

fundamental de la logística en atención a desastres por inundación en el municipio de Roldanillo, el cual fue uno de los municipios afectados en la Ola invernal del 2010 en el departamento del Valle del Cauca.

¿Cuál es la mejor alternativa para localizar un centro de distribución temporal de ayuda humanitaria en la atención de emergencias por inundación en el municipio de Roldanillo, Valle del Cauca?

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la localización de un centro de distribución temporal de ayuda humanitaria que contribuya a minimizar el tiempo de respuesta a la población damnificada en un municipio del norte del Valle del Cauca.

Objetivos específicos

- Caracterizar las zonas de mayor riesgo del municipio objeto de estudio.
- Definir los criterios o factores que inciden la localización de un centro de distribución temporal de ayuda humanitaria.
- Evaluar los lugares potenciales para la ubicación del centro de distribución de ayuda humanitaria.
- Formular un modelo matemático que permita localizar el centro de distribución de ayuda humanitaria en el municipio caso de estudio.

Para definir la adecuada localización del centro de distribución de ayuda humanitaria en el municipio caso de estudio, se trabajará de acuerdo a la metodología descrita a continuación:

- En el numeral 1 se caracterizará las zonas de mayor riesgo del municipio caso de estudio, recopilando información de los grupos de socorro, oficina de gestión de riesgo, planeación municipal, DANE, oficina de SISBEN y secretaría de gobierno.
- En el numeral 2 se definen los criterios o factores que inciden la localización de un centro de distribución de ayuda humanitaria, realizando una revisión de la literatura.
- En el numeral 3 se determinarán los lugares potenciales por medio de entrevistas a expertos y posteriormente serán evaluados con base en los criterios establecidos, mediante la herramienta AHP para acotar las opciones.
- Finalmente, en el numeral 4 se localizará el centro de distribución por medio de un modelo matemático programado en lenguaje AMPL el cual determinará la mejor ubicación para este.

1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE RIESGO DEL MUNICIPIO CASO DE ESTUDIO

En el municipio de Roldanillo las inundaciones y/o avenidas torrenciales se presentan en los valles aluviales de las quebradas Aguablanca, Cáceres, Roldanillo, El Rey, el área del Distrito RUT, y la margen izquierda del Río Cauca que corresponde al municipio, allí por la misma topografía del terreno que se asemeja a una batea deja en riesgo parte de la población del área urbana, que en caso de desborde del río, no alcanza a evacuar sus predios por la torrencialidad de las corrientes, ya que en ellos se produce el arrastre de sedimentos (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

El casco urbano del municipio de Roldanillo se localiza en zona plana, con un área 368,5 hectáreas y un perímetro de 8.903 kilómetros, es abastecido por el acueducto de ACUAVALLE que lo surten las quebradas Cáceres y Roldanillo y el acueducto el Rey surtido por la quebrada el Rey, cubriendo los sectores El Guachal, La Ceiba, Rey Alto, Rey Medio, Rey Bajo y el barrio Unión de Vivienda Popular que se abastece de los dos acueductos el rural y el municipal (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

El alcantarillado municipal cubre 5.536 viviendas en el área urbana, presenta un cubrimiento del 98%, el resto posee letrinas o tasas sanitarias. Debido a la densidad de la población y al desarrollo de nuevos centros urbanísticos, los colectores existentes muestran deficiencias para recoger nuevos caudales (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

El municipio no cuenta con alcantarillado para aguas lluvias, solamente evacúa aguas servidas, lo que ocasiona que, en época de lluvias, este conduzca aguas combinadas. En cuanto al manejo de aguas escurrientías, estas se combinan con las aguas servidas y en algunos sitios del municipio acrecientan el problema de inundación y se forman avenidas torrenciales que afectan la población urbana. En algunos sectores, el alcantarillado se encuentra en mal estado debido al envejecimiento de las redes o la deficiencia en los diámetros provocando hundimiento de las calles y obstrucciones (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

También cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante lagunas de oxidación ubicadas a dos kilómetros del casco urbano, donde llegan aproximadamente 55 lts/seg. Según ACUAVALLE, el agua sale con un 75% de pureza, lo cual se vierte al canal interceptor y son utilizadas para riego (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

El municipio no cuenta con información estadística actualizada, debido a que las emergencias registradas por año, no corresponden a la misma fuente hidrográfica, por tanto, la población afectada varía según el sector. Además, no en toda ocasión se realiza los respectivos censos lo cual dificulta el análisis de la información frente

al riesgo e impide tener un panorama de prevención y/o preparación por parte del municipio al no conocer la proporción de la población a la cual deben dar respuesta oportuna durante una emergencia.

Para el municipio caso de estudio se tomará en cuenta aquellas zonas que se caracterizan por presentar alta vulnerabilidad a la exposición de inundaciones con base a la matriz de vulnerabilidad del PBOT vigente y, además, se considerará que la población cuenta con poca capacidad de recuperación ante una situación de emergencia, de este modo, se tendrán como afectados a las familias que habitan los barrios más vulnerables a este tipo de eventos. Para lo anterior, se agrupan los barrios vulnerables en 7 sectores y se consolida el número de familias afectadas por cada sector (Tabla 1). Esto, a partir de datos tomados del censo realizado por el SISBEN en el año 2008 (Viviendas en riesgo, SISBEN, 2008).

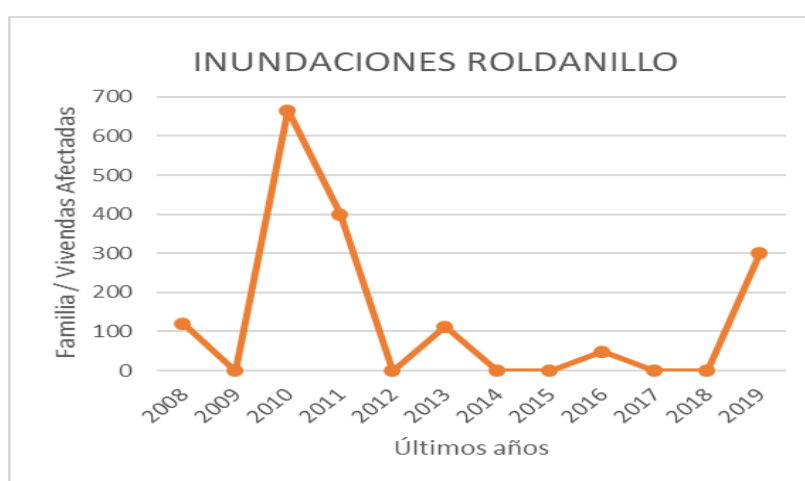
Tabla 1. Sectorización de los barrios y viviendas en riesgo.

SECTOR	BARRIOS	VIVIENDAS EN RIESGO
1	El prado, Torrijos, Las colinas, Arrayanes, Jose Maria Barbosa	450
2	La Ceiba, El Portal, Doña Emma, La Playita, El Rey Alto, Adolfo León Gomez, 3 de mayo	390
3	San Jose Obrero, La Ermita, La nueva Ermita, Las Cruces, Guerrero, Ipira	542
4	Humberto Gonzalez, Llanitos, Obrero, Jose Joaquin Jaramillo, Ciudad Verde, Simón Bolívar	679
5	Villa Rosita, Matadero, Sindical, La Asunción, Chiminango, Las Brisas, La campiña, Cañaverales, Los Alpes	619
6	Rodrigo Lloreda, San Nicolas, San Sebastian, Eustaquio Palacio, Los Pinos	682
7	Carlos Holguin, El Rey, Alcazar, Unión de Vivienda Popular, El Paraiso	593
TOTAL		3955

Fuente: Elaboración propia (División Política Urbana, PBOT Roldanillo, 2000).

La Ilustración 2, muestra un consolidado de viviendas afectadas a causa de inundaciones en el municipio, donde en los últimos años el desastre del 2010 ha sido el más significativo en la región, dejando 665 viviendas afectadas, la unidad de gestión de riesgo entregó ayudas alimentarias y no alimentarias tales como: enseres, subsidios de arrendamiento, materiales y subsidios para recuperación de viviendas por valor de \$61.799.216. En los años 2014, 2015, 2017 y 2018 no se reportaron inundaciones y en el año 2019 donde fuertes lluvias tomó a la población desprevenida afectando 300 viviendas, averiando vías de acceso y puentes de comunicación. La unidad de gestión de riesgo entregó ayudas alimentarias y no alimentarias por valor de \$135.720.000. (UNGRD, 2019).

Ilustración 2. Consolidado anual de emergencias.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres UNGRD del 2008 al 2019.

La zona urbana del municipio de Roldanillo es atravesada por el Río Rey, Zanjón Ipira, Río Roldanillo y la quebrada Cáceres (Ilustración 3), donde se evidencian asentamientos poblacionales hasta la orilla de estos, por lo que en época invernal se encuentra expuesto a fenómenos como intensas lluvias, las cuales desencadenan inundaciones que afectan significativamente la población, viviendas y enseres. (CLOPAD Roldanillo, 2010)

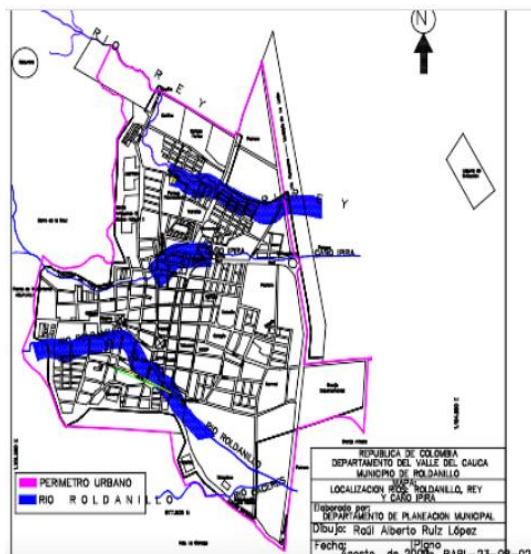
Estas quebradas al pasar cerca al municipio ocasionan estragos en las viviendas y ponen en riesgo la vida de sus habitantes, al encontrar un material poco consolidado arrastran suelo, roca y barro; como ocurre continuamente con las quebradas de nuestro municipio depositando grandes cantidades de sedimentos sobre las calles. (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

El río el rey se encuentra en una zona desprotegida en su mayor extensión, y aún se continúa deforestando, por lo cual se presenta erosión severa, avenidas torrenciales, desbordamiento del río por formación de palizadas y colmatación del mismo. Tiene una superficie de 2000 hectáreas aproximadamente (Alcaldía

Municipal de Roldanillo, 2000) y comprende el área geográfica de los barrios, El Guachal, El portal, la ceiba, Doña Emma, Arrayanes, 3 de mayo, Unión de vivienda popular, El rey y El Paraíso, haciendo de estas zonas de alto riesgo (Ilustración 4).

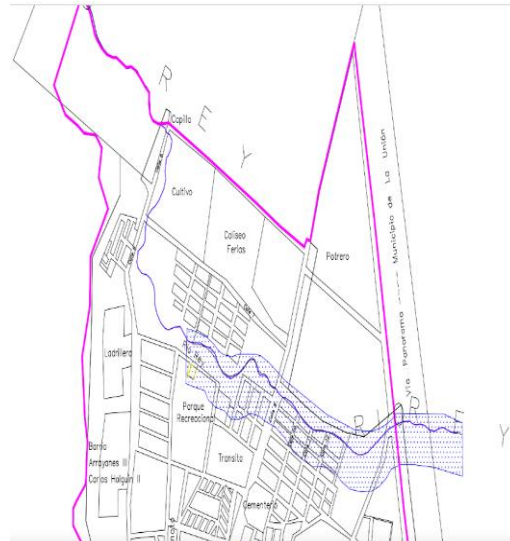
Desafortunadamente la mayoría de las personas en riesgo en este sector pertenecen al estrato 1 y 2 por lo que su condición socioeconómica no es favorable, generando mayor vulnerabilidad ante la ocurrencia de alguna emergencia ya que su recuperación sería más difícil y para ello requieren de ayudas humanitarias. (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

Ilustración 3. Localización de ríos urbanos.



Fuente: PBOT, Cartografía 2002, Secretaría de Planeación municipal.

Ilustración 4. Localización Río El Rey en zona urbana.

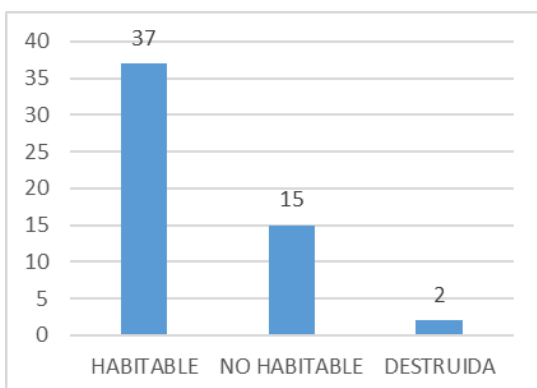


Fuente: Localización de ríos urbanos, PBOT, Cartografía 2002, Secretaría de Planeación municipal.

Según el censo realizado por las unidades de socorro durante la emergencia de junio del 2013, resultaron afectadas 54 Familias con un total de 197 personas a causa del desbordamiento del río el Rey, de las cuales el 28% de las viviendas fueron caracterizadas como No Habitable solicitando ayudas alimentarias, materiales para rehabilitar sus viviendas y subsidios de arrendamiento, y un 4% como destruida con necesidad de reubicación (Ilustración 5) (Cruz Roja Roldanillo, 2013).

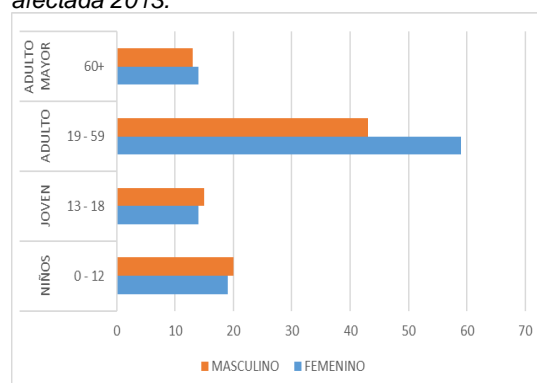
También, se pudo evidenciar que de la población afectada el 52% son adultos entre 19 y 59 años de edad (Ilustración 6). El 54% del total de los afectados está representado por Mujeres y el 34% es población que requiere atención prioritaria y en algunos casos asistencia médica como lo son, adultos mayores de 60 y niños menores de 12 años (Cruz Roja Roldanillo, 2013).

Ilustración 5. Estado de viviendas afectadas 2013.



Fuente: Elaboración propia, datos tomados de censos realizados durante emergencia del 2013.

Ilustración 6. Rango de edad/ Género población afectada 2013.



Fuente: Elaboración propia, datos tomados de censos realizados durante emergencia del 2013.

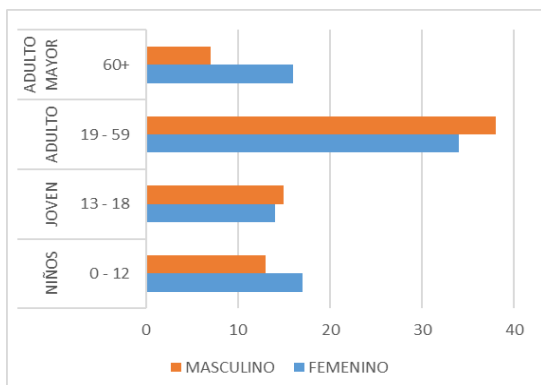
Por otra parte, el Zanjón de Ipira tiene un área de drenaje de 1,55 kilómetros cuadrados, su longitud hasta la entrada al casco urbano en el sector de Villa Emma es de 3080 metros. Una de las grandes preocupaciones son los caudales que se presentan en época de invierno hasta 3,45 metros cúbicos/segundo en el momento de la precipitación. (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000)

El cauce natural de este zanjón se estrecha como consecuencia de las construcciones que se encuentran a la orilla y sobre parte de su lecho, además, cada vez, este pierde su capacidad, volviéndose más estrecho por falta de descolmatación del cauce, por tal motivo, los habitantes de los sectores: La nueva Ermita, Ipira, Jose Maria Barbosa, El prado, Omar Torrijos, el alcázar, San Sebastián y Carlos Holguín, así como, la Universidad Antonio Nariño, la estación de servicio Terpel, Biomax y la subestación de energía EPSA, están expuestos a una gran amenaza por inundación y avenidas torrenciales (Ilustración 7). En algunos sectores se presentan deficiencias en cuanto a infraestructura, manejo y evacuación de aguas lluvias lo que acrecienta el problema. (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2000).

Uno de los puntos críticos por el desbordamiento del Zanjón de Ipira aunado por el colapso del sistema de drenaje de aguas lluvias, son el sector comprendido por las calles 5° y 6° con carrera 3° y 4°, calle 9° con carrera 1° y 2° y calle 10° entre carrera 2° y 3° hasta la Universidad, donde por estrechamiento del cauce se aposenta el agua, inundando la vía de acceso al municipio. (CLOPAD Roldanillo, 2010).

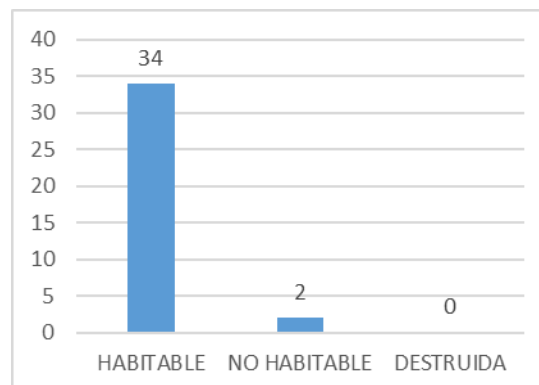
En la Ilustración 8, se observa el río Roldanillo donde atraviesa el municipio por los barrios San José Obrero, La Ermita, Humberto, Los Llanitos, Guerrero, José Joaquín Jaramillo, Simón Bolívar, El Obrero, La asunción y Los Alpes, generando impacto en diversos sectores de los mismos, principalmente en los puentes ya que estos generan graves daños afectando la movilidad, dejando localidades incomunicadas, viviendas averiadas y familias damnificadas por el desbordamiento del río y la cantidad de sedimentos que deja a su paso. (CLOPAD Roldanillo, 2010).

Ilustración 9. Rango de edad/género población afectada 2010, Río Roldanillo.



Fuente: Elaboración propia, datos tomados de censos realizados durante emergencia del 2010 por el Río Roldanillo.

Ilustración 10. Estado de viviendas población afectada 2010, Río Roldanillo.



Fuente: Elaboración propia, datos tomados de censos realizados durante emergencia del 2010 por el Río Roldanillo.

El municipio cuenta con el Comité Municipal para Gestión de Riesgo de Desastres CMGRD conformado entre otros por la Administración Municipal en cabeza del Alcalde y secretaria de Gobierno, apoyados por un Asesor del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (Alcaldía Municipal de Roldanillo, 2008). El comité cuenta con la participación de organismos de socorro como la Cruz Roja Colombiana, la Defensa Civil y el Cuerpo de Bomberos Voluntarios, que a través de los años y con la experiencia ha sido de vital apoyo para el municipio en caso de emergencias, así también como la Policía Nacional, el Ejército Nacional, representantes de empresas de Servicios Públicos respaldados por el Fondo Nacional de Calamidades FNC el cual apoya al municipio de manera económica con envío de giros directos para atención de la emergencia. (UNGRD,2019).

En la Tabla 2 se recopiló la ubicación de los puentes localizados en diferentes puntos del municipio clasificados por unidad hidrográfica los cuales durante crecientes súbitas es frecuentemente afectada su infraestructura debido a la fuerza de las aguas que además arrastran todo tipo de material sólido como basura, troncos y todo aquello que encuentre a su paso que al impactar contra la estructura del puente lo debilita e incluso logra destruirlo (aumentando el riesgo aguas abajo) afectando la movilidad de una localidad a otra (CLOPAD Roldanillo, 2010).

Tabla 2. Puentes zona urbana de Roldanillo.

RIO REY	ZANJÓN DE IPIRA	RIO ROLDANILLO
El Portal vía El Dovio	Calle 4° entre carrera 3°A y 4°, Nueva Ermita	Calle 1°, San Jose Obrero
Carrera 7° norte con calle 6°, Los Arrayanes	Calle 5 con carrera 4°, Nueva Ermita	Calle 4° entre carrera 8° y 9°, La Ermita
Calle 7° entre carrera 7°A y 6° norte, Doña Emma	Calle 6° entre carrera 3° y 4°, El Prado	Calle 6° entre carrera 8° y 9°, La Ermita
Calle 9° entre carrera 5° y 7° norte, Unión de Vivienda Popular	Calle 13° entre carrera 2° y 3° norte, Villa Sofia	Carrera 9° entre calle 6° y 7°, Llanitos
Carrera 7° norte y la panorama, El Rey		Calle 7° entre carrera 9° y 10°, Jose Joaquín Jaramillo Calle 8° entre carrera 9° y 10°, Jose Joaquín Jaramillo Calle 9° con carrera 10°, Guerrero Calle 10° con carrera 10° glorieta, La Asunción Carrera 10° cruce con Río Cáceres, Villa Rosita

Fuente: Elaboración Propia.

1.1. Identificación de centros de acopio

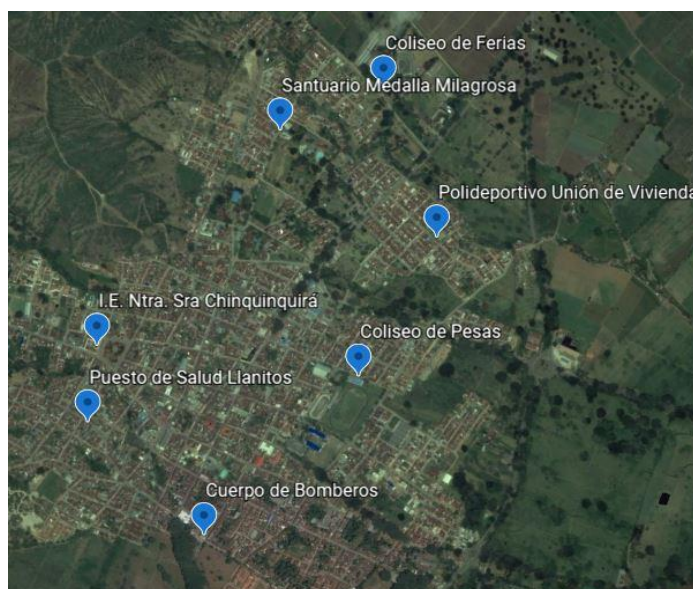
Uno de los principales objetivos de la logística humanitaria es disminuir los tiempos de respuesta a la población damnificada por una emergencia (Goyes Lesmes, J. A. 2016). Partiendo de lo anterior, se determinó la ubicación estratégica de un centro de acopio por cada sector (Tabla 3) para la pronta entrega de ayuda humanitaria a los barrios afectados, de esta manera se escogieron lugares conocidos por las personas de tal forma disminuya su desplazamiento para la entrega de las ayudas (Ilustración 11). Adicional a esto, estas instalaciones fueron consideradas por poseer una infraestructura adecuada para el fin dispuesto y por no encontrarse en área de riesgo de inundación.

Tabla 3. Centro de acopio por sector.

SECTOR	CENTRO DE ACOPIO
1	Santuario de la medalla Milagrosa
2	Coliseo de Ferias
3	I.E. Nuestra Señora de Chinquinquirá
4	Puesto de salud los Llanitos
5	Cuerpo de Bomberos Voluntarios
6	Coliseo de pesas
7	Polideportivo Unión de vivienda

Fuente: Elaboración propia (por medio de Google Map).

Ilustración 11. Localización geográfica de los centros de acopio por sector.



Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth

Para concluir, se puede decir que el municipio objeto de estudio, es caracterizado por presentar alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores como lo son las inundaciones y/o avenidas torrenciales, ya que gran parte de su población está expuesta a sufrir sus efectos debido a la cantidad de viviendas que se encuentran en cercanía al cauce de las diferentes unidades hidrográficas que atraviesan la zona urbana del municipio. Esta problemática se hace evidente por la ausencia de planes de prevención, mitigación y atención de desastres por parte de la administración municipal y coordinación de los diferentes grupos de socorro, lo

cual se ha visto reflejado en las emergencias presentadas en años anteriores donde la población se ha visto fuertemente afectada y el proceso de recuperación socio económico ha sido lento.

Por lo anterior, se determinó la localización de centros de acopio en cada sector del municipio, con el fin de brindar a la población afectada una rápida atención en términos de entrega de ayuda humanitaria.

2. CRITERIOS PARA LOCALIZAR UN CENTRO DE DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA

En los últimos años la logística humanitaria ha sido un campo de interés para la academia y para los organismos de socorro, por lo tanto, los principales estudios están enfocados en el establecimiento de instalaciones, almacenamientos, estimación de demanda y gestión de envío de productos (Reyes Rubiano, L.S.,2015).

En situación de emergencia la localización de instalaciones es un factor crítico para la gestión, puesto que una óptima red de infraestructura puede contribuir a que el modelo de distribución de recursos sea funcional. La definición de zonas potenciales depende de las características de la zona y del riesgo asociado a ésta por lo cual en ocasiones se definen puntos temporales debido a que existe una probabilidad de riesgo, es decir, relocalización de instalaciones (VanRooyen & Leaning, 2005).

Un problema de localización consiste en determinar la posición de uno o más servidores que optimicen alguna medida de efectividad con respecto a un conjunto de ubicaciones ya conocidas. Estas ubicaciones son comúnmente llamadas centros de demanda. La Teoría de Localización, como cualquier otra disciplina de la Investigación Operativa, desarrolla modelos matemáticos que reflejan con la máxima confiabilidad posible la situación real que se está considerando, con soluciones adecuadas al problema real que se modela. (Fernández, F. R. et al, 2001).

En ocasiones resulta difícil realizar una clasificación de los problemas considerados dentro de un campo de investigación, los problemas de localización pueden agruparse en tres familias: de localización continua; de localización discreta y de localización en redes. (Fernández, F. R. et al, 2001).

La localización continua considera problemas de localización en los cuales las ubicaciones pueden estar colocadas en cualquier lugar de un espacio continuo, típicamente en un espacio euclidiano. La localización discreta considera que el conjunto de lugares candidatos para ubicar el servicio o servicios es finito. Finalmente, los problemas de localización donde los puntos de demanda están sobre un grafo y se puede ubicar el servicio sobre los nodos o aristas del mismo, se denominan problemas de localización en redes. (Fernández, F. R. et al, 2001).

Esta investigación aborda un problema de localización discreta, la cual determina un conjunto de instalaciones o zonas óptimas para suministrar un bien o un servicio y a su vez se encarga de determinar la manera en que van a ser suministrados. La localización de instalaciones es la decisión crítica en la gestión post-desastre de una inundación, dado que es la decisión estratégica que direcciona y define la red de instalaciones, permitiendo u obstaculizando el proceso de distribución de personal especializado en ayuda humanitaria. La definición de los puntos de localización hace parte de la estrategia para la gestión post-desastre, pues de la localización depende el éxito en las operaciones de la cadena de suministro enfocadas en la asistencia de calamidades presentes en una situación post-desastre (Reyes Rubiano, L.S.,2015).

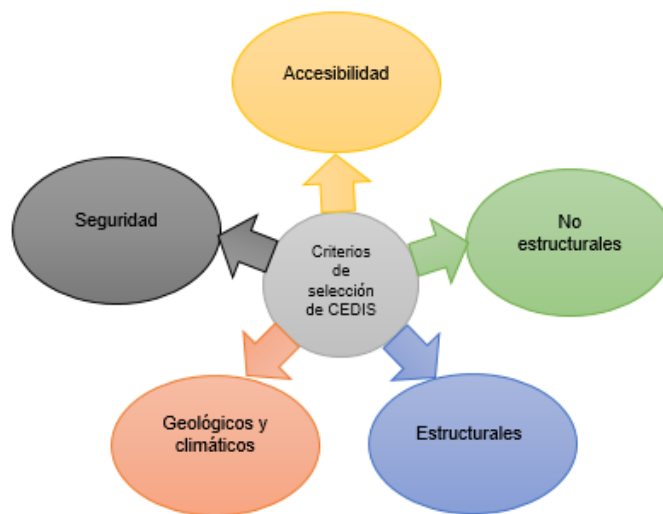
Un problema importante y que ha sido muy estudiado dentro de la logística es el Problema de Localización de Instalaciones o FLP por sus siglas en inglés Facility Location Problems que consiste en ubicar físicamente de manera eficiente un conjunto de facilidades, de forma que sea accesible para poder satisfacer la demanda de un grupo de personas que han sido afectadas por un desastre natural y puedan sobrellevar los efectos del desastre, todo esto sujeto a una serie de restricciones como costos, distancias, demandas, etc., para seleccionar un conjunto óptimo de locaciones para instalar en los sitios candidatos, a modo de optimizar alguna función objetivo (Naranjo Vásquez, G.A.,2018).

Es importante determinar las ubicaciones de los centros de acopio en zonas seguras y que tengan fácil acceso, ya que en dicha instalación llegarán todos los suministros de ayuda necesarios, además que también alojan a los afectados para que puedan ser atendidos de manera rápida (Naranjo Vásquez, G.A.,2018).

Existen sitios especialmente diseñados para servir a los propósitos del almacenamiento de productos, con las características y el espacio adecuados para facilitar las diferentes tareas que se desempeñan dentro de una bodega, tales como la carga, descarga, movilización y manipulación de la mercadería, así como el área de almacenamiento propiamente dicha (OPS, 2001).

Para ubicar y seleccionar un tipo de albergue o centro de distribución se debe tener en cuenta además de la magnitud de la emergencia que se está atendiendo, los siguientes criterios (Ilustración 12), los cuales permitirán que la instalación cumpla con las condiciones adecuadas para que la población afectada tenga una vida digna y cuente con los suministros necesarios mientras se supera la emergencia (López Ramírez, J.,2012).

Ilustración 12. Criterios para la ubicación y selección de un albergue temporal.



Fuente: López Ramírez, J.,2012

Las zonas potenciales se deben caracterizar por permitir el suministro de bienes y servicios, el cumplimiento de condiciones topográficas como la inclinación del terreno que no puede ser mayor al 6% ni menor al 1%, además garantizar el sistema de eliminación de desechos y de evacuación de aguas residuales, de igual manera estas zonas deben estar ubicadas lejos de aguas estancadas, aguas residuales y de todo tipo de desechos, con el propósito de garantizar ambientes sanos (Reyes Rubiano, L.S.,2015).

En las zonas potenciales se ubican albergues o puntos de distribución, los cuales deben encontrarse al menor tiempo de viaje posible entre ellos, con el propósito de garantizar el fácil acceso y la pronta asistencia a la población afectada (López Ramírez, J.,2012).

Diversos autores tienen en cuenta múltiples características mínimas con las que deben contar los sitios potenciales a ser tomados como centro de acopio temporal para ser funcionales. A continuación, se describen las características principales a considerar:

- **Accesibilidad:** considera aspectos como facilidad en vías de acceso para transporte terrestre tanto municipal como intermunicipal, acceso a redes de comunicación (OPS, 2001).
- **No estructurales:** hace referencia al acceso a servicios públicos tales como acueducto, energía, alcantarillado, así mismo como las instalaciones sanitarias y disposición de residuos sólidos (OPS, 2001).
- **Estructurales:** se recomienda contar con estructura de concreto, pero así sea de otro material lo ideal es que ésta se encuentre en buenas condiciones de

conservación y mantenimiento o que por lo menos, no requiera de mayor reparación para poder ser utilizada. Además, se debe revisar las condiciones de iluminación, ventilación, estado de techo y puertas antes de ser puesta en funcionamiento (OPS, 2001).

- Geológicos y climáticos: es indispensable verificar peligros como la posibilidad de inundación, riesgo de deslizamiento y diversas deficiencias ambientales como cercanía a basureros y aguas estancadas las cuales deben ser eliminadas antes de usar el sitio (OPS, 2001).
- Seguridad: prever situaciones como alteración al orden público y casos de delincuencia común, que pongan en riesgo la seguridad de voluntarios y de los bienes almacenados (OPS, 2001).

La Tabla 4, presenta un grupo de criterios que fueron recopilados a partir de una revisión de la literatura y fueron factor común de múltiples investigaciones por lo que fueron tomados como referencia para la evaluación de los sitios potenciales y candidatos a convertirse en centro de distribución.

Tabla 4. Criterios para la localización de instalaciones según autores.

CRITERIOS	AUTORES							
	Morales & Palacios, 2017	Organización panamericana de la salud, 2001	Centros de acopio CEMEFI	Global communities - Colombia	Inter-Agency Network for education in emergences (INEE), 2010	Reyes Rubiano, L. S. (2015)	López Ramírez, J. (2011)	UNGRD, 2013
Accesibilidad	X	X	X	X	X	X	X	
No estructurales	X	X		X	X	X	X	
Estructurales	X	X	X	X	X		X	X
Geológico, Hidrológico y Climático	X	X			X	X	X	X
Seguridad	X	X	X	X	X		X	

Fuente: Elaboración propia.

El problema que aborda esta investigación involucra múltiples criterios en el proceso de toma de decisión para la adecuada localización del centro de distribución temporal. Este caso hace parte de los problemas de toma de decisión multicriterio que consiste en la selección entre un conjunto de alternativas factibles, basado en un conjunto de criterios cualitativos y/o cuantitativos (Toskano, G., & Bruno, G., 2005).

Aquellos problemas en que las alternativas de decisión son finitas se denominan problemas de Decisión Multicriterio Discreta. Estos problemas son los más comunes en la realidad y son los que se consideran en este documento. Los principales métodos de evaluación y decisión multicriterio discreto son: Ponderación Lineal (Scoring), Utilidad Multiatributo (MAUT) como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y el Análisis mediante el Proceso Analítico en Red (ANP), Relaciones de superación “outrankings” como el ELECTRE y PROMETHEE, donde el AHP es una

de las herramientas mayormente utilizadas por su practicidad y robustez (Toskano, G., & Bruno, G., 2005).

El Analytic Hierarchy Process (AHP) es un método que optimiza la toma de decisiones, diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples (Toskano, G., & Bruno, G., 2005). A continuación, se realiza un breve repaso del método AHP revelando sus principales ideas y sus características.

El AHP es un procedimiento basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso y su objetivo final consiste en optimizar la toma de decisiones (Saaty, 1980). Esta metodología se utiliza para resolver problemas con la necesidad de priorizar distintas opciones y posteriormente decidir cuál es la opción más conveniente. Las decisiones a ser tomadas con el uso de esta técnica, pueden variar desde simples decisiones personales y cualitativas hasta escenarios de decisiones muy complejas y totalmente cuantitativas (Abdessamad, T., 2007).

Mediante la construcción de un modelo jerárquico el AHP, permite organizar la información respecto a un problema, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar (Wind, Y., Saaty, TL 1980).

La metodología AHP es una poderosa y flexible herramienta de toma de decisiones multi-criterio, utilizada en problemas en los cuales necesitan evaluarse aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. (Abdessamad, T., 2007).

Según Wind y Saaty (1980), la herramienta AHP se fundamenta en:

- La estructuración del modelo jerárquico (representa el problema mediante la identificación de la meta, los criterios, subcriterios y alternativas).
- Priorización de los elementos del modelo jerárquico.
- Comparaciones binarias entre los elementos.
- Evaluación de los elementos mediante asignación de “pesos” (ponderación).
- Ranking de alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- Síntesis.
- Análisis de sensibilidad.

El AHP está diseñado como herramienta de modelización flexible y adaptable a las necesidades específicas de cualquier organización y permite, no sólo medir el grado de consistencia del decisor al realizar comparaciones sino, también, conocer la estructura del problema por medio de una jerarquía representativa. Además, el hecho de disponer de un software específico, SuperDecisions, permite automatizar su ya fácil metodología sin necesidad de disponer de grandes conocimientos matemáticos o informáticos (Abdessamad, T., 2007).

El AHP trata de una matriz de comparación por pares, donde el decisor determina su preferencia relativa de un concepto respecto a otro, e indica además la intensidad de dicha preferencia según la escala de preferencias (Wind, Y., Saaty, TL 1980).

Algunas de las ventajas de aplicar el método AHP en procesos de toma de decisiones son: facilita la reflexión, considera todas las alternativas, ayuda a estructurar el razonamiento, verifica su consistencia, permite alcanzar un resultado objetivo y fiable (Wind, Y., Saaty, TL 1980).

Por lo anterior el AHP fue elegido como herramienta que facilitará la toma de decisiones ya que se ciñe a la necesidad de evaluar múltiples alternativas bajo múltiples criterios para definir las mejores opciones a convertirse en centro de distribución de ayuda humanitaria como insumo para modelo matemático.

Para concluir, se puede decir que el municipio caso de estudio, no cuenta con instalaciones definidas para el almacenamiento de ayudas humanitarias, pero con base a los criterios recopilados en esta investigación, se pueden determinar locaciones candidatas para ser evaluadas por medio de la herramienta para la toma de decisiones multicriterio descrita anteriormente.

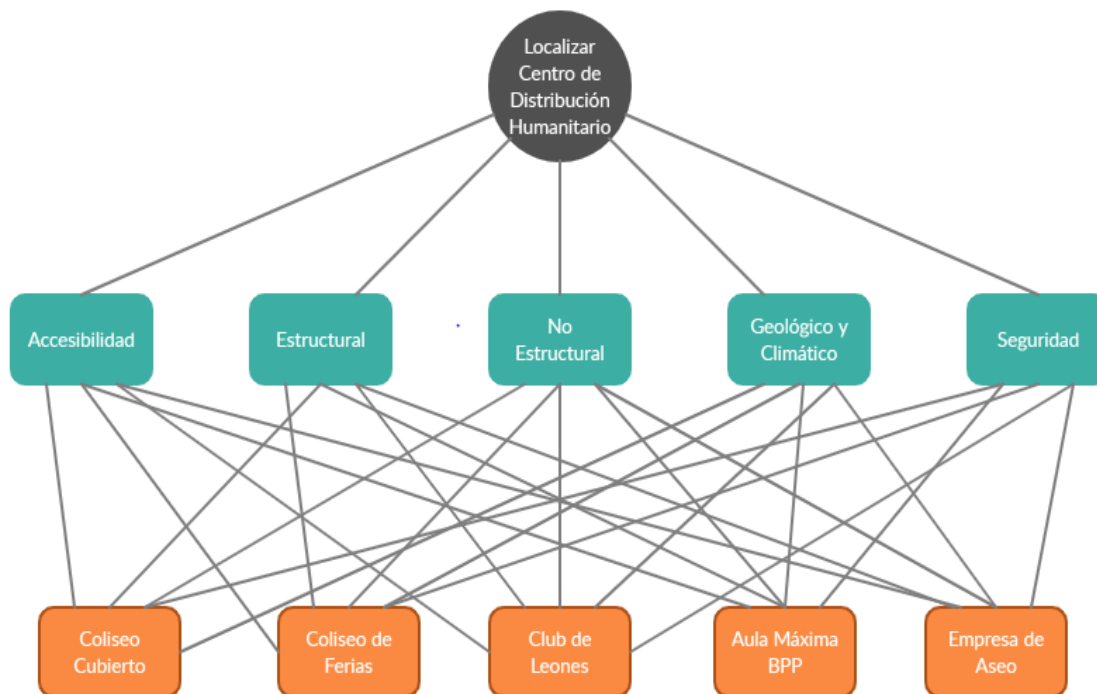
3. EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES IDENTIFICADAS

Para este análisis se tuvo en cuenta un listado de 23 instalaciones entre públicas y privadas para definir la localización del centro de distribución temporal de ayuda humanitaria, las cuales fueron identificadas por medio de trabajo de campo. (Anexo 1).

Por otra parte, se realizó una entrevista a la Asesora Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (Anexo 2), la Comandante del Cuerpo de Bomberos Voluntarios y el Expresidente y además fundador de la Unidad Municipal de la Cruz Roja del municipio caso de estudio (Anexo 3), quienes según su experiencia y con base en los criterios de localización previamente definidos, se logra depurar el listado a partir del consenso de los expertos, resultando 5 lugares por considerarse con las mejores condiciones. También se determinaron los criterios a ser seleccionados para este análisis de decisión y esto sirvió como información necesaria para la aplicación de la herramienta AHP, la cual se desarrolló a través software académico SuperDecisions.

El primer paso para la aplicación de la herramienta AHP en el software fue definir los Clústeres y Nodos correspondientes al conjunto de criterios y alternativas bajo la estructura que se muestra en la Ilustración 13. Posteriormente se procedió a realizar la evaluación de las instalaciones con base en el juicio de expertos, entre ellos la asesora de gestión del riesgo municipal, la cual expresó su preferencia mediante términos de importancia por lo que se fue asignado a cada criterio y alternativa un valor numérico según la escala propuesta por Saaty en 1980 (tabla 5), la cual mide la intensidad de su preferencia de los juicios emitidos.

Ilustración 13. Árbol de jerarquías.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Escala de preferencias.

ESCALA DE PREFERENCIAS	
Calificación Numérica	Planteamiento
1	Igualmente Importante
3	Moderadamente más Importante
5	Fuertemente Importante
7	Muy Fuertemente más Importante
9	Extremadamente más Importante

Fuente: Adaptado de Saaty 1980.

Una vez realizadas todas las comparaciones pareadas de alternativas respecto a cada criterio y del conjunto de los criterios (Anexo 4), se obtiene una jerarquización de las alternativas ordenadas de la mayor a la menor ponderación. El AHP permite entonces deducir los pesos que reflejan las percepciones y valores propuestos con una mayor precisión.

3.1. Resultados

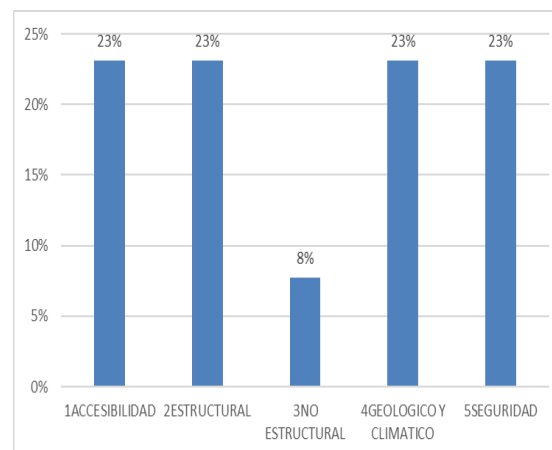
Finalmente, el software SuperDecisions generó los siguientes resultados (Tabla 6) (Ilustración 14).

Tabla 6. Priorización de criterios.

CRITERIO	VALOR POR CLUSTER	%
1 ACCESIBILIDAD	0,23077	23%
2 ESTRUCTURAL	0,23077	23%
3 NO ESTRUCTURAL	0,07692	8%
4 GEOLÓGICO Y CLIMÁTICO	0,23077	23%
5 SEGURIDAD	0,23077	23%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14. Priorización de criterios.



Fuente: Elaboración propia.

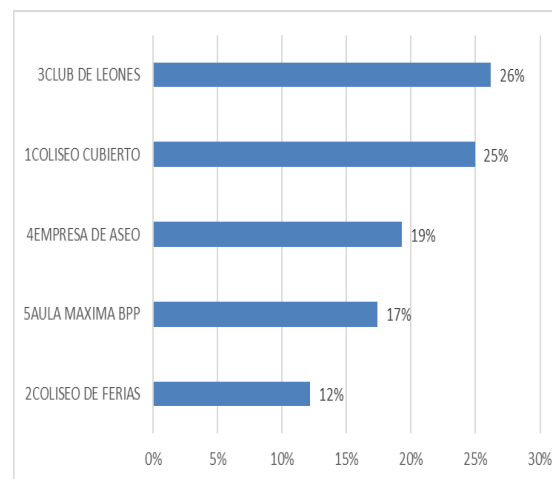
Al analizar y comparar la evaluación realizada a cada criterio (Tabla 6), se puede establecer las diferencias en relación a la preferencia de cada uno de ellos. Sin embargo, la priorización de escenarios dio un resultado igual en cuatro criterios, dando menor importancia del 8% al tercer criterio No Estructural.

Tabla 7. Ranking de alternativas.

ALTERNATIVAS	VALORES NORMALES	%
1 COLISEO CUBIERTO	0,249476	25%
2 COLISEO DE FERIAS	0,12178	12%
3 CLUB DE LEONES	0,261774	26%
4 EMPRESA DE ASEO	0,1931	19%
5 AULA MÁXIMA BPP	0,173871	17%

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15. Ranking de alternativas.



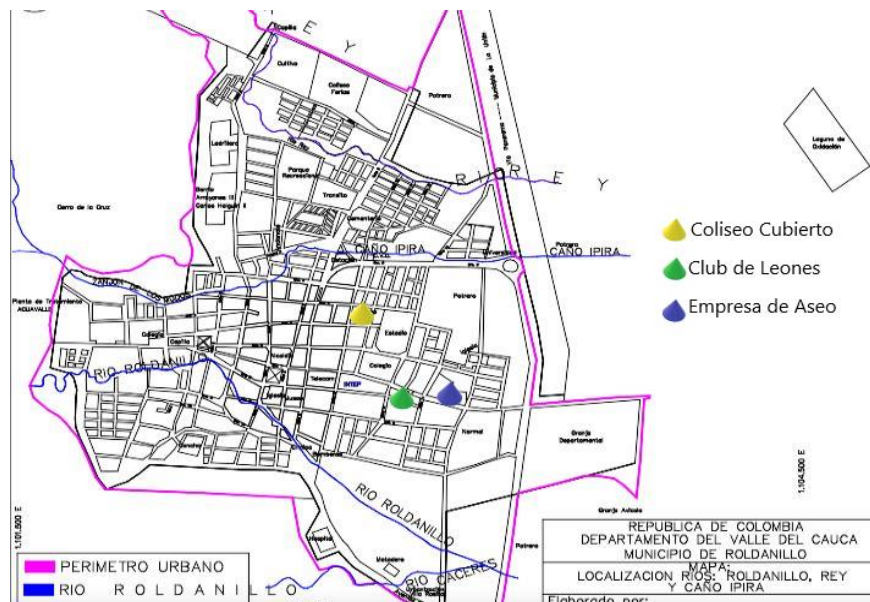
Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar las alternativas con base en el cumplimiento de los criterios establecidos (Tabla 7), se considera que el Club de Leones, el coliseo cubierto y la empresa de aseo son los lugares potenciales para la ubicación de un centro de distribución temporal de ayuda humanitaria, ya que estos obtuvieron los resultados más altos de 26%, 25% y 19% respectivamente (Ilustración 15).

Estos resultados fueron socializados nuevamente con los expertos, quienes estuvieron de acuerdo con la evaluación y los resultados obtenidos logrando así un consenso de juicios.

Además, los expertos coincidieron en que de las 5 alternativas se considerarán las 3 opciones anteriormente mencionadas, ya que estas son las alternativas que más se ajustan al cumplimiento de los criterios y que según su experiencia en emergencias históricas del municipio, estos son los lugares con las mejores condiciones para el almacenamiento y distribución de las ayudas.

Ilustración 16. Localización de instalaciones candidatas.



Fuente: Adaptado del PBOT, Cartografía 2002, Secretaría de Planeación municipal.

4. FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Para la aplicación del modelo en el caso de estudio, se considera un problema determinista de ubicación de instalaciones, en este caso un centro de distribución en un determinado lugar y donde los parámetros de entrada, como el número posible de personas afectadas, la ubicación y las distancias son conocidos y constantes en el tiempo (Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T., 2017).

Dentro de los problemas de ubicación de instalaciones deterministas, se empleará el Minisum Facility Location Problem. Este problema selecciona o ubica las instalaciones P (el número máximo de instalaciones que se pueden colocar) y busca minimizar la distancia total de transporte entre los puntos de demanda y las instalaciones seleccionadas (Boonmee, C., Arimura, M., & Asada, T., 2017).

4.1. Supuestos

- Se considera que la ayuda humanitaria está disponible en un centro de distribución del municipio y que este tiene la capacidad suficiente para almacenarla, además, su infraestructura no presenta riesgo de amenaza.
- Se proponen centros de acopio donde se entregan las ayudas humanitarias y se asume que cada punto tiene la capacidad suficiente para almacenarlas, además, las infraestructuras de estas instalaciones no presentan riesgo de amenaza.
- Se estima que en el parámetro K , todas las familias asignadas a los centros de acopio, requieren ayuda humanitaria.
- La demanda y la distancia son valores determinísticos.
- La demanda y la distancia se miden en unidad de kit (Ver descripción en Anexo 5) y en Km respectivamente.
- El centro de distribución puede suplir todos los centros de acopio.
- En el modelo se considera la distancia real por carretera con ayuda de Google Maps, por lo tanto, las distancias son asimétricas.
- Las vías entre el centro de distribución y los centros de acopio no se ven afectadas por la emergencia.

La formulación de este modelo matemático propuesto por Louis Hakimi (1964) es la siguiente:

Índices y Conjunto de índices

- i : Conjunto de centros de distribución candidatos (CEDI)
- j : Conjunto de centros de acopio por sectores de barrios. (ACOPI)

Parámetros de entrada

- K_j : Cantidad de kits demandados por cada centro de acopio j .
- D_{ij} : Distancia entre el centro de distribución i y el centro de acopio j .
- P : Número máximo de centros de distribución a instalar.

VARIABLES DE DECISIÓN

- X_{ij} : 1 si el centro de acopio j demanda kits del centro de distribución i , y 0 en caso contrario.
- Y_i : 1 si un centro de distribución se abre en el lugar i , y 0 en caso contrario.

Función objetivo

$$ZMin = \sum_i \sum_j K_j * D_{ij} * X_{ij} \quad (1)$$

Restricciones

$$\sum_i Y_i = P \quad (2)$$

$$\sum_i X_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_i \quad \forall i, \forall j \quad (4)$$

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

La función objetivo ecuación (1) minimiza la distancia total ponderada entre los centros de distribución candidatos y los centros de acopio. La ecuación (2) establece que hay instalaciones P centros de distribución que se ubicaran en el lugar i , la ecuación (3) asegura que cada centro de acopio j se asigne al centro de distribución i , la ecuación (4) asigna la demanda de los centros de acopio j al centro de distribución cuando i esté abierto. Finalmente, la ecuación (5) establece condiciones binarias para las variables del modelo.

4.2. Aplicación al caso de estudio

El modelo propuesto es aplicado al caso de estudio para la distribución de ayudas humanitaria desde el Centro de Distribución a los Centros de Acopio de las zonas afectadas por inundaciones súbitas para la fase de respuesta post desastre en el municipio de Roldanillo.

4.3. Datos

Tabla 8. Datos de la variable D_{ij} dados en Km.

	Conjunto i		
	CLUB_LEONES	COLISEO_CUBIERTO	EMPRESA_ASEO
Santuario	1,4	1,1	1,6
Coliseo_ferías	1,6	1,3	1,7
Chinquinquirá	0,8	0,8	0,95
Puesto_salud	0,9	1,2	1,1
Bomberos	0,7	1	0,65
Coliseo_pesas	0,6	0,09	0,55
Polideportivo_uv	1	0,65	1,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Datos de la variable K_j dados en unidad de Kit.

	KITS DEMANDADOS
Santuario	450
Coliseo_ferías	390
Chinquinquirá	542
Puesto_salud	679

Bomberos	619
Coliseo_pesas	682
Polideportivo_uv	593

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Resultados

Para el modelo, se empleó el lenguaje de programación matemática AMPL, programado como modelo CPLEX, en un equipo con procesador Intel Core i3, con memoria RAM 6,00 GB, y sistema operativo de 64 Bits.

Los sectores vulnerables son 7 con un total de 3.955 familias afectadas para este caso de estudio, cada sector vulnerable tiene su respectivo centro de acopio, con la suficiente capacidad de almacenar los kits y hay una instalación que sirve como centro de distribución.

Al correr el modelo, la función objetivo dio como resultado una distancia total de 3.316,23Km*Kit, siendo la menor distancia recorrida desde el centro de distribución a cada centro de acopio (Ver archivo de datos y del modelo en AMPL en Anexo 6 y 7).

4.4.1. Asignación de demanda X_{ij}

La variable X_{ij} toma valores entre $\{0, 1\}$, siendo 1, el valor cuando el centro de acopio j demanda kits del centro de distribución i y 0 en caso contrario (Resultados en tabla 10).

Tabla 10. Resultado de asignación de demanda.

	CLUB_LEONES	COLISEO_CUBIERTO	EMPRESA_ASEO
Santuario	0	1	0
Coliseo_ferías	0	1	0
Chiquinquirá	0	1	0
Puesto_salud	0	1	0
Bomberos	0	1	0
Coliseo_pesas	0	1	0
Polideportivo_uv	0	1	0

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Apertura del centro de distribución Y_i

La variable Y_i toma valores entre $\{0, 1\}$, siendo 1, si el centro de distribución se abre en un lugar i y 0 en caso contrario. (Resultados en tabla 11).

Tabla 11. Resultado si se abre un CEDI en un lugar i .

CLUB_LEONES	0
COLISEO_CUBIERTO	1
EMPRESA_ASEO	0

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de las variables X e Y muestran que el centro de distribución seleccionado fue el coliseo cubierto ya que esta ubicación i representa la menor distancia total ponderada al abastecer a cada centro de acopio lo que significa que se da respuesta a los afectados en el menor tiempo posible.

El coliseo cubierto es la mejor opción para ubicar el centro de distribución temporal de ayuda humanitaria en el municipio de Roldanillo, puesto que, en comparación con el club de leones y la empresa de aseo, este proporciona una disminución del 12,6% y 19,8% en la distancia total ponderada respectivamente.

4.5. Análisis de escenarios

Para corroborar la información proporcionada después de la solución del modelo, es necesario que sea sometido a un análisis de escenarios respecto a la variación de parámetros de interés, como lo son, la demanda en cada zona afectada, la cantidad de instalaciones a abrir y la capacidad de las instalaciones. Con el fin de observar el impacto que tienen estas variaciones en la función objetivo, es decir, cómo afecta la variación de cada uno de los parámetros en la distancia total ponderada para la entrega de ayuda humanitaria y cómo se modifican los resultados del modelo principal ante los diferentes cambios realizados a los datos ingresados inicialmente.

4.5.1. Análisis del modelo al abrir más de un centro de distribución.

Para el análisis de la variación de la función objetivo, se modifica el parámetro P. Cuando se abren una instalación más, siendo $P=2$, la función objetivo da como resultado 2.926,83 Km*Kit lo que representa una disminución del 11% con respecto al resultado inicial.

Tabla 12. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con $P=2$

	CLUB_LEONES	COLISEO_CUBIERTO	EMPRESA_ASEO		
Santuario	0	1	0		
Coliseo_ferías	0	1	0	CLUB_LEONES	1
Chinquiquira	1	0	0	COLISEO_CUBIERTO	1
Puesto_salud	1	0	0	EMPRESA_ASEO	0
Bomberos	1	0	0		
Coliseo_pesas	0	1	0		
Polideportivo_uv	0	1	0		

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 12 muestra los resultados de las variables X e Y, donde determina que, al abrir una segunda instalación, el Club de Leones sería la mejor opción en términos de distancia total ponderada.

Así mismo, cuando $P=3$, la función objetivo da como resultado 2.895,88Km*Kit lo que representa una disminución del 12% con respecto al resultado inicial, siendo esta la menor distancia total ponderada. La tabla 13, muestra que se abren todas las instalaciones y se evidencia que la Empresa de Aseo abastecerá solo un centro

de acopio, es por esto, que la diferencia entre los resultados de la función objetivo de P=3 frente a P=2 no es significativa.

Tabla 13. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con P=3

	CLUB_LEONES	COLISEO_CUBIERTO	EMPRESA_ASEO		
Santuario	0	1	0		
Coliseo_ferías	0	1	0	CLUB_LEONES	1
Chinquiquira	1	0	0	COLISEO_CUBIERTO	1
Puesto_salud	1	0	0	EMPRESA_ASEO	1
Bomberos	0	0	1		
Coliseo_pesas	0	1	0		
Polideportivo_uv	0	1	0		

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Análisis de modelo considerando instalaciones capacitadas Cap_i .

Para éste análisis, se tiene en cuenta la capacidad disponible de las instalaciones pertenecientes al conjunto i para almacenar los kits de ayuda humanitaria, además se plantean nuevos supuestos que delimitan el modelo.

Nuevos supuestos

- Las dimensiones de las instalaciones están dadas en metros cuadrados.
- La capacidad de las instalaciones es medida en unidad de kit.
- Los kits serán paletizados para su adecuado almacenamiento.

A fin de lo anterior, se determinó la capacidad de cada uno de los centros de distribución candidatos a partir de trabajo de campo donde fueron recopilado los datos de las dimensiones como se muestra a continuación.

Tabla 14. Área de los centros de distribución disponible para almacenamiento.

INSTALACIONES	AREA DISPONIBLE m ²
CLUB LEONES	127,5
COLISEO CUBIERTO	137,7
EMPRESA ASEO	66,3
TOTAL	331,5

Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente fueron definidas las medidas de los pallets según la Norma Técnica Colombiana NTC 5858 2011 de 1x1,2mts (Anexo 8), donde, según Opazo Ziem en el 2013, el alto de la carga paletizada no debe ser superior a 1,8 0 1,9 mts y según la UNGRD en 2013, las dimensiones de cada kit son: ancho: 0,34 mts. x alto: 0,28 mts. x profundo: 0,24 mts (Anexo 9).

A partir de las dimensiones de paletización previamente definidas, se calculó el patrón de arrume por pallet para el almacenamiento de los Kits de ayuda humanitaria como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Patrón de arrume por pallet.

PATRON DE ARRUME	12	CAJAS x TENDIDO
	6	TENDIDO x PALLET
	72	CAJAS x PALLET
	6	ARRUME MÁXIMO

Fuente: Elaboración propia.

Con base a lo anterior, se determinó que, para el almacenamiento del total de los kits demandados (3.955 kits), se requieren 55 pallets los cuales ocupan un área total de 66mts² (1,2mt² x pallet).

Tabla 16. Capacidad de los centros de distribución.

INSTALACIONES	CANTIDAD PALLETS	CANTIDAD KITS
CLUB LEONES	106	7.632
COLISEO CUBIERTO	114	8.208
EMPRESA ASEO	55	3.960
TOTAL	275	19.800

Fuente: Elaboración propia.

Dicho lo anterior, se plantea la restricción de capacidad en la ecuación (6) donde se permite la asignación solo a los sitios donde están ubicadas las instalaciones y asegura que no se exceda la capacidad en cada instalación ubicada. Esta restricción reemplaza la ecuación (4) del modelo inicial.

$$\sum K_j X_{ij} \leq Cap_i Y_i \quad \forall i \quad (6)$$

Finalmente, al correr el modelo, la función objetivo dio como resultado una distancia total de 3.316,23Km/Kit, siendo esta, la misma distancia obtenida por el modelo planteado inicialmente (Ver archivo de datos y del modelo en AMPL en Anexo 10 y 11).

Tabla 17. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con capacidad limitada en P=1

	CLUB_LEONES	COLISEO_CUBIERTO	EMPRESA_ASEO		
Santuario	0	1	0		
Coliseo_ferías	0	1	0	CLUB_LEONES	0
Chinquiquira	0	1	0	COLISEO_CUBIERTO	1

Puesto_salud	0	1	0	EMPRESA_ASEO	0
Bomberos	0	1	0		
Coliseo_pesas	0	1	0		
Polideportivo_uv	0	1	0		

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados obtenidos en este escenario frente a los resultados iniciales, estos no sufrieron ninguna alteración a pesar de que se consideró la capacidad de las instalaciones candidatas puesto que, la función objetivo se encuentra dada en términos de distancia, además, la demanda total no excede la capacidad de la instalación seleccionada que fue el Coliseo cubierto.

4.5.3. Incremento de demanda de kits asociada al aumento del número de familias, pero las zonas afectadas se mantienen igual.

Para el análisis de este escenario se considera aumentar un 20% de la demanda en términos de kits, para analizar las variaciones con respecto a la capacidad y número de instalaciones abiertas.

A correr el modelo, el resultado de la función objetivo fue 3.979,47Km*Kit la cual refleja el aumento del 20% frente al resultado inicial de la función objetivo el cual es proporcional al aumento de la demanda, lo que quiere decir que, en términos de distancia, los resultados no tuvieron variación alguna (Ver archivo del modelo en AMPL en Anexo 12).

Tabla 18. Asignación de demanda e instalaciones abiertas con capacidad limitada y aumento de demanda en $P=1$.

	CLUB_LEONES	COLISEO_CUBIERTO	EMPRESA_ASEO		
Santuario	0	1	0		
Coliseo_ferías	0	1	0	CLUB_LEONES	0
Chinquiquira	0	1	0	COLISEO_CUBIERTO	1
Puesto_salud	0	1	0	EMPRESA_ASEO	0
Bomberos	0	1	0		
Coliseo_pesas	0	1	0		
Polideportivo_uv	0	1	0		

Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que al correr el modelo añadiendo restricción de capacidad de cada instalación, así como el aumento de la demanda, la instalación elegida en el modelo inicial es la mejor alternativa para ubicar un centro de distribución en el municipio caso de estudio, ya que ésta cumple con las condiciones requeridas, además, cuenta con la capacidad suficiente para almacenar los kits de ayuda alimentaria que satisface toda la demanda inclusive, si esta aumenta un 100%.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la literatura revisada se identifica que las inundaciones son el desastre natural súbito que se presenta con mayor frecuencia, que genera un fuerte impacto económico y social a la población, así mismo, se señala a Colombia como un país vulnerable ante la ocurrencia de desastres de origen natural. Cada año en temporada de lluvias miles de personas en el país se ven afectadas por el desborde de ríos y quebradas que terminan destrozando viviendas, enseres, cultivos y animales, debido a que suelen habitar en zonas cercanas a caudales, incrementando el riesgo de inundación. El municipio de Roldanillo, es vulnerable a inundaciones debido a que es atravesado por 4 vertientes hidrográficas; El río Roldanillo, el Rey, Cáceres y el Zanjón de Ipira, además, el sistema de drenaje no es eficiente para enfrentar este tipo de emergencias.

El municipio caso de estudio, no cuenta con información actualizada principalmente el PBOT y planes de emergencia como lo son el PLEC y La Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias lo que representa incluso mayor vulnerabilidad puesto que no se tiene una planificación o estrategias definidas para la atención de emergencias. Además, no poseen información histórica organizada de las personas afectadas en eventos pasados por lo que el desconocimiento de la demanda dificultaría la oportuna entrega de ayudas humanitarias.

Para dar respuesta al primer objetivo se identificaron y caracterizaron las zonas con alta vulnerabilidad y amenaza de inundaciones, la cual se realizó teniendo en cuenta el plan de ordenamiento territorial vigente del municipio. El proceso de gestión de la información, fue una ardua labor, ya que las personas encargadas del proceso de gestión de riesgos no llevan un consolidado de las zonas afectadas, adicionalmente, se presentaron limitaciones en la solicitud de la documentación por considerarse como datos sensibles.

En el desarrollo de segundo objetivo, se realizó una revisión de la literatura enfocada en la localización de instalaciones en la etapa post desastre para brindar una rápida respuesta a los afectados por una emergencia. Por lo anterior se recopilaron características que diversos autores consideraron indispensables a tener una instalación para convertirse en un centro de distribución de ayuda humanitaria y a partir del conjunto de características agrupadas en macro criterios, se logró definir los criterios de localización de un CEDI y fueron estos el insumo para evaluar las instalaciones candidatas del municipio.

Roldanillo no cuenta con una amplia lista de lugares públicos disponibles para ubicar un centro de distribución temporal de ayuda humanitaria, ya que para optar a una instalación privada el municipio debe generar una serie de permisos y convenios con estas para que logren prepararse ante estos casos inesperados sin interrumpir sus actividades.

Para el desarrollo del tercer objetivo, se consideraron 5 instalaciones potenciales a tener en cuenta para la ubicación de un CEDI, las cuales fueron evaluadas por un grupo de expertos con base en los criterios de localización previamente definidos y para ello, la herramienta de toma de decisiones multicriterio AHP desarrollada en el software SuperDecisions fue de gran utilidad, puesto que se ciñe a la necesidad del problema y posteriormente arrojó como resultado el ranking de alternativas de mayor a menor ponderación, acotando el número de alternativas posibles.

El municipio de Roldanillo no cuenta con una eficiente preparación para afrontar un desastre de tipo hidrológico, además, no cuenta con infraestructura definida dentro del PMGRD para dar respuesta oportuna a la población damnificada, sin embargo, se considera que las instalaciones encontradas en esta investigación cumplen con las características definidas para este tipo de almacenes temporales y son apropiados en situaciones de emergencia los cuales fueron considerados para el desarrollo del modelo matemático, que permitió definir la mejor ubicación para localizar el centro de distribución que abastezca a cada uno de los centros de acopio y pueda brindar una rápida respuesta a la población afectada.

Finalmente, para el desarrollo del cuarto objetivo se empleó un modelo de *“Minisum Facility Location Problem”* que se ubica dentro de los problemas determinísticos como lo es el caso de este documento, donde su función objetivo es elegir la mejor instalación para ubicar un CEDI que esté a la menor distancia posible de los sectores afectados (centros de acopio) y se pueda distribuir en el menor tiempo posible las ayudas a los damnificados y apoyar su rápida recuperación ante una emergencia.

El presente trabajo resalta la importancia que tiene las etapas de preparación y respuesta, ya que es la fase post desastre es la que se encarga de evaluar y localizar las zonas y personas afectadas, por lo tanto, se debe entregar ayuda humanitaria la cual sirve como dieta nutricional para las personas afectadas y así, brindar bienestar a la salud de los damnificados.

Al incluir la capacidad de las instalaciones dentro del modelo se evidencia que este no presenta variación alguna frente al resultado inicial, ya que este problema busca minimizar la distancia que existe entre el centro de distribución y los centros de acopio. Sin embargo, al considerar factores tales como, el costo de apertura y el costo de operación de cada CEDI, el modelo definirá el número de CEDIS a habilitar según la demanda, teniendo en cuenta la menor distancia con el menor costo total.

Para el modelo se definió que se va a instalar un CEDI, debido a que al tener un único centro de distribución facilita el control y el seguimiento de la asistencia a la población, lo cual implica mantener activa las operaciones destinadas a la atención de la población afectada por la inundación. además, la instalación seleccionada, cuenta con la capacidad suficiente para atender la demanda inclusive si esta aumentara un 100%.

RECOMENDACIONES

Roldanillo es un municipio con alto riesgo de inundación lo cual se evidencia en las constantes inundaciones que se presentan durante el año, por esta razón es importante que, aunque se desarrolle una logística estratégica adecuada y eficiente, se invierta en acciones de prevención y reducción del nivel de amenazas a las que está expuesta la población y su grado de vulnerabilidad.

Se debe fomentar el trabajo de los estudiantes de la Universidad del Valle y de las entidades públicas a un trabajo conjunto y en equipo que permita mejorar los procesos que se llevan a cabo en estas. De esta forma poder aportar el ingenio, creatividad y conocimiento que se tiene como estudiantes de Ingeniería Industrial a la sociedad.

Para investigaciones futuras se recomienda minimizar la distancia total ponderada, en conjunto con el costo de apertura y el costo de operación de cada CEDI para obtener un enfoque más completo que pueda contribuir en el proceso de toma de decisiones de los actores interesados.

Se puede analizar un problema de localización capacitado, teniendo en cuenta la apertura en más de una instalación para instancia más grandes como la zona BRUT, por ejemplo.

También se recomienda considerar decisiones de pre-posicionamiento del inventario, así como decisiones de ruteo o distribución de ayudas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdessamad, Taoufikallah. (2007). Selección del sistema de gestión de la producción mediante la metodología AHP, Capítulo 4. Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Sevilla Universidad De Sevilla.

Alcaldía Municipal de Roldanillo. (2000). Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT Roldanillo.

Alcaldía Municipal de Roldanillo. (2008). Plan Municipal de Gestión del Riesgo, Roldanillo.

Alcaldía Municipal de Roldanillo. (2012). Plan Municipal de Gestión del Riesgo, Roldanillo.

Boonmee, C., Arimura, M. y Asada, T. (2017). Modelo de optimización de ubicación de instalaciones para logística de emergencia humanitaria. Revista Internacional de Reducción del Riesgo de Desastres, Volumen 24, pág. 485-498.

Cámara de Comercio de Cartago. (2019). Estudio Demográfico, Económico, Social y Empresarial de la región área de influencia de la Cámara de Comercio de Cartago.

CEPAL, N. (2013). Valoración de daños y pérdidas: ola invernal en Colombia 2010-2011.

CLOPAD Roldanillo. (2010). Comité Local Para la Prevención y Atención de Desastres Roldanillo.

Contraloría Departamental del Valle del Cauca. (2012). Informe de auditoría gubernamental con enfoque integral. Modalidad Especial - Emergencia por Ola Invernal.

<http://www.contraloriavalledelcauca.gov.co/publicaciones/38948/auditorias-2012/descargar.php?id=4324>

Cruz Roja Roldanillo. (2010). Censo emergencia Roldanillo 2010 bajo formato EDAN.

Cruz Roja Roldanillo. (2013). Censo emergencia Roldanillo 2010 bajo formato EDAN.

Cruz, K. S., Escobar, Y. C., & Díaz, Á. J. Á. (2015). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. Revista Luna Azul (On Line), (37), 219-238.

DANE. (2012). Misión para el Empalme de las Series de Empleo, Pobreza y Desigualdad (MESEP). www.dane.gov.co.

Decreto 024 03-04-2019. Por medio del cual se decreta calamidad pública en el Municipio de Roldanillo, Valle del Cauca.

Decreto 037 10-06-2019 Por medio del cual se decreta calamidad pública en el Municipio de Roldanillo, Valle del Cauca.

Fernández, F. R., Nickel, S., Puerto, J., & Rodríguez-Chía, A. M. (2001). Robustness in the Pareto-solutions for the multi-criteria minisum location problem. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10(4), 191-203.

Flórez Oviedo, N. E. (julio-diciembre, 2018). Desarrollo de la logística humanitaria: una revisión de la literatura. *Science of Human Action*, 3(2), 317-339.

Gobernación del Valle del Cauca. (2018). Gestión de Riesgo monitorea ríos por ola invernal en 26 municipios del departamento, <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/61572/>

González Lúa, E. (2015). "Localización de un almacén de abastecimiento para la atención de desastres en el Estado de Guerrero". (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/88957>.

Goyes Lesmes, J. A. (2016). Logística humanitaria: seguridad agroalimentaria (Doctoral dissertation, Universidad del Rosario).

Hakimi, S.L. (1964). Ubicaciones óptimas de los centros de conmutación y los centros absolutos y las medianas de un gráfico. *Investigación de operaciones*, 12 (3), 450-459.

López Ramírez, J. (2012). Propuesta de planeación logística para la provisión de alojamiento, en la atención de desastres por inundaciones, que pueda ser utilizada en el departamento del Atlántico. Recuperado de repositorio.javeriana.edu.co

Marco Opazo Ziem. (2013). Recomendaciones generales en el uso de pallets. *Revista Negocios Globales Logística Supply Chain, Transporte y Distribución*.

Naranjo Vázquez, G. A. (2018). Localización de puntos de emergencia considerando medidas de accesibilidad (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Norma Técnica Colombiana NTC 5858. (2011). Estibas de Madera para manipulación de Mercancías. <https://madepal.com/productos/estibas-de-madera-pallets>

Notas Técnicas de Prevención (NTP) NTP 434: Superficies de trabajo seguras. Seguridad en el almacenamiento y bodegaje. ARL Sura.com 2019. https://arlsura.com/files/2018/fichas-de-prevencion-pdf/7.infografico_almacenamiento_y_bodegaje.pdf

OPS. (2001). Manual para el manejo logístico de suministros humanitarios. Organización Panamericana de la Salud.

Reyes Rubiano, L. S. (2015). Localización de instalaciones y ruteo de personal especializado en logística humanitaria post-desastre-caso inundaciones (Master's thesis, Universidad de La Sabana).

Sedano et al. (2012). Variedad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia, Revista Semillas, edición 46/47, pág. 47-53.

Soto de la Vega, et al. (2013). Metodología para la localización de centros de distribución a través de análisis multicriterio y optimización. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/39654/53942>.

Statista Research Department, 18 Sept. 2019, Los desastres naturales en el mundo - Datos estadísticos. Obtenido de <https://es.statista.com/temas/3597/desastres-naturales/>

Toskano, G., & Bruno, G. (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Trabajo de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

UNGRD. (2013). Manual de Logística para la Atención de Emergencias. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>.

UNGRD. (2019). Consolidado Anual de Emergencias, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/>.

VanRooyen, M. y Leaning, J. (2005). Después del tsunami: enfrentando los desafíos de salud pública. Revista de Medicina de Nueva Inglaterra, 352 (5), 435-438.

Viviendas en riesgo, SISBEN. (2008). Oficina del SISBEN, Alcaldía Municipal de Roldanillo.

Wind, Y. y Saaty, TL. (1980). Aplicaciones de marketing del proceso de jerarquía analítica. Ciencias de la gestión, 26 (7), 641-658.

ANEXOS

LUGARES A EVALUAR	
IGLESIAS	San Sebastián
	Santísima Trinidad
	La Ermita
	La Medalla Milagrosa
INSTITUCIONES EDUCATIVAS	Nuestra Señora de Chiquinquirá
	Libardo Madrid Valderrama
	Tomás Ignacio Esquivel
	Belisario Peña Piñeiro
	Eustaquio Palacios
	Miguel Alejandro Torres
	San Sebastián
	Divino Niño
	Normal Superior Jorge Isaac
	Carlos Villafañe
	INTEP
	Centro Empresa Artesanal
	Presbítero González Patiño
	INSTALACIONES DE ENCUESTO MASIVO
Club Social Los Gorriones	
Salón de la Tercera Edad	
Coliseo de Ferias Augusto Ramírez López	
Coliseo Cubierto Iván Muñoz Villa	
Centro de Integración Ciudadana	

Anexo 1. Listado de instalaciones públicas y privadas de Roldanillo.

Roldanillo, agosto 28 de 2020

A QUIEN PUEDA INTERESAR

Por medio de la presente se hace constar que el día 27 de agosto de 2020 a las 11:00am se llevó a cabo una reunión asistida por tecnología por medio de la plataforma de videoconferencia ZOOM, entre las estudiantes de último semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Zarzal, **Laura Alexandra Parra Florez** y **Maria Alejandra Bolaños Carmona** con la Asesora Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres del municipio de Roldanillo, para tratar temas sobre el manejo logístico de las ayudas humanitarias en emergencias afrontadas en años anteriores, así como la evaluación de instalaciones que posee el municipio bajo criterios de localización previamente establecidos y validados y demás tópicos referentes a la atención de emergencias.

Lo anterior con fines Académicos en el desarrollo de un proyecto de grado.



LUZ ELENA LÓPEZ REYES
Asesora Municipal Gestión de Riesgo de Desastres
Roldanillo

Anexo 2. Constancia de reunión con expertos.

Roldanillo, septiembre 14 de 2020

Señores
GRUPO DE SOCORRO
Roldanillo

Cordial Saludo

Por medio de la presente solicitamos a ustedes muy amablemente, su colaboración al compartir su experiencia para la adecuada evaluación de un grupo de locaciones candidatas a convertirse en centro de distribución temporal de ayuda humanitaria para atender afectados en caso de inundación en el municipio de Roldanillo. Lo anterior es llevado a cabo en la realización de nuestro trabajo de grado enfocado en logística humanitaria como requisito para optar por el título de Ingeniera Industrial de la Universidad del Valle Sede Zarzal.

A continuación, se muestra los sitios candidatos y los criterios de selección, así como la escala evaluación de ambos.

CRITERIOS	LOCACIONES CANDIDATAS
Accesibilidad	Coliseo Cubierto
Estructural	Coliseo de Ferias
No Estructural	Club de Leones
Geológico y Climático	Empresa de Aseo
Seguridad	Aula Máxima BPP

ESCALA DE REFERENCIA	
Calificación Numérica	Planteamiento
1	Igualmente Importante
3	Moderadamente más Importante
5	Fuertemente Importante
7	Muy Fuertemente más Importante
9	Extremadamente más Importante

Accesibilidad: considera aspectos como facilidad en vías de acceso para transporte terrestre tanto municipal como intermunicipal, acceso a redes de comunicación (OPS,2001).

No estructurales: hace referencia al acceso a servicios públicos tales como acueducto, energía, alcantarillado, así mismo como las instalaciones sanitarias y disposición de residuos sólidos (OPS,2001).

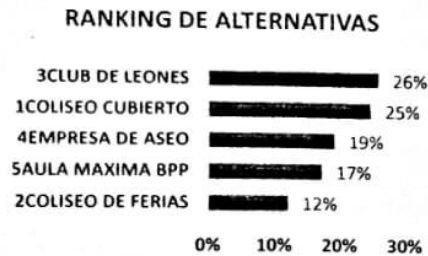
Estructurales: se recomienda contar con estructura de concreto, pero así sea de otro material lo ideal es que ésta se encuentre en buenas condiciones de conservación y mantenimiento o que por lo menos, no requiera de mayor reparación para poder ser utilizada. Además, se debe revisar las condiciones de iluminación, ventilación, estado de techo y puertas antes de ser puesta en funcionamiento (OPS,2001).

Geológicos y climáticos: es indispensable verificar peligros como la posibilidad de inundación, riesgo de deslizamiento y diversas deficiencias ambientales como cercanía a basureros y aguas estancadas las cuales deben ser eliminadas antes de usar el sitio (OPS,2001).

Anexo 3. Constancia y juicio de expertos

Seguridad: prever situaciones como alteración al orden público y casos de delincuencia común, que pongan en riesgo la seguridad de voluntarios y de los bienes almacenados (OPS,2001).

Con base a lo anterior, la actual Secretaria de Gestión del Riesgo de Desastres de la alcaldía municipal, evaluó las instalaciones candidatas en relación a cada criterio bajo su juicio de experiencia obteniendo así los siguientes resultados:



Teniendo en cuenta las ponderaciones asignadas a cada alternativa en las comparaciones pareadas por cada criterio, y bajo su juicio, ¿está usted de acuerdo a la evaluación realizada y a los resultados obtenidos?

SI NO ¿Por qué? Cumple con los requerimientos exigidos y nos gustaria mirar la opción #3 por cuestiones de higiene.

De responder No, ¿qué ponderación le asignaría a cada criterio y cada alternativa?

Firma:

Cargo: Comandante Bomberos Roldonilo

Atentamente,

Laura Alexandra Parra Florez

Laura Alexandra Parra Florez
Email. Parra.laura@correounivalle.edu.co
Cel. 3187975923

Maria Alejandra Bolaños Carmona

Maria Alejandra Bolaños Carmona
Bolanos.maria@correounivalle.edu.co
3114830078

Seguridad: prever situaciones como alteración al orden público y casos de delincuencia común, que pongan en riesgo la seguridad de voluntarios y de los bienes almacenados (OPS,2001).

Con base a lo anterior, la actual Secretaria de Gestión del Riesgo de Desastres de la alcaldía municipal, evaluó las instalaciones candidatas en relación a cada criterio bajo su juicio de experiencia obteniendo así los siguientes resultados:



Teniendo en cuenta las ponderaciones asignadas a cada alternativa en las comparaciones pareadas por cada criterio, y bajo su juicio, ¿está usted de acuerdo a la evaluación realizada y a los resultados obtenidos?

SI NO ¿Por qué? Es la situación que estamos viviendo actualmente, no hay un avance considerable de alguna entidad referida

De responder No, ¿qué ponderación le asignaría a cada criterio y cada alternativa?

Firma: ARNANDO ALVAREZ

Cargo: Presidente - FUNDADOR
CEU ROSA COLOMBIANA
UNIDAD MUNICIPAL
Rolón. No
1987-2020

Atentamente,

Laura Alexandra Parra Florez

Laura Alexandra Parra Florez
Email: Parra.laura@correounivalle.edu.co
Cel. 3187975923

Maria

Maria Alejandra Bolaños Carmona
Bolanos.maria@correounivalle.edu.co
3114880078

EVALUACIÓN DE CRITERIOS Y ALTERNATIVAS					
CRITERIOS					
	1ACCESIBILIDAD	2ESTRUCTURAL	3NO ESTRUCTURAL	4GEOLOGICO Y CLIMATICO	5SEGURIDAD
1ACCESIBILIDAD	0	1	3	1	1
2ESTRUCTURAL	1	0	3	1	1
3NO ESTRUCTURAL	1/3	1/3	0	1/3	1/3
4GEOLOGICO Y CLIMATICO	1	1	3	0	1
5SEGURIDAD	1	1	3	1	0
ACCESIBILIDAD					
	1COLISEO CUBIERTO	2COLISEO DE FERIAS	3CLUB DE LEONES	4EMPRESA DE ASEO	5AULA MAXIMA BPP
1COLISEO CUBIERTO	0	1/3	5	1/5	3
2COLISEO DE FERIAS	3	0	5	1	5
3CLUB DE LEONES	1/5	1/5	0	1/5	1
4EMPRESA DE ASEO	5	1	5	0	3
5AULA MAXIMA BPP	1/3	1/5	1	1/3	0
ESTRUCTURAL					
	1COLISEO CUBIERTO	2COLISEO DE FERIAS	3CLUB DE LEONES	4EMPRESA DE ASEO	5AULA MAXIMA BPP
1COLISEO CUBIERTO	0	5	1/3	3	3
2COLISEO DE FERIAS	1/5	0	1/5	1/3	1/5
3CLUB DE LEONES	3	5	0	3	3
4EMPRESA DE ASEO	1/3	3	1/3	0	1/3
5AULA MAXIMA BPP	1/3	5	1/3	3	0
NO ESTRUCTURAL					
	1COLISEO CUBIERTO	2COLISEO DE FERIAS	3CLUB DE LEONES	4EMPRESA DE ASEO	5AULA MAXIMA BPP
1COLISEO CUBIERTO	0	3	1/3	1/3	1
2COLISEO DE FERIAS	1/3	0	1/5	1/5	1
3CLUB DE LEONES	3	5	0	1	3
4EMPRESA DE ASEO	3	5	1	0	3
5AULA MAXIMA BPP	1	1	1/3	1/3	0
GEOLOGICO Y CLIMATICO					
	1COLISEO CUBIERTO	2COLISEO DE FERIAS	3CLUB DE LEONES	4EMPRESA DE ASEO	5AULA MAXIMA BPP
1COLISEO CUBIERTO	0	5	1	1	1
2COLISEO DE FERIAS	1/5	0	1/3	1/3	1/3
3CLUB DE LEONES	1	3	0	3	1
4EMPRESA DE ASEO	1	3	1/3	0	1/3
5AULA MAXIMA BPP	1	3	1	3	0
SEGURIDAD					
	1COLISEO CUBIERTO	2COLISEO DE FERIAS	3CLUB DE LEONES	4EMPRESA DE ASEO	5AULA MAXIMA BPP
1COLISEO CUBIERTO	0	7	1	3	3
2COLISEO DE FERIAS	1/7	0	1/5	1/3	1/3
3CLUB DE LEONES	1	5	0	3	1
4EMPRESA DE ASEO	1/3	3	1/3	0	1/3
5AULA MAXIMA BPP	1/3	3	1	3	0

Anexo 4. Comparaciones pareadas entre criterios y alternativas por cada criterio

ITEM	PRODUCTO	PRESENTACION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
1	Aceite Vegetal	Botella 1000 c.c	Centímetro Cubico	1
2	Arroz	Bolsa de 500 gr	Gramos	8
3	Azúcar	Bolsa de 500 gr	Gramos	2
4	Café	Bolsa de 500 gr	Gramos	1
5	Chocolate	Bolsa de 500 gr	Gramos	1
6	Frijol	Bolsa de 500 gr	Gramos	2
7	Harina de maíz	Bolsa de 500 gr	Gramos	1
8	Leche en Polvo	Bolsa de 400 gr	Gramos	1
9	Lenteja	Bolsa de 500 gr	Gramos	2
10	Lomito de Alúñ	Lata de 370 gr	Gramos	2
11	Panela	Paquete 225 gr	Gramos	4
12	Pasta	Bolsa de 500 gr	Gramos	1
13	Sal	Bolsa de 500 gr	Gramos	1

Anexo 5. Tabla de composición del Kit alimentario por familia, Fuente: Estandarización de ayuda Humanitaria de la UNGRD.

```

# Conjuntos

set CEDI:= CLUB_LEONES COLISEO_CUBIERTO EMPRESA_ASEO; #Conjunto de Cedis indexado en i
set ACOPI:= SANTUARIO COLISEO_FERIAS CHINQUINQUIRA PUESTO_SALUD
           BOMBEROS COLISEO_PESAS POLIDEPORTIVO_UV; #Conjunto de centros de acopio indexado en j

# Parámetros de entrada

param P:= 1; # Número máximo de CEDIS a instalar

# Cantidad de familias afectadas por centro de acopio
param demanda:=
SANTUARIO          450
COLISEO_FERIAS     390
CHINQUINQUIRA     542
PUESTO_SALUD      679
BOMBEROS           619
COLISEO_PESAS     682
POLIDEPORTIVO_UV  593;

# Distancia en Km.
param distancia:
           SANTUARIO COLISEO_FERIAS CHINQUINQUIRA PUESTO_SALUD BOMBEROS COLISEO_PESAS POLIDEPORTIVO_UV:=
CLUB_LEONES    1.4      1.6          0.8          0.9          0.7          0.6          1.0
COLISEO_CUBIERTO 1.1      1.3          0.8          1.2          1.0          0.09         0.65
EMPRESA_ASEO   1.6      1.7          0.95         1.1          0.65         0.55         1.2;

```

Anexo 6. Archivo de datos .dat en AMPL IDE.

```

#Conjuntos
set CEDI; #Conjunto de Cedis indexado en i
set ACOPI; #Conjunto de centros de acopio indexado en j

#Parámetros
param demanda {j in ACOPI} >=0; #Cantidad de familias vulnerables a ser atendidas por centro de acopio j
param distancia {i in CEDI, j in ACOPI} >=0; #Distancia de los CEDIS a los centros de Acopio
param P;

#Variables de decisión
var X {i in CEDI, j in ACOPI} binary; # centro de acopio j demanda al cedi i
var Y {i in CEDI} binary; # si una instalación está ubicada en un sitio elegible i (CEDI)

#Función objetivo
minimize distancia_total:
sum {i in CEDI, j in ACOPI} (demanda[j]*distancia[i,j]*X[i,j]);

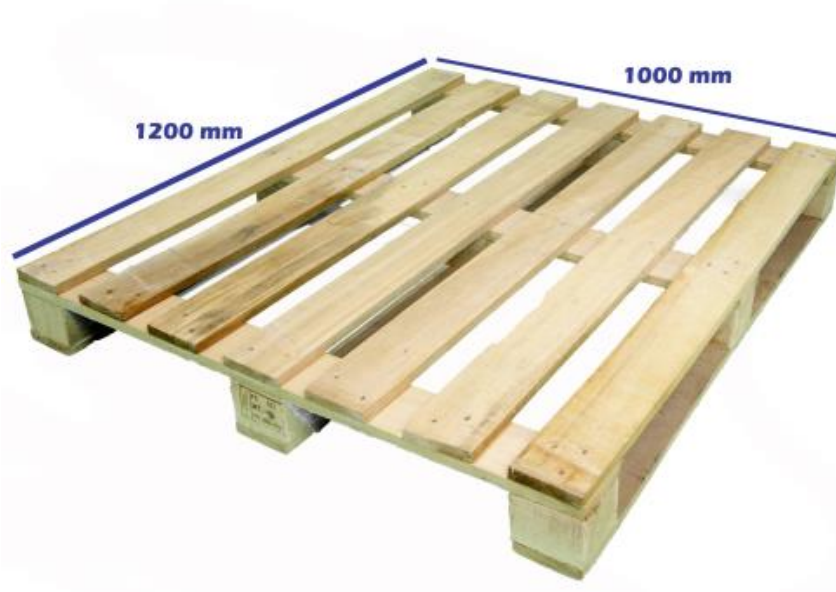
#Restricciones
subject to instalar:
sum {i in CEDI} Y[i] = P;

subject to cobertura{j in ACOPI}:
sum {i in CEDI} X[i,j]=1;

subject to asignacion{i in CEDI, j in ACOPI}:
X[i,j] <= Y[i];

```

Anexo 7. Archivo del modelo .mod en AMPL IDE.



Anexo 8. Dimensiones de los pallets. Fuente: ISO Standard 6780: Estándar Americano.



Anexo 9. Dimensiones del kit de ayuda humanitaria. Fuente: Manual de estandarización de ayuda humanitaria, UNGRD 2013

```
# Modelo de localización

# Conjuntos

set CEDI:= CLUB_LEONES COLISEO_CUBIERTO EMPRESA_ASEO; #Conjunto de Cedis indexado en i
set ACOPI:= SANTUARIO COLISEO_FERIAS CHINQUINQUIRA PUESTO_SALUD
          BOMBEROS COLISEO_PESAS POLIDEPORTIVO_UV; #Conjunto de centros de acopio indexado en j

# Parámetros de entrada

param P=1; # Número máximo de CEDIS a instalar

param capacidad:= #Capacidad en unidad de kit de cada CEDI
CLUB_LEONES      7632
COLISEO_CUBIERTO 8208
EMPRESA_ASEO     3960;

# Cantidad de familias afectadas por centro de acopio
param demanda:=
SANTUARIO        450
COLISEO_FERIAS   390
CHINQUINQUIRA   542
PUESTO_SALUD    679
BOMBEROS        619
COLISEO_PESAS   682
POLIDEPORTIVO_UV 593;

# Distancia en Km.
param distancia:
          SANTUARIO COLISEO_FERIAS CHINQUINQUIRA PUESTO_SALUD BOMBEROS COLISEO_PESAS POLIDEPORTIVO_UV:=
CLUB_LEONES      1.4      1.6      0.8      0.9      0.7      0.6      1.0
COLISEO_CUBIERTO 1.1      1.3      0.8      1.2      1.0      0.09     0.65
EMPRESA_ASEO     1.6      1.7      0.95     1.1      0.65     0.55     1.2;
```

Anexo 10. Archivo del modelo escenario 2 .dat en AMPL IDE.

```

# Modelo de localización

#Conjuntos

set CEDI; #Conjunto de Cedis indexado en i
set ACOPI; #Conjunto de centros de acopio indexado en j

#Parámetros
param demanda {j in ACOPI} >=0; #Cantidad de familias vulnerables a ser atendidas por centro de acopio j
param distancia {i in CEDI, j in ACOPI} >=0; #Distancia de los CEDIS a los centros de Acopio
param P;
param capacidad{i in CEDI} >=0;

#Variables de decisión

var X {i in CEDI, j in ACOPI} binary; # centro de acopio j demanda al cedi i
var Y {i in CEDI} binary; # si una instalación está ubicada en un sitio elegible i (CEDI)

#Función objetivo

minimize distancia_total:
sum {i in CEDI, j in ACOPI} demanda[j]*distancia[i,j]*X[i,j];

#Restricciones

subject to instalar:
sum{i in CEDI} Y[i] <= P;

subject to cobertura{j in ACOPI}:
sum{i in CEDI} X[i,j]=1;

# subject to asignacion{i in CEDI, j in ACOPI}:
# X[i,j] <= Y[i];

subject to cap{i in CEDI}:
sum{j in ACOPI} demanda[j]*X[i,j] <= capacidad[i]*Y[i];

```

Anexo 11. Archivo del modelo escenario 2 .mod en AMPL IDE.

```

# Modelo de localización

#Conjuntos

set CEDI; #Conjunto de Cedis indexado en i
set ACOPI; #Conjunto de centros de acopio indexado en j

#Parámetros
param demanda {j in ACOPI} >=0; #Cantidad de familias vulnerables a ser atendidas por centro de acopio j
param distancia {i in CEDI, j in ACOPI} >=0; #Distancia de los CEDIS a los centros de Acopio
param P;
param capacidad{i in CEDI} >=0;

#Variables de decisión

var X {i in CEDI, j in ACOPI} binary; # centro de acopio j demanda al cedi i
var Y {i in CEDI} binary; # si una instalación está ubicada en un sitio elegible i (CEDI)

#Función objetivo

minimize distancia_total:
sum {i in CEDI, j in ACOPI} (demanda[j]*0.2+demanda[j])*distancia[i,j]*X[i,j];

#Restricciones

subject to instalar:
sum{i in CEDI} Y[i] <= P;

subject to cobertura{j in ACOPI}:
sum{i in CEDI} X[i,j]=1;

# subject to asignacion{i in CEDI, j in ACOPI}:
# X[i,j] <= Y[i];

subject to cap{i in CEDI}:
sum{j in ACOPI} demanda[j]*X[i,j] <= capacidad[i]*Y[i];

```

Anexo 12. Archivo del modelo escenario 3 .mod en AMPL IDE.