

TRABAJO DE GRADO
INFRAESTRUCTURA CRÍTICA EXPUESTA A INUNDACIÓN EN EL DISTRITO DE
AGUABLANCA EN CALI: CASO TERMINAL ANDRÉS SANÍN

VALENTINA CAICEDO ZAPATA
DIANA CAROLINA SERNA SÁNCHEZ

Documento presentado al
Programa Académico de Ingeniería Topográfica
como requisito para optar por el título de
Ingenieras Topográficas

Directora: Ph.D LINA MARÍA OSPINA OSTIOS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Julio 2023

Resumen

El proyecto se enfoca en el estudio de la exposición a inundaciones de la Terminal Andrés Sanín en el distrito de Aguablanca, Cali. Aunque la terminal es resistente y aún le quedan varios años de vida útil, las fuertes lluvias e inundaciones pueden causar daños y pérdidas económicas. El objetivo principal es desarrollar una metodología para estimar el valor de la exposición ante una inundación de magnitud **Tr: 500**.

Se cuantificó el grado de ocupación promedio de la terminal durante 6 meses utilizando información proporcionada por el sistema de transporte. Los resultados mostraron que en promedio habían 156.021 personas al mes en la terminal. El mes de diciembre tuvo la máxima ocupación con 225.726 pasajeros, mientras que en enero hubo un mínimo de 169.566 pasajeros. Además, se realizó una validación visual visitando la terminal durante 4 semanas en días típicos y fines de semana para corroborar los valores de ocupación obtenidos.

Se estimó el valor de los bienes expuestos en la terminal en aproximadamente **\$716.353.116**. En caso de una inundación con Tr: 500 años de una duración de evacuación de 4,5 meses, se calcularon las pérdidas económicas si la terminal dejara de operar durante ese período. Considerando las pérdidas de los bienes expuestos, se obtuvo un supuesto aproximado de **\$5.232.842.622**, equivalente al 0,11 % del presupuesto anual de Cali para el año 2022. Para ello, se realizaron las siguientes etapas: búsqueda de información, identificación de la amenaza, análisis de ocupación, evaluación de bienes expuestos y presentación de información. Adicionalmente, se desarrolló un geoportal con un geovisor que permite al usuario ingresar el área afectada por la inundación y consultar las paradas afectadas. Este geovisor es una prueba piloto que utiliza una base de datos espacial en PostgreSQL y se visualiza mediante el servidor de mapas Geoserver y la librería Leaflet.

Palabras clave— Exposición, inundación, distrito de Aguablanca, SIG, Terminal.

Abstract

The project focuses on studying the flood exposure of the Andrés Sanín Terminal in the Aguablanca district of Cali. Although the terminal is resilient and has several years of remaining service life, heavy rains and floods can cause damages and economic losses. The main objective is to develop a methodology to estimate the cost of exposure in a flood event of **Tr: 500** magnitude.

The average occupancy level of the terminal was quantified over 6 months using information provided by the transportation system. The results showed that, on average, there were 156,021 people per month at the terminal. December had the highest occupancy with 225,726 passengers, while January had the minimum of 169,566 passengers. Additionally, the visual validation exercise by visiting the terminal for four weeks on typical days and weekends allows for verifying the occupancy values obtained.

The exposed assets at the terminal cost approximately **\$716,353,116**. In the event of a Tr: 500-year flood with a duration of 4.5 months for evacuation, the economic losses are calculated if the terminal were to cease operations during that period. Considering the losses of exposed assets, an approximate value of **\$5,232,842,622** represents 0.11 % of Calis annual budget for 2022. In this investigation, four steps were considered: information re search, hazard identification, occupancy analysis, evaluation of exposed assets, and information presentation. Finally, the geoportal with a geoviewer developed, allows users to enter the flooded area and check affected stops. This geoviewer is a pilot project that utilizes a spatial database in PostgreSQL and visualized through the Geoserver map server and the Leaflet library.

Keywords— Exposure, flood, Aguablanca district, GIS, Terminal.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a Dios, en este momento trascendental de nuestras vidas, miramos atrás y reconocemos que no podríamos haber llegado hasta aquí sin la guía y la presencia constante de Él.

Queremos expresar el más sincero agradecimiento a nuestra directora Lina Ospina Ostios por su inquebrantable dedicación y paciencia a lo largo del desarrollo del proyecto. Sin sus palabras de aliento y sus correcciones precisas, no habríamos podido alcanzar esta etapa tan esperada.

Nuestro reconocimiento sincero al profesor Javier Thomas, quien nos acompañó y orientó durante una etapa fundamental de este proyecto. Agradecemos su tiempo y profesionalismo. Sus correcciones y orientaciones fueron de gran ayuda para poder enfocar adecuadamente nuestro trabajo.

A los profesores del PAIT: Francisco Luis Hernández, Ciro Jaramillo, Jackeline Murillo, y en especial a Mauricio Rincón, por brindarnos su atención y dedicarnos su valioso tiempo para ayudarnos a aclarar ideas durante el desarrollo de este proyecto, su disposición para escucharnos, su apoyo y sus consejos fueron de gran importancia para nosotras.

Al profesor Wilfredo Alfonso por brindarnos las herramientas para la creación de este documento. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento a la geógrafa Alba Nidia Castaño por su apoyo y orientación en varias secciones de este trabajo.

Al Ing. Jorge Gallego por dedicarnos su tiempo, compartir su valioso conocimiento y experiencia con nosotras. Valoramos profundamente su disposición para responder nuestras preguntas y brindarnos orientación en momentos clave.

A MetroCali y UTRYT por su colaboración en la realización de este proyecto. Su generosidad para brindarnos los elementos y materiales clave ha sido fundamental para el éxito de nuestra investigación. Gracias por permitirnos acceder a la información relevante y los recursos necesarios para llevar a cabo nuestro estudio de manera precisa y completa.

Dedicatoria

Dedicatorias Valentina Caicedo Zapata

A mis padres y hermana quiero expresarles mi profundo agradecimiento por su constante apoyo a lo largo de todo este proceso. Desde el principio, ustedes estuvieron a mi lado brindándome orientación y todas las herramientas necesarias para alcanzar mis metas.

A mi tía Martha Cecilia y a mi novio Alexis Trujillo por su apoyo incondicional en cada detalle de esta etapa. Su presencia y respaldo constante han sido una fuente de fortaleza y motivación para mí.

A mi compañera y amiga, Diana Carolina, por ser una parte fundamental de este proceso. Tu compromiso y dedicación han sido invaluable y han contribuido en gran medida al éxito de este trabajo.

Dedicatorias Diana Carolina Serna Sánchez

Hoy, al llegar a este punto de mi carrera académica, quiero dedicar este logro a dos mujeres extraordinarias que han sido mi inspiración y apoyo incondicional a lo largo de todo este camino, mi mamá y mi tía Manuela. Ustedes son mi ejemplo a seguir y mi mayor inspiración, las amo con todo mi corazón y no puedo esperar a continuar este emocionante viaje de la vida con su apoyo.

Mi familia, pero sobre todo mi prima Vicky y a mi querido Simón, han sido fundamentales en mi camino. A mis amigas del colegio el parche C.Alegre en especial mi Carol y Kate que comparten mi logro en la Univalle.

Para mi compañera de tesis y amiga Valentina Caicedo Z, hoy, en el momento de concluir este emocionante viaje académico, quiero expresar mi gratitud y admiración. Sin ti, no habría podido afrontar todos los desafíos y obstáculos que encontramos en el camino.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	I
Abstract	II
Agradecimientos	III
Dedicatoria	IV
Lista de Figuras	VII
Lista de Tablas	X
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. Organización del Documento	3
1.3. Historia de Aguablanca entre XIX a la actualidad	3
2. Marco Teórico.....	5
2.1. Estado del arte.....	5
2.2. Marco conceptual	9
2.2.1. Infraestructura crítica	9
2.2.2. Terminales de Cabecera e Intermedias	9
2.2.3. Terminal de Cabecera Andrés Sanín	10
2.2.4. Estudio de frecuencia y ocupación visual	11
2.2.5. Sistema de información geográfica (SIG)	11
2.2.6. Herramientas SIG	12
2.2.7. Base de datos geográfica	13
2.2.8. Geodatabase	13
2.2.9. Riesgo	14
2.2.10. Amenaza	15
2.2.11. Vulnerabilidad	15
2.2.12. Exposición	15
2.2.13. Fragilidad	16
2.2.14. Gestión del riesgo.....	16
2.2.15. Pérdidas	16
2.2.16. Desastre	17

2.2.17. Inundación	17
2.2.18. Tipos de inundación	18
3. Metodología	19
3.1. Área de estudio	19
3.2. Actividades propuestas	22
3.2.1. Fase 0: Búsqueda de información	22
3.2.2. Fase 1: Caracterización de la amenaza	23
3.2.3. Fase 2: Análisis de ocupación en la Terminal Andrés Sanín	30
3.2.4. Fase 3: Valoración económica de la infraestructura crítica expuesta	36
3.2.5. Fase 4: Presentación de la información	39
4. Resultados	47
4.1. Caracterización de la amenaza con base en información secundaria	47
4.1.1. Historicidad de inundaciones	47
4.1.2. Magnitud de las inundaciones históricas	54
4.1.3. Probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno	60
4.1.4. Fragilidad	65
4.2. Características del comportamiento de la ocupación en la Terminal Andrés Sanín	73
4.3. Evaluación de los bienes expuestos	85
4.4. Presentación de la información	95
5. Conclusiones, limitaciones y perspectivas	110
5.1. Limitaciones	110
5.2. Conclusiones	111
5.3. Perspectivas	113
6. Anexos	115
6.1. Formato llevado a campo en la recolección de datos de la ocupación en la Terminal	115
6.2. Vídeo guía del funcionamiento del Geoportal y Geovisor	115
6.3. Encuesta realizada a usuarios de la Terminal	116
Referencias	121

Lista de Figuras

FIGURA	Pag.
3.1. Mapa de puntos de carga y descarga de las bahías de la Terminal.....	20
3.2. Nivel de intensidad o magnitud de la amenaza por inundaciones	25
3.3. Formato de Frecuencia y Ocupación Visual - Transporte público intermunicipal	34
3.4. Adaptación del Formato de Frecuencia y Ocupación Visual	34
3.5. Caso de uso usuario básico	41
3.6. Modelo lógico del sistema	43
3.7. Proceso lógico del sistema.....	44
4.1. Inundación 1938	48
4.2. Áreas inundables hacia la década de 1950 en los alrededores de Cali	49
4.3. Aspectos de la inundación de 1950	50
4.4. Cali desde Cristo Rey: Área inundada y Laguna de Aguablanca (1950)	51
4.5. Las grandes inundaciones provocadas por el río Cauca en el 2010	52
4.6. Vías de Cali afectadas por fuertes lluvias en el 2017	53
4.7. Inundación barrio Puerto Nuevo.....	53
4.8. Inundación barrios del oriente de Cali noviembre 2017	54
4.9. Mapa de asentamientos informales a la orilla del Rio Cauca con la densidad poblacional del año 2016	55
4.10. Usos del suelo en la zona del Distrito de Aguablanca	56
4.11. Reportes de desastres, pérdidas y daños que se han manifestado durante el periodo de (1950 al 2012)	57
4.12. Reportes de pérdidas y daños causados por el evento de inundación durante el periodo de (1950 al 2012).....	59

4.13. Escenario de amenaza para TR 500 años/Tramos de desborde de 150 m	61
4.14. Localización de la Terminal Andrés Sanín	62
4.15. Mapa de escenarios de amenaza por inundación fluvial	63
4.16. Mapa de distancia de la Terminal Andrés Sanín con canales de aguas lluvia ...	64
4.17. Distancia del piso de la Terminal hasta la base de la puerta del vehículo MIO .	65
4.18. Mapa de distancia horizontal de la Terminal al río Cauca	67
4.19. Mapa de la distancia euclidiana de la Terminal al río Cauca	68
4.20. Distribución de las bahías de la Terminal Andrés Sanín para carga y descarga de pasajeros	73
4.21. Túnel subterráneo que comunica las dos Bahías	74
4.22. Validación de la ocupación visual en campo	78
4.23. Gráfica de base de datos mes de marzo 2022 validación de la ocupación visual en campo	79
4.24. Promedio de ocupación en días típicos	79
4.25. Promedio de ocupación, fines de semana	80
4.26. Mapa de densidad en la ocupación de la Terminal	82
4.27. Organización de la Geodabase	95
4.28. Organización de feature class	96
4.29. Base de Datos en Postgres	98
4.30. Interfaz principal del geoportal	99
4.31. Interfaz de botones y funciones principales del geoportal	99
4.32. Interfaz de bienvenida al sistema	100
4.33. Interfaz de introducción al sistema	101
4.34. Interfaz de servicios del sistema	101
4.35. Interfaz de noticias actualizadas sobre eventos de inundación en Cali	103
4.36. Interfaz de representantes del sistema	104

4.37. Interfaz de información de contacto	104
4.38. Botón despliegue hacia el geovisor.....	105
4.39. Pestaña del geovisor.	105
4.40. Interfaz del geovisor	106
4.41. Herramientas de zoom in y zoom out	107
4.42. Herramienta de marcador punto de inundación	107
4.43. Herramienta de consulta	108
4.44. Ejecución del geovisor	108
6.1. Imagen de formato de ocupación	115
6.2. Resultados de respuesta 1 a encuesta	116
6.3. Resultados de respuesta 3 a encuesta	117
6.4. Resultados de respuesta 2 a encuesta	117
6.5. Resultados de respuesta 4 a encuesta	118
6.6. Resultados de respuesta 5 a encuesta	118
6.7. Resultados de respuesta 5 a encuesta	119
6.8. Resultados de respuesta 5 a encuesta	120

Lista de Tablas

TABLA	Pag.
1.1. Historia del poblamiento del distrito de Aguablanca	4
3.1. Rutas Troncales	20
3.2. Rutas Pre-Troncales	21
3.3. Rutas Circulares	21
3.4. Rutas Alimentadoras o Circulares	21
3.5. Rangos de profundidad y velocidad ante el evento de inundación	24
3.6. Niveles de intensidad o magnitud de la inundación	25
3.7. Límite de presión horizontal soportada de las estructuras	27
3.8. Factor de resistencia por tipología de las estructuras	28
3.9. Factor de resistencia por altura de la estructura	28
3.10. Factor de resistencia por servicio de la estructura.....	29
3.11. Vida útil de las estructuras	29
3.12. Estado de conservación de las estructuras	30
3.13. Rangos de ocupación visual	35
3.14. Inflación de Colombia en los últimos 12 años	37
4.1. Valor de intensidad obtenido.....	68
4.2. Resultado presión de impacto (kPa).....	69
4.3. Resultado presión de impacto (I_{f-pre})	69
4.4. Profundidad de la inundación.....	70
4.5. Intensidad de la inundación sobre la Terminal.....	70
4.6. Factor de resistencia estructural ante el evento de inundación (S_e)	71

4.7. Fragilidad de la Terminal ante inundación	72
4.8. Número de personas por día para la primera semana	75
4.9. Número de personas por día para la segunda semana.....	75
4.10. Número de personas por día para la tercera semana	76
4.11. Número de personas por día para la cuarta semana	76
4.12. Validaciones diarias registradas en base de datos de Metrocali para el mes de marzo 2022	77
4.13. Promedios de los días típicos de las Validaciones diarias registradas en base de datos de marzo 2022 y las validaciones de ocupación visual en campo.	78
4.14. Promedios de los días típicos mas los fines de semana de las Validaciones diarias registradas en base de datos de marzo 2022 y las validaciones de ocupación visual en campo.	81
4.15. Cantidad de personas que trabajan por mes para la operación de la Terminal Andrés Sanin.	81
4.16. Promedio mensual de ocupación.....	83
4.17. Valores de ocupación de la Terminal Andrés Sanín durante los 6 meses (septiembre del 2019 a Febrero 2020) Fuente: Elaboración propia con datos de Metrocali.....	83
4.18. Elementos eléctricos y electrónicos (parte 1)	86
4.19. Elementos eléctricos y electrónicos (parte 2)	86
4.20. Elementos eléctricos y electrónicos (parte 3)	86
4.21. Elementos eléctricos y electrónicos (parte 4)	87
4.22. Elementos eléctricos y electrónicos (parte 5)	87
4.23. Elementos eléctricos y electrónicos (parte 6)	88
4.24. Elementos eléctricos y electrónicos (parte 7)	88
4.25. Elementos de seguridad (parte 1).....	88
4.26. Elementos de seguridad (parte 2).....	89
4.27. Elementos de seguridad (parte 3).....	89

4.28. Elementos de oficina y de taquillas (parte 1)	90
4.29. Elementos de oficina y de taquillas (parte 2)	90
4.30. Total del valor activos para cada tipo de elemento de la Terminal.....	91
4.31. Estimación de ingresos en pasajes de la Terminal	92
4.32. Costo de la estructura de la Terminal de acuerdo a la inflación.....	92
4.33. Valor de la estructura de la Terminal Aguablanca al 2022	93
4.34. Datos y valores asociados a la Terminal en caso de pérdidas.....	94
4.35. Pérdidas por un mes de inactividad de la Terminal	94
4.36. Pérdidas por 4,5 meses de inactividad de la Terminal	94

1. Introducción

América Latina es una región amenazada constantemente por fenómenos naturales extremos, configurando situaciones que han llegado a retrasar procesos de desarrollo (Rodríguez Sevillano, 2020). Así ha quedado demostrado en la experiencia de algunos países donde la incorporación de criterios de reducción de riesgo o de riesgo de desastre en el ordenamiento territorial presenta obstáculos por los vacíos en el conocimiento de las amenazas, vulnerabilidades, riesgos y su aplicación para derivar decisiones de carácter regulativo que permitan mejorar las condiciones de vida de los habitantes (Ramírez Cortés, 2009).

Durante la última década se ha visto la manera en la que el costo de los desastres ha aumentado en América Latina y el Caribe alcanzando los USD \$35.000 millones, una cuarta parte del monto total a nivel global. Estas pérdidas económicas afectaron a cerca de 67 millones de personas según hace referencia la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). Estos desastres tienen un impacto negativo en cuanto al desarrollo de cualquier territorio. UNISDR (2016) afirma que en muchos casos, la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad se configuran de forma simultánea a través de los factores subyacentes del riesgo. Esto convierte al riesgo en un factor condicionante de la pobreza, y a su vez, a la pobreza se convierte en una de las causas estructurales de los desastres.

La comprensión del origen, la ocurrencia y el comportamiento de los fenómenos, en este caso, aplicada al estudio de las inundaciones, es esencial en este trabajo de investigación. Factores como su distribución en el espacio y el tiempo dentro del territorio, así como su impacto en las infraestructuras críticas, son elementos cruciales que deben abordarse en primer lugar. Además, es fundamental identificar los procesos territoriales y sectoriales que contribuyen a la creación del riesgo, junto con las posibles implicaciones económicas. Abordar estos aspectos a través de estudios específicos relacionados con la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo proporciona una base sólida para la toma de decisiones en lo que respecta al ordenamiento territorial.

Por las razones antes mencionadas, las entidades de gobierno han adelantado esfuerzos en la generación de cartografía de amenaza. Por ejemplo, en el año 2013, el diagnóstico para

el Jarillón de Aguablanca incorporó la simulación hidrológica e hidrodinámica del río Cauca para períodos de retorno de 100, 250 y 500 años, tomando como punto de calibración la estación Juanchito. En el procedimiento se calcularon cuatro parámetros: área, profundidad, volumen y duración de la inundación que afectaría a la ciudad de Cali. Los resultados para el escenario Tr: 500 años serían la permanencia de la inundación por 8,6 días alcanzando profundidades que oscilan entre los 30 centímetros y más de siete metros (Burbano et al., 2016).

En estos casos, la exposición juega un papel fundamental. En ella se consideran al conjunto de bienes humanos, materiales, ecológicos, económicos, u otros elementos presentes en zonas de riesgo que puedan ser afectados por la ocurrencia del fenómeno de acuerdo con su ubicación, y que actualmente debido al desarrollo económico, crecimiento de la población y al Cambio Climático, está aumentando (Ward et al., 2011). La exposición de los elementos al riesgo de inundación se estima según su ubicación, principalmente de acuerdo con su distancia al cauce.

Con base en lo mencionado, este proyecto propone estimar la exposición frente al fenómeno de inundación de la Terminal Andrés Sanín en el distrito de Aguablanca (Santiago de Cali), aplicando una metodología de tipo explicativa y cuantitativa. Esta Terminal pertenece al grupo de infraestructuras críticas de la zona. Para hallar el valor de los elementos expuestos, se consideró la depreciación del peso colombiano al 2022. Adicionalmente, se realizó un análisis de la ocupación en la Terminal con el fin de conocer la exposición en la que se encuentran las personas según la clasificación de sus actividades. Bajo este escenario, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál sería el costo que representaría para la Terminal Andrés Sanín una inundación con las características de un periodo de retorno de Tr: 500 años?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Estimar el valor de la exposición de la Terminal Andrés Sanín ante una inundación con las características de un periodo de retorno de 500 años.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar, con base en la información secundaria existente, el grado de amenaza a la que está expuesta la infraestructura crítica seleccionada.
- Evaluar el comportamiento de la ocupación durante 6 meses, con el fin de estimar las pérdidas económicas en caso de una interrupción del servicio en la Terminal.
- Determinar el valor económico de la infraestructura crítica seleccionada expuesta a inundación en el distrito de Aguablanca en Cali.
- Generar una base de datos con información de base georeferenciada que contenga los atributos de la infraestructura crítica estudiada, que pueda ser implementada en un geoportal por medio de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

1.2 Organización del Documento

Este documento consta de 6 capítulos. En el capítulo 1 encontrarán una introducción en la cual se contextualiza el problema de investigación planteado y se establecen los objetivos del proyecto. El capítulo 2 presenta por los trabajos más relevantes según la revisión del estado del arte y la definición de ciertos temas como parte del marco teórico. En el capítulo 3 se desarrolla la metodología utilizada de manera detallada, incluyendo la descripción de las bases de datos empleadas para el desarrollo del proyecto. Luego, se presentan los resultados con su respectivo análisis en el capítulo 4. En el capítulo 5 se presentan las principales conclusiones, limitaciones y perspectivas alcanzadas con el desarrollo de este proyecto. Finalmente, en el capítulo 6 se exponen los anexos del trabajo.

1.3 Historia de Aguablanca entre XIX a la actualidad

A continuación, se relatan de manera cronológica algunos de los sucesos que han contribuido en la construcción de la situación actual del distrito de Aguablanca, partiendo de sus inicios con el poblamiento desde que se conocen los primeros asentamientos hasta la condición actual (tabla 1.1):

Año	Historia del distrito de Aguablanca
SIGLO XIX	Se conoce que en la ciudad de Santiago de Cali, desde hace 150 años en la orilla del río Cauca viven comunidades afrodescendientes, que se quedaron ahí después de la independencia de esos pueblos en 1851 (Reyes Casseres, 2019).
1950	En los años 1950, el río Cauca experimentó importantes inundaciones que afectaron una amplia área, llegando incluso a la base aérea Marco Fidel Suárez. Estas abarcaron alrededor de 10.000 hectáreas, marcando la creciente histórica más grande registrada en ese momento. En esa época, los terratenientes adquirían tierras en la ciénaga de Aguablanca a precios muy bajos (Burbano et al., 2016).
1954	Las crecientes del río Cauca y sus tributarios inundaban el Valle periódicamente, estas condiciones, junto con la ausencia de infraestructura de energía y el limitado conocimiento de la agricultura, condujeron a la creación de la actual Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. La CVC fue creada mediante el Decreto 3110 de 1954 y surgió con autonomía política y administrativa y con recursos propios (Jiménez Pérez, 2015). La CVC se establece como la primera organización de desarrollo regional en Colombia y América latina, siguiendo el modelo implementado en el Valle del Tennessee (EE.UU) (CVC, 2004).
1958	Se ve la necesidad de la creación del dique (Jarillón del río Cauca) y se empieza con un plan piloto (El País, 2019).
1960	Inicio del proceso de ocupación masivo formal e informal del terreno (Velásquez, 2004).
1979	Terremoto y maremoto en Tumaco en el sur del litoral del Pacífico dejando miles de personas de la comunidad afro descendiente sin hogar y se crea un rumor de que en Cali se están regalando lotes. En consecuencia se genera un desplazamiento de esta población hacia el sector de Aguablanca (Velasco and López, 2016).
1980	El recrudecimiento del conflicto armado en Colombia en la década de los 80's generó que muchas personas se desplazaran. Cali se convirtió en uno de los polos urbanos de mayor atracción para los desplazados del sur del país y del pacífico colombiano, concentrándose en el distrito de Aguablanca. (Velásquez, 2004)
1985	Creación de la represa de Salvajina, situada en el Río Cauca en el municipio de Suárez, Cauca (Colombia), es una hidroeléctrica con un embalse de 31 km de extensión. Su construcción tenía como objetivos principales prevenir inundaciones, producir energía y mantener un nivel adecuado de calidad del agua y evitar la contaminación en esa área (Sañudo et al., 2016).
1990	La expansión de Cali hacia el distrito de Aguablanca llegó al máximo, se ocuparon los diques de los ríos Cauca y Cali debido a la falta de control urbanístico en la zona y factores como la titulación de tierras a agricultores urbanos a través de acciones colectivas y alianzas políticas (Bustos López, 2020) .

Tabla 1.1: Historia del poblamiento del distrito de Aguablanca
Fuente: Elaboración propia

2. Marco Teórico

Este capítulo presenta los principales antecedentes usados en el desarrollo del presente proyecto de investigación. Estos permitirán conocer de manera general el estado del arte, relacionando proyectos que presentan diferentes metodologías para plantear soluciones a problemáticas asociadas con inundaciones, enfatizado en las variables condicionantes y detonantes que son implementadas para conocer la amenaza, permitiendo caracterizar el fenómeno con el fin de responder al primer objetivo específico. Adicionalmente, en el marco conceptual se definirán los principales conceptos relacionados con esta investigación: inundaciones, base de datos, herramientas SIG y los respectivos criterios de evaluación que se usarán.

2.1 Estado del arte

En este apartado se presentan los principales aportes de acuerdo con diferentes autores respecto al riesgo por inundación y la exposición (valor de los elementos expuestos), detallando los estudios sobre el nivel de exposición en el que se encuentran las personas en Colombia ante el riesgo por inundación. A continuación, se presentan los estudios considerados en un orden que va desde lo mundial hasta llegar a lo local.

Durante las últimas dos décadas, se ha observado un aumento global en el número de inundaciones relacionado con el calentamiento térmico en el planeta. Según informes publicados por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC), se confirma que el riesgo de inundaciones aumentará tanto en frecuencia como en intensidad debido a eventos de precipitación y a factores adicionales, como el crecimiento de asentamientos humanos, la modificación del cauce de ríos y el cambio de uso del suelo (Coninx, 2007). De acuerdo con el informe de Bernal et al. (2016), las pérdidas económicas causadas por desastres naturales en 2014, según el Annual Global Climate and Catastrophe Report, estuvieron encabezadas por inundaciones, ciclones tropicales y tormentas, representando el 72% de las pérdidas globales. En ese informe se destaca que las inundaciones ocurridas en la región de Kashmir, en septiembre de 2014, causaron daños considerables con un costo superior a los 18 mil millones de dólares en India y Pakistán. Asimismo, en mayo del mismo año, se registraron lluvias que resultaron en inundaciones significativas en los Balcanes, en el sureste de Europa.

El artículo de Alcocer-Yamanaka et al. (2016), presenta una metodología desarrollada en México para la generación de mapas de riesgo que integran los mapas de peligro y vulnerabilidad por inundación. Esta metodología se diseñó con la flexibilidad necesaria para adaptarse a diferentes áreas urbanas. Estos mapas son utilizados para estimar los costos asociados a los daños estructurales y a los bienes domésticos de las viviendas afectadas por inundaciones. El caso de estudio se enfoca en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en Chiapas, México, donde se aplicó la metodología propuesta para generar mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación. Además, se establecieron las rutas de evacuación y se revisó la ubicación de los refugios.

El estudio examina diversos criterios utilizados en varios países para determinar el peligro de las inundaciones, basados en la altura del agua y la velocidad alcanzada en calles, arroyos y ríos. Para calcular la vulnerabilidad de las edificaciones frente a eventos de inundación, se propone una metodología que se apoya en la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), contenida en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB). Esto permite determinar los mapas de vulnerabilidad de una zona urbana completa.

Alcocer-Yamanaka et al. (2016) presentan una contribución significativa en el campo de la gestión de riesgo de inundación al proporcionar una metodología integral para la evaluación y la planificación en áreas urbanas propensas a este tipo de desastres.

Bitrán (1996) relata en su documento el impacto económico de los desastres naturales en la infraestructura de la salud. En términos generales, exponen las pérdidas causadas por los desastres naturales en hospitales e infraestructura de salud en América Latina y el Caribe durante los últimos 15 años, discriminando entre las directas e indirectas, así como sus costos de reposición. En el, toman como base diversos estudios sobre las repercusiones económicas de los desastres naturales en la región realizados por la CEPAL, incluyendo un Manual para la Estimación de los Efectos Económicos de los Desastres Naturales de CEPAL (1991). En su estudio, contemplan además de la valoración de los posibles daños, lo que conllevaría una planeación para las actividades de rehabilitación y su reconstrucción.

En el caso de Sedano Cruz et al. (2013), analizaron algunos aspectos que potenciaron las inundaciones en Colombia en el período 2010/2011, realizando una revisión y síntesis de la información sobre diferentes enfoques para el manejo de inundaciones en armonía con la visión ecosistémica y de gestión integral de los recursos hídricos. Como resultado obtuvieron que las temporadas de lluvias y el fenómeno de La Niña de abril de 2010 a diciembre de

2011 dejaron 5,2 millones de personas afectadas y 683 muertos. Este período ha sido el más crítico en la historia de Colombia, ya que duplica las pérdidas acumuladas por inundaciones en 30 años. Además de lo anterior, se identifica que el desastre se debió a una suma de factores entre los que destacan: cambios en la cobertura vegetal, las deficiencias en la gestión del suelo y los recursos hídricos; las debilidades en el diseño y gestión de la infraestructura, en los patrones de crecimiento demográfico, los problemas institucionales en la prevención y atención de emergencias; la falta de transparencia y la corrupción; una legislación que carece de metodologías para aplicación, de recursos fiscales y de mecanismos para el seguimiento y medición resultados; entre otros.

En un estudio similar al anterior llamado “Génesis y manifestación de las inundaciones en Colombia” por Lage (1997), se contemplan las principales características de las inundaciones para el territorio nacional. Se parte de la definición de inundación, de un inventario de 400 casos aproximadamente, para llegar inicialmente a una clasificación. Posteriormente, se inserta dentro de lo que se conoce como sistema de transferencia en un corte longitudinal, que luego es espacializado a partir de una síntesis cartográfica. Finalmente, en un proceso de retroalimentación con las fases anteriores del trabajo, se propuso una tipología de inundaciones para todo el territorio colombiano.

De manera local, se encontró un “Análisis de las Estrategias de Mitigación del Riesgo ante los Impactos de las Inundaciones de 2010-2012 en la ciudad de Cali”, llevado a cabo por Burbano et al. (2016). Se señala la importancia del proyecto en relación con la magnitud del riesgo que se busca mitigar, así como algunas situaciones que podrían conducir al fracaso del mismo, al menos en su componente social debido a las condiciones de vida que se quieren mejorar de la población. Hasta el momento, parece una premisa subsumida por la urgencia de reducir la amenaza de inundación y la vulnerabilidad de la infraestructura vital.

De manera más reciente, Rodríguez Sevillano (2020) realiza una zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de Santiago de Cali considerando siete variables de análisis, basándose en condicionantes asociados a la topografía y cercanía a la fuente de la amenaza. Es construido a partir de la combinación lineal ponderada e implementado en la plataforma de un sistema de información geográfica. Resalta que la amenaza alta ocupa 6 % de la superficie inundable, la media 22 % y la baja 72 %. Las áreas más vulnerables son sectores ubicados en 37 barrios localizados principalmente en la zona oriental de la ciudad. Esta condición está determinada por la profundidad de inundación, la acumulación de flujo, la inclinación de la

pendiente y la cercanía a canales y fuentes hídricas. La zonificación de la amenaza ante inundaciones es un acercamiento al conocimiento del riesgo y se aproxima a la instrumentación del ordenamiento del territorio. Para este artículo tuvieron en cuenta el trabajo de Elsheikh et al. (2015) por su relación con el riesgo por inundación y el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Dentro de los estudios recientes, se encuentra el de Estrella Villarreal (2020), en el cual realiza una caracterización de la exposición a la amenaza sísmica del área de urgencias de un hospital nivel 3 en la ciudad de Cali. A pesar de ser aplicado a la amenaza sísmica, integra variables que van muy acorde y de la mano con el presente proyecto, por lo cual fue considerado como una base metodológica aplicada. Dicha investigación se enfoca en cuantificar el grado de exposición en el que se encuentra el hospital. Para ello analiza la ocupación por área en un periodo determinado, y al mismo tiempo los elementos materiales expuestos, entre otras variables que se deben tener en cuenta cuando de amenaza sísmica se trata.

Con base en los estudios e investigaciones antes expuestos, se identificaron patrones y tendencias en cuanto a enfoques, diseños metodológicos y otras consideraciones clave. Estos análisis permiten comprender cómo el cambio climático, con su influencia en el calentamiento térmico, ha ampliado tanto la frecuencia como la intensidad de las inundaciones a nivel global. Estas crecientes inundaciones representan una amenaza considerable para la economía mundial.

El enfoque de este trabajo presenta elementos distintivos y complementarios con respecto al estado del arte delineado en este documento. Uno de los enfoques consistió en desarrollar metodologías específicas para la recolección de información histórica y actual sobre la amenaza por inundación, y que además vinculan los costos que dejaron los daños estructurales y las perturbaciones en los bienes domésticos.

Tomando el contexto de Colombia como referencia, donde las inundaciones han presentado retos notables, se llevó a cabo la búsqueda de investigaciones de zonificación de amenazas en la ciudad de Cali; ésta metodología permitió identificar áreas particularmente vulnerables. Además, también se exploró la exposición a amenazas sísmicas en contextos urbanos, analizando tanto la ocupación de áreas como la exposición de elementos materiales. Este enfoque resultó fundamental para posteriormente ser aplicado al fenómeno estudiado, y luego ser complementado con herramientas SIG, focalizándose en los elementos

relevantes en lo que respecta a la exposición a inundaciones. Esto se aplicó especialmente a la Terminal, que se ubica en el centro del trabajo.

2.2 Marco conceptual

A continuación, se presentarán los principales conceptos considerados para el desarrollo del proyecto.

2.2.1 Infraestructura crítica

De acuerdo con el Consejo de Europa (2008), se define como “el elemento, sistema o parte del sistema situado en los estados miembros que es esencial para el mantenimiento de funciones sociales vitales, la salud, la integridad física, la seguridad, el bienestar social y económico de la población, cuya perturbación o destrucción afectaría gravemente a un Estado”.

En otras palabras, LISA Institute (2012) la define como “todos aquellos sistemas físicos o virtuales que facilitan funciones y servicios esenciales para apoyar a los sistemas más básicos a nivel social, económico, medioambiental y político”. También ponen en consideración que una alteración o interrupción en su funcionamiento debido a causas naturales, como por ejemplo una inundación que afecte el servicio de transporte urbano, podría conllevar graves consecuencias. Este es el caso de la infraestructura estudiada en el marco del presente trabajo de investigación, la cual corresponde a una Terminal de transporte de un municipio de categoría especial.

2.2.2 Terminales de Cabecera e Intermedias

Las Terminales del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) MIO, se dividen en dos tipos: Terminales de cabecera e intermedia. MetroCali (2022) las define como espacios de integración donde se concentran los usuarios y se distribuyen a través de las rutas al interior de la ciudad.

2.2.3 Terminal de Cabecera Andrés Sanín

Es la Terminal de cabecera ubicada en el oriente de la ciudad de Cali en la Comuna 21, específicamente en la Avenida Ciudad de Cali entre las carrera 21 y 19. Esta Terminal fue puesta en operación en el año 2011; ejecutada mediante un (1) contrato de obra pública a cargo del Contratista SAINC INGENIEROS CONSTRUCTORES S.A. con una inversión de \$29.533.841.143 (MetroCali, 2022).

Las rutas se dividen en tres tipos: troncales, pretroncales y alimentadoras; que para la Terminal Andrés Sanín se caracterizan a continuación según MetroCali (2022):

- Rutas Troncales: Las rutas troncales T47A, T47B y T40, después de atender la estación 7 de Agosto en el sentido occidente - oriente, toman la calzada mixta de la Diagonal 15 en el cruce con la Calle 72a, para luego girar a la derecha por la Avenida Ciudad de Cali y por ésta ir hasta el puente ubicado en la Diagonal 25 para retornar y acceder a la Terminal Andrés Sanín. De regreso, los buses salen de la Terminal por la Avenida Ciudad de Cali, para luego girar a la izquierda en el cruce con la Diagonal 15 y por ésta acceder al solo carril de bus, para atender la estación 7 de Agosto y seguir hacia el centro por su recorrido habitual.
- Rutas Pretroncales: La ruta P47A solo opera por la Avenida Ciudad de Cali en los dos sentidos y la ruta P47B opera por la Autopista Oriental en los dos sentidos, conectando ambas: la Terminal Andrés Sanín con la estación Unidad Deportiva. Las rutas P14, P24 y P47B, después de atender la estación 7 de Agosto en el sentido Occidente - Oriente, realizan un recorrido similar al descrito para las rutas troncales T40, T47A y T47B, tanto para ingresar a la Terminal como para salir de ésta. En este escenario, las rutas P14, P24 y P47B quedan atendiendo la estación 7 de Agosto en los dos sentidos. Las rutas P43 y P47A, ingresan y salen de la Terminal Andrés Sanín por la Avenida Ciudad de Cali.
- Rutas Alimentadoras: Las rutas A41, A42, A44 y A47 ingresan y salen de la Terminal Andrés Sanín por la Calle 75. Las rutas A42 y A44 se canalizan por la Avenida Ciudad de Cali hacia la estación 7 de Agosto, para que continúen por la Carrera 25 y la Calle 75 hacia la Terminal.

2.2.4 Estudio de frecuencia y ocupación visual

Este es un estudio de utilización del servicio de transporte público que permite determinar la carga de pasajeros y de buses en un punto determinado de la red dentro de un periodo de tiempo definido. Básicamente consiste en: a) determinar el tiempo transcurrido entre el paso de dos buses consecutivos de las diferentes rutas que utilizan el corredor bajo análisis y b) contar o estimar el número de pasajeros que hacen uso del servicio en el tramo en el cual se ubica el punto de aforo, de acuerdo con Romero (2013). En este caso, se hizo hincapié en la sección b, debido a que parte del estudio consiste en conocer el número aproximado de ocupación de pasajeros en la Terminal para así mismo conocer el grado de exposición en la que se encontraría durante un evento de inundación.

2.2.5 Sistema de información geográfica (SIG)

De acuerdo con Esri (2022), un sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta fundamental en el ámbito de la geografía, que permite la recopilación, gestión y análisis de datos geoespaciales. Estos sistemas se basan en la integración de diversos tipos de información y se valen de mapas y escenas en 3D para visualizar y entender la ubicación espacial de los datos. Gracias a esta funcionalidad, los SIG proporcionan una visión más profunda de los patrones, relaciones y situaciones, lo que resulta en decisiones más informadas y acertadas por parte de los usuarios.

Mancebo Quintana et al. (2008), proponen que algunos autores restringen el término SIG a los programas de ordenador capaces de no solo permitir la visualización, consulta e impresión de los mapas, sino además realizar operaciones de análisis como superposiciones vectoriales o álgebra de mapas. También a los programas de ordenador capaces de manejar mapas sin realizar análisis se les ha denominado SIG de escritorio, en lo que resaltan que el límite entre un SIG de escritorio y un SIG completo es muy difuso en la realidad.

A continuación se mencionan algunas de las ventajas de los SIG en el contexto del riesgo:

- Identificar y analizar áreas de riesgo específicas, ya sea para desastres naturales como inundaciones, terremotos o incendios forestales, o para riesgos relacionados con la salud pública, la seguridad, o la infraestructura crítica.
- Combinar datos históricos con información en tiempo real para evaluar cómo ha

evolucionado el riesgo en una determinada área y ayudar a prever tendencias futuras.

- Al cruzar datos de infraestructuras, poblaciones, y características geográficas con información de amenazas y peligros, los SIG pueden identificar áreas y poblaciones más vulnerables frente a determinados riesgos.
- Los SIG facilitan la identificación de áreas de alto riesgo y la planificación de acciones para reducir su impacto, como la ubicación óptima de refugios, rutas de evacuación o la distribución de recursos de emergencia.
- Los mapas y visualizaciones creados por los SIG son herramientas poderosas para comunicar información sobre riesgos a diferentes audiencias, incluidos los responsables de la toma de decisiones, lo que favorece una acción más informada y coordinada.

2.2.6 Herramientas SIG

Esri (2021), resalta cómo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han modernizado la manipulación de datos geográficos al automatizar tareas que antes se llevaban a cabo manualmente. Ejemplos incluyen la creación de mapas mediante la superposición de capas y la adaptación de proyecciones en áreas de estudio específicas. Estas tareas manuales eran notoriamente arduas y complicadas, lo que limitaba la difusión de información geográfica y de datos. Esta dificultad impulsó la creación de los SIG como solución a estos problemas, permitiendo una manipulación más eficiente de la información espacial y, a su vez, ampliando su accesibilidad y utilidad. Dentro de estas herramientas, se presentan a continuación las que principalmente se implementaron en este trabajo de investigación:

- **Shapefile**

Esri (2018), describe de manera concisa el formato de archivo llamado shapefile, utilizado para almacenar información geoespacial y atributos de entidades geográficas. Destacan que el shapefile se caracteriza por su simplicidad. Puede contener puntos, líneas o polígonos para representar diferentes tipos de entidades geográficas. Además de la geometría, el shapefile puede incorporar tablas que almacenan atributos asociados a las entidades presentes en el archivo. Esto permite una representación completa de la información espacial y su contexto en un solo formato.

- **Raster**

Según Esri (2018), los raster son una forma digital de representar información espacial mediante una disposición de celdas o píxeles organizados en una matriz de filas y columnas. En esta estructura, cada celda contiene valores que reflejan información específica, como mediciones de temperatura, altitud del terreno o intensidad de eventos naturales. Estos datos raster pueden originarse de diversas fuentes, como imágenes aéreas, capturas satelitales, mapas escaneados o imágenes digitales. Cada píxel se vincula con una ubicación geográfica precisa, definida por las coordenadas que establecen su posición en la matriz. Este enfoque permite una representación detallada y precisa de información espacial con diversas aplicaciones.

■ IDW

Esri (2020), define que el procedimiento IDW, conocido como Ponderación de Distancia Inversa, emplea una técnica de interpolación que evalúa los valores correspondientes a las celdas mediante la obtención de promedios derivados de los datos de muestra localizados en las proximidades de cada celda de análisis.

2.2.7 Base de datos geográfica

Según la definición de IGN (2015), una Base de Datos Geográfica (BDG) representa un conjunto de datos relacionados con la ubicación y la geografía, dispuestos de forma organizada para facilitar el análisis y la administración del entorno en el contexto de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además, esta colección brinda el respaldo necesario para la implementación de diversos servicios espaciales en relación a las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), y su contenido desempeña un papel esencial en los procedimientos de generación de representaciones cartográficas.

2.2.8 Geodatabase

“Una geodatabase de ArcGIS es un conjunto de datos geográficos de diferentes clases que se almacenan en una ubicación común en el sistema de archivos o en un sistema de administración de bases de datos relacionales, como Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, IBM Informix o IBM Db2” (Esri, 2018). Las geodatabases presentan diversidad en su tamaño y se adaptan para servir a distintos usuarios, experimentando un crecimiento que abarca desde bases de datos de pequeña escala diseñadas para un único

usuario y almacenadas en archivos, hasta bases de datos de mayor envergadura empleadas por equipos de trabajo, departamentos o incluso empresas completas, con la capacidad de brindar acceso simultáneo a múltiples usuarios.

Según Esri (2018), una geodatabase almacena y gestiona datos geográficos, como capas vectoriales, imágenes ráster, tablas de atributos y relaciones espaciales entre ellos. Puede contener diferentes tipos de datos, como puntos, líneas, polígonos, superficies, redes de transporte y datos de elevación, entre otros.

2.2.9 Riesgo

La palabra se emplea para describir la eventualidad de perder algo o experimentar un resultado no deseado, peligroso o negativo. Este concepto puede descomponerse en dos elementos: la probabilidad de que ocurra algo negativo y la magnitud del impacto que dicho resultado tendría. Esto sugiere que a medida que aumenta la probabilidad y el potencial de pérdida, el riesgo asociado también aumenta. En resumen, “el término riesgo encapsula la noción de incertidumbre y la posibilidad de consecuencias desfavorables en diferentes situaciones” (Echemendía Tocabens, 2011).

En Colombia, la Ley 1523 (Congreso de la República de Colombia, 2012) en su Artículo 5 define el riesgo como “la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos”. Cabe resaltar que el riesgo no existe por sí solo, sino que depende de otros factores. En la ecuación 2.1, Sanahuja (1999), presenta la ecuación más usada a nivel mundial. Sin embargo, es posible encontrarla modificada en la cual se incluye directamente la exposición o se divide por las capacidades.

$$RIESGO = AMENAZA * VULNERABILIDAD \quad (2.1)$$

El riesgo es directamente proporcional a la amenaza y a la vulnerabilidad. Cabe resaltar que la amenaza no es natural, pues un fenómeno natural potencialmente peligroso se convierte en amenaza para un grupo humano solamente cuando éste es vulnerable (de Pinto, 2012).

Finalmente, (Estrella Villarreal, 2020) afirma que es fundamental comprender el riesgo en su totalidad, incluyendo sus distintos componentes, para abordar la exposición al mismo.

Esto implica no considerarlo como una serie de características aisladas, sino como un conjunto interconectado.

2.2.10 Amenaza

UNISDR (2009) define la amenaza como “fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales”. Existen diferentes tipos de amenaza (natural o antrópica). Entre las amenazas de origen natural más comunes se encuentra la de inundación. Es esta amenaza la que es considerada para la problemática de la presente investigación.

2.2.11 Vulnerabilidad

De acuerdo con la Ley 1523 (Congreso de la República de Colombia, 2012), la vulnerabilidad se define como la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

2.2.12 Exposición

La ley 1523 de 2012 (Congreso de la República de Colombia, 2012) define la exposición como la presencia de elementos esenciales en una determinada área, como personas, medios de subsistencia, servicios ambientales, recursos económicos y sociales, así como bienes culturales e infraestructura. La clave aquí es que estos elementos se encuentran en lugares que podrían ser impactados en caso de que ocurra una amenaza específica. La definición resalta cómo la ubicación de estos elementos los hace susceptibles a los efectos adversos derivados de la materialización de una amenaza.

2.2.13 Fragilidad

Vera Rodríguez and Albarracín Calderón (2017) establecen que la fragilidad está ligada al grado de susceptibilidad inherente de los elementos expuestos a una magnitud anticipada de amenaza. Esta relación sugiere que, a medida que aumenta la fragilidad, los elementos se vuelven más propensos a sufrir impactos adversos debido a la amenaza.

Además, se señala que la fragilidad se descompone en tres aspectos clave: el físico, el socioeconómico y el ambiental. Estos aspectos reflejan diferentes dimensiones de la vulnerabilidad de un sistema o entidad. El aspecto físico podría referirse a la estructura y la capacidad de resistencia ante eventos adversos. El aspecto socioeconómico podría abordar la resiliencia de las comunidades y la capacidad de recuperación ante pérdidas. Y el aspecto ambiental podría tratar la sensibilidad del entorno a impactos negativos.

La fragilidad también puede verse como “el nivel de resistencia y protección frente al impacto de un peligro o amenaza, es decir las condiciones de desventaja o debilidad relativa de una unidad social por las condiciones socioeconómicas” (MEF y GTZ, 2007).

2.2.14 Gestión del riesgo

“Es el proceso social que se orienta hacia la formulación, ejecución, seguimiento, evaluación de las políticas y diferentes acciones que aportan al conocimiento y la reducción del riesgo para el manejo de desastres. Esta tiene como propósito contribuir en la seguridad, bienestar y calidad de vida de las personas” según Ley 1523 (Congreso de la República de Colombia, 2012). De acuerdo con UNGRD (2017), la herramienta empleada en este procedimiento es conocida como Plan de Gestión de Riesgos. Este plan establece los propósitos, planes, pasos a seguir, asignaciones presupuestarias y las personas responsables encargadas de llevar adelante actividades relacionadas con la comprensión y mitigación del riesgo, así como la gestión de situaciones de desastre, entre otras acciones. Todo este proceso se enmarca dentro del contexto de la planificación.

2.2.15 Pérdidas

Según el CCPEMS (2020), las pérdidas pueden categorizarse en dos tipos principales: pérdidas directas y pérdidas indirectas. Las pérdidas directas están relacionadas con los daños

físicos, que abarcan desde la pérdida de vidas humanas hasta el deterioro de edificaciones, la infraestructura de servicios públicos, así como la afectación en industrias, comercios y el entorno ambiental. En contrapartida, las pérdidas indirectas se subdividen generalmente en dos formas: aquellas que conllevan efectos de naturaleza social, como la interrupción de la educación, los servicios públicos, el transporte y la atención médica, entre otros; y aquellas que inducen efectos económicos, incluyendo la alteración del panorama comercial e industrial, la reducción de la inversión y los costos derivados de la rehabilitación, entre otras implicaciones.

2.2.16 Desastre

De acuerdo con la referencia de UNISDR (2009), se establece como una interrupción significativa en el funcionamiento de una comunidad o sociedad. Esta interrupción va acompañada de un alto número de fallecimientos, así como de pérdidas y daños materiales, económicos y medioambientales. Estos impactos superan la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para enfrentar la situación utilizando sus propios recursos. La magnitud de los daños y las pérdidas es tal que supera la capacidad de respuesta interna de la comunidad o sociedad. Esta descripción resalta la importancia de la preparación y la cooperación a nivel nacional e internacional para abordar y mitigar las consecuencias de situaciones de este tipo, que tienen el potencial de desencadenar crisis humanitarias y sociales.

2.2.17 Inundación

UNGRD (2017) afirma que una inundación se refiere a la acumulación temporal de agua en áreas que están fuera de los cauces y reservas hídricas de las redes de drenaje, tanto naturales como construidas. Estas inundaciones ocurren cuando los cauces de escorrentía (los caminos por donde fluye el agua de lluvia) exceden la capacidad del suelo para retener e infiltrar el agua, así como la capacidad de los canales para transportarla. Tarbuck et al. (2005) la presentan como “cuando el caudal de una corriente llega a ser tan grande que supera la capacidad de su cauce, desborda sus márgenes en forma de una inundación”.

2.2.18 Tipos de inundación

Las inundaciones, que pueden surgir debido a una variedad de causas naturales y acciones humanas, constituyen un fenómeno amplio y complejo. Se originan por factores como lluvias intensas, crecidas de ríos, influencia marítima y deficiencias en la infraestructura hidráulica. Los tipos más frecuentes de inundaciones abarcan las pluviales, causadas por precipitaciones intensas; las fluviales, producto de la desbordación de ríos; las costeras, resultado de la subida del nivel del mar; y las relacionadas con fallos en la infraestructura hidráulica. En este contexto, es importante mencionar que estas definiciones se derivan de la Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). A continuación se presentarán las definiciones de los tipos de inundaciones que afectan comúnmente la ciudad de Cali. Estas fueron establecidas por CNPC & CENAPRED (2021):

- **Inundaciones fluviales**

Se originan cuando el agua proveniente del desbordamiento de los ríos se acumula en la superficie del terreno adyacente. Estos eventos están relacionados con las precipitaciones ocurridas en diversas áreas de la cuenca de drenaje, y no necesariamente con la lluvia que cae directamente sobre la zona afectada.

- **Inundaciones pluviales**

Surgen como resultado de la precipitación, manifestándose cuando el suelo alcanza su capacidad de absorción y el exceso de agua de lluvia comienza a formar depósitos, pudiendo mantenerse durante un lapso de horas o incluso días. Su característica fundamental radica en que el agua acumulada proviene exclusivamente de la precipitación sobre la misma área, sin involucrar agua que fluya de otra región (como por ejemplo, desde la parte alta de la cuenca).

3. Metodología

El enfoque metodológico de este trabajo de grado se basará en la recopilación de información primaria y secundaria de diversas fuentes, como bases de datos y archivos de instituciones que contienen datos estadísticos relevantes para la ejecución del proyecto. Un aspecto importante del análisis de esta información es el análisis espacial, el cual será realizado utilizando herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) como una herramienta fundamental para llevar a cabo esta tarea.

3.1 Área de estudio

Santiago de Cali se ubica en la parte sur occidental de Colombia, dentro de lo que se ha llamado “Graben del Cauca”. Es la tercera ciudad más poblada del país con una población municipal de 2.227.642 habitantes, de los cuales 2.172.527 residen en el área urbana (DANE, 2018).

El aspecto geomorfológico de la ciudad está determinado por una franja montañosa localizada en la parte occidental y el valle aluvial del río Cauca en la línea oriental. Este último constituido por depósitos de origen aluvial que han propiciado la construcción de viviendas (Pérez, 2005). Los ríos Meléndez, Lili, Cali, Aguacatal, Pance y Cañaveralejo hacen parte del sistema hídrico que atraviesa la ciudad en dirección W-E para alimentar la corriente principal del Cauca. A esto se suman 48 humedales, siendo los más importantes en el área urbana las lagunas Charco Azul y el Pondaje (Alcaldía de Cali - DAGMA, 2010). La zona urbana se compone de 6 localidades, 337 barrios y el área de expansión.

El área de investigación se localiza en el distrito de Aguablanca, con enfoque en la Terminal de cabecera Andrés Sanín. Esta atiende la demanda de las Comunas 7, 14 y 21 del oriente de Cali hacia el centro, norte y sur de la ciudad convirtiéndose en una de las infraestructuras más importantes de transporte público para el distrito de Aguablanca y para la ciudad (figura 3.1).

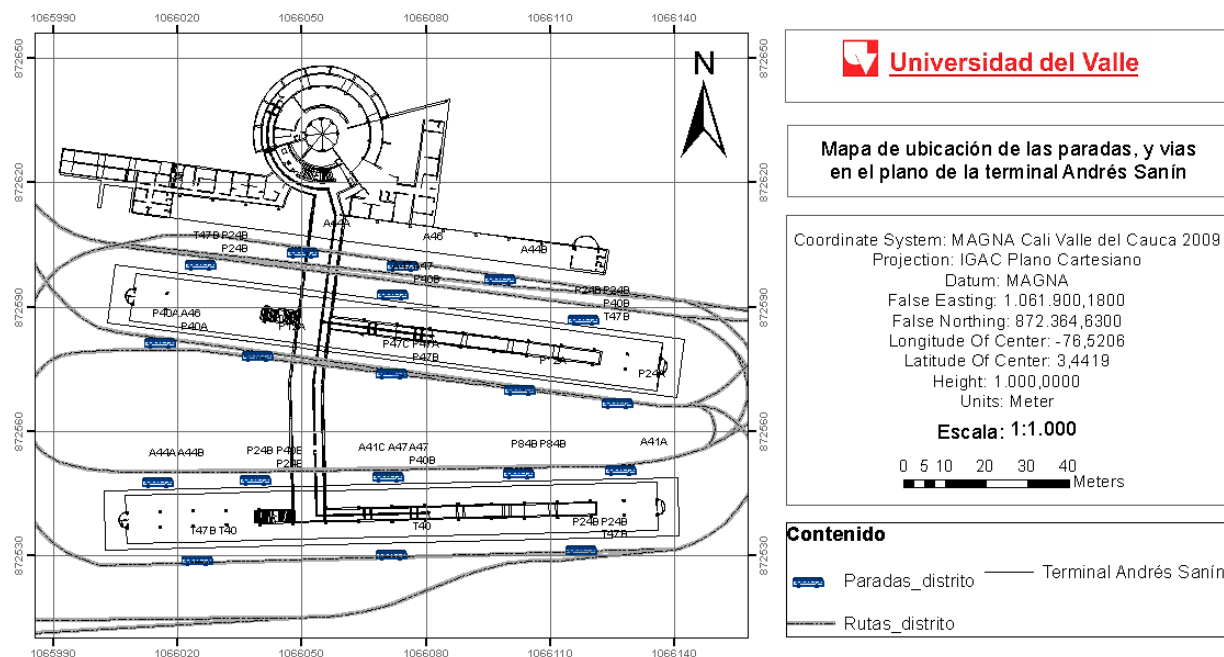


Figura 3.1: Mapa de puntos de carga y descarga de las bahías en la Terminal.

Fuente: elaboración propia

Las rutas que alimenta la Terminal se dividen en rutas troncales (tabla 3.1), rutas pretroncales (tabla 3.2), circulares (tabla 3.3) y rutas alimentadoras (tabla 3.4).

Ruta	Estación Origen	Estación Destino	Sentido (N/S)
T40	Inicio del recorrido	Centro	Ambos
T47B	Inicio del recorrido	Unidad Deportiva Cl 5 Cra 52	Ambos

Tabla 3.1: Rutas Troncales

Fuente: Elaboración propia con base en información de Metro Cali (2019)

Ruta	Estación Origen	Trayecto	Destino
P14A	Universidades Cra 100 Cl 16	Cr 99 - Av. Ciudad de Cali	Fin del recorrido
P14B	Universidades Cra 100 Cl 16	Cl 25 - Terminal Simón Bolívar	Fin del recorrido
P24A	Terminal Menga Av 3N Calle 70N	Chiminangos - Cl 70 - Cr 8 - Av. Ciudad de Cali	Fin del recorrido
P24B	Centro Administrativo Cali	Centro - Av 6N - Cl 44 - Cra 8 -Av. Ciudad de Cali	Fin del recorrido
P40A	Inicio del recorrido	AV. Ciudad de Cali - Cra 8	Centro
P40B	Inicio del recorrido	7 de Agosto - Cl 70 - Cra 2 - Sena - Odra 5 - Odra 8	Centro
P42	Inicio del recorrido	AV. Ciudad de Cali - Paso del Comercio - Cl 70N	TerMenga Av 3N Cl 70N
P47A	Inicio del recorrido	AV. Ciudad de Cali - Cra 39 - Cl 5	Unidad Deportiva Cl 5 Cra 52
P47B	Inicio del recorrido	AV. 7 de Agosto. Simón Bolívar - Terminal Calipso	Unidad Deportiva Cl 5 Cra 52
P47C	Inicio del recorrido	AV. Ciudad de Cali - Cr 29 - Cl 48 - Cr 46 -	Capri Clase 5 Cra 78
P74	Unidad Deportiva	Cr 56 - Aut. Suroriental - 7 de Agosto	Fin del recorrido

Tabla 3.2: Rutas Pre-Troncales

Fuente: Elaboración propia con base en información de Metro Cali (2019)

Ruta	Estación Origen	Trayecto	Destino
C417	Inicio del recorrido	Tv 103 - Cra 27 - Nuevo Latir - Av. Ciudad de Cali - Cra 99 Universidades - Unidad Deportiva - Cra 15	Fin del recorrido
C471	Inicio del recorrido	Cra 15 - Unidad Deportiva - Universidades - Cra 99 - Av Ciudad de Cali - Nuevo Latir - Cra 27 - Tv 103	Fin del recorrido
C502	Inicio del recorrido	Cra 25 - Cl 121 - Cra 27 - Nuevo Latir - Troncal Aguablanca - Centro - Av 3N - Terminal Menga - Paso del Comercio - Av. Ciudad de Cali	Fin del recorrido
C520	Inicio del recorrido	Av. Ciudad de Cali Paso del Comercio - Terminal Menga - Av 3N - Centro - Troncal Aguablanca - Nuevo Latir - Cra 27 Cl 121 - Cra 25	Fin del recorrido

Tabla 3.3: Rutas Circulares

Fuente: Elaboración propia con base en información de Metro Cali (2019)

Ruta	Estación Origen	Trayecto	Destino
A41A	Inicio del recorrido	Cra 23 - Cl 123 - Decepaz	Píamos
A41C	Inicio del recorrido	Cr 25 - Cl 94 - Cra 23 - Cl 80	Valle GrandeNota 1
A42B	Inicio del recorrido	Tr 103 - Retorno en Cra 28	La CasonaNota 2
A44A	Inicio del recorrido	Tr 103 - Cra 27 - Cl 112 - Cra 26C	Manuela Beltrán
A44B	Inicio del recorrido	Tr 103 - Cl 95 - Cl 97 - Cr 26C - Cl 84	Puertas del Sol
A46	Inicio del recorrido	Dg 71A - Cra 24C - Dg 70 - Dg 72C - Cl 72F - Cra 27	Sena El Pondaje
A47	Inicio del recorrido	Cra 25 - Cl 121	Píamos

Tabla 3.4: Rutas Alimentadoras o Circulares

Fuente: Elaboración propia con base en información de Metro Cali (2019)

La consideración de esta Terminal y su extensa red de rutas es de vital importancia, como previamente se señaló, debido a su notoria tasa de ocupación. Es crucial resaltar que esta Terminal principal juega un rol de suma relevancia para el distrito de Aguablanca en Cali, ya que presta servicios a una cantidad significativa de pasajeros.

La eventualidad de una inundación que impactara adversamente a la Terminal, interrumpiendo su operatividad, desencadenaría un efecto dominó en la movilidad local y, en consecuencia, afectaría a toda la urbe. Esta perspectiva subraya la razón detrás de la decisión de enfocar un estudio detallado en esta Terminal en particular.

3.2 Actividades propuestas

Para asegurar el logro de los objetivos se proponen las siguientes fases:

3.2.1 Fase 0: Búsqueda de información

En esta fase se recopiló la información necesaria para crear la base de datos bibliográfica requerida en este estudio. Se consultaron en plataformas como las de Cali en Cifras, Catastro (geoportal), DesInventar, IDESC, e instituciones como el DANE, entre otras. Asimismo, se realizó una búsqueda de información apoyándose en documentos oficiales, en trabajos de grado existentes relacionados con inundaciones locales y en otros documentos que permitieron la construcción de la amenaza para la zona en cuestión. Asimismo, se realizó la recopilación de mapas de amenaza por inundación fluvial existentes para la zona de estudio. Adicionalmente, es importante destacar que se realizaron consultas en diversas plataformas que proporcionaron la información geoespacial necesaria para la construcción de mapas. Estos fueron fundamentales para llevar a cabo el análisis espacial del estudio de amenazas, cumpliendo así con el primer objetivo establecido en el proyecto.

Los datos relacionados con la ocupación de la Terminal Andrés Sanín fueron obtenidos de las bases de datos suministradas por la propia institución. Estos datos abarcan el período de septiembre a febrero de 2019, que fue seleccionado debido a que representa un período previo a la pandemia y refleja condiciones normales de uso del transporte masivo. Además, la Unión Temporal Recaudo y Tecnología (UTRYT) encargada de la infraestructura tecnológica integrada de hardware y software para el sistema de transporte MIO, proporcionó la lista de elementos que componen la Terminal y sus respectivos valores unitarios. Esta información

fue fundamental para avanzar en los objetivos 2 y 3 establecidos en el proyecto.

3.2.2 Fase 1: Caracterización de la amenaza

Una vez recopilada toda la información necesaria, se procedió al análisis con el objetivo de identificar el grado de amenaza en el que se encuentra la Terminal. Para este análisis, se organizó la información de la siguiente manera:

1. Se realizó un análisis no espacial de las inundaciones históricas que han ocurrido en la ciudad, centrándose especialmente en el distrito de Aguablanca donde se encuentra ubicada la Terminal. Este análisis permitió comprender la frecuencia y magnitud de las inundaciones pasadas en la zona. Frecuencia y magnitud son determinantes de la amenaza.
2. Se compilaron reportes de pérdidas asociados con eventos de inundación registrados a lo largo de 62 años. Estos reportes brindaron información sobre los impactos y consecuencias que las inundaciones han tenido en la zona, incluyendo daños a infraestructuras y pérdidas económicas.
3. Se consideraron los estudios que analizaron los escenarios de inundaciones en un periodo de retorno de Tr: 500 años. Estos estudios mostraron de manera espacial el alcance que tendrían las inundaciones en la zona, incluyendo la infraestructura de la Terminal. Esta información visualizó de manera contundente que la Terminal se encuentra en una zona de amenaza alta, lo que implicaría afectaciones directas e indirectas a la vida cotidiana de las personas y pérdidas materiales considerables.

En el estudio de los elementos expuestos y el grado de amenaza, es crucial abordar el tema de la vulnerabilidad. Dentro de este concepto se encuentra implícita la fragilidad. La fragilidad se refiere al grado de susceptibilidad intrínseca de los elementos expuestos a ser afectados por una magnitud estimada de la amenaza (Vera Rodríguez and Albarracín Calderón, 2017), por lo que se consideró fundamental incluir la evaluación del grado de fragilidad de la Terminal como parte del análisis.

Para hallar la fragilidad de la Terminal se utilizó como referencia la Guía Metodológica del Convenio interadministrativo Número 0205 CVC - UNIVALLE, la cual se emplea para evaluar

la vulnerabilidad física de los municipios del Valle del Cauca. Dentro de esta metodología se considera la evaluación de la fragilidad como un componente fundamental para comprender las condiciones de resistencia ante el fenómeno de inundación. En líneas generales, la fragilidad se expresa a través de dos factores como se indica en la ecuación 3.1:

$$F = \frac{P_{imp}}{S} \quad (3.1)$$

Donde: P_{imp} corresponde a la presión de impacto del fenómeno amenazante sobre el elemento expuesto, y S a la resistencia del elemento expuesto.

En primer lugar, se procedió a determinar la presión de impacto, también conocida como intensidad del evento utilizando la definición encontrada en la bibliografía consultada por la CVC. La presión de impacto se calcula considerando la profundidad (H) y la velocidad (V) del evento y se representa mediante la siguiente ecuación 3.2:

$$P_{imp} = H * V \quad (3.2)$$

Estas variables (H y V) se trabajaron de acuerdo a los valores establecidos mediante los rangos (tabla 3.5) los cuales fueron hallados para el estudio del periodo retorno Tr : 500 años:

Amenaza	Profundidad	Velocidad
Alta	> 0,90 m	> 0,8 m/s
Media	0,45 m - 0,90 m	0,5 m/s - 0,8 m/s
Baja	< 0,45 m	< 0,5 m/s

Tabla 3.5: Rangos de profundidad y velocidad ante el evento de inundación

Fuente: Elaboración propia con base en OSSO y Fondo Adaptación (2012)

Posteriormente, con los valores obtenidos se procedió a calcular los niveles de intensidad de la inundación (ver tabla 3.6).

Intensidad o magnitud de la inundación	Nivel
$H * V \geq 0.45m^2/s$	Alta
$0.225m^2/s \leq H * V < 0.45m^2/s$	Media
$H * V < 0.225m^2/s$	Baja

Tabla 3.6: Niveles de intensidad o magnitud de la inundación
Fuente: Elaboración propia con base en CVC y Univalle (2018)

Dichos niveles fueron establecidos por el grupo de amenaza del Convenio interadministrativo Número 0205 CVC - UNIVALLE, mencionado anteriormente. En este clasifican la intensidad en diferentes rangos y posicionan la inundación en un nivel de magnitud alta, media o baja, según corresponda. Esto se representa en la figura 3.2:

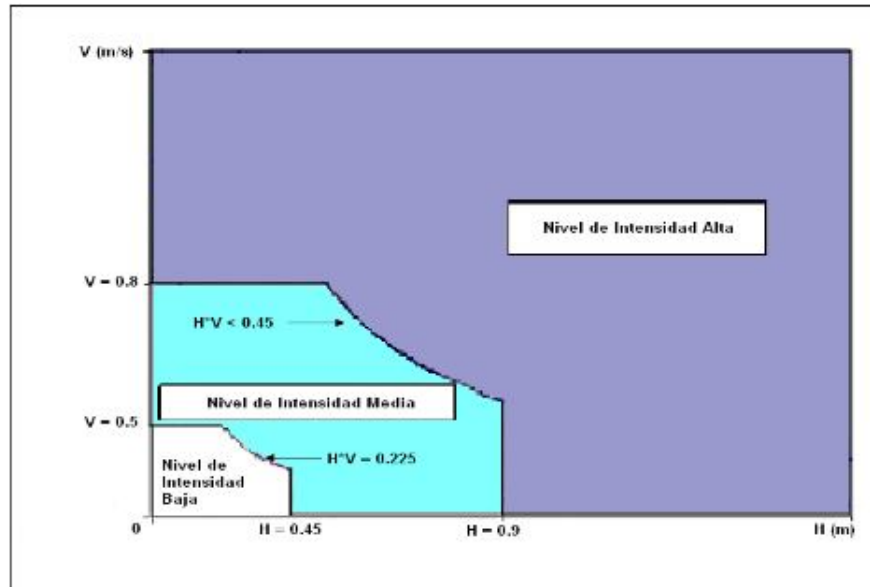


Figura 3.2: Nivel de intensidad o magnitud de la amenaza por inundaciones.

Fuente: CVC y Univalle (2018)

Posteriormente se llevó a cabo el cálculo de la intensidad del evento sobre la estructura en cuestión, ya que proporciona información sobre la gravedad y las dimensiones de la inundación. Durante la ocurrencia de la inundación, los flujos de agua y otros materiales se desplazan a alta velocidad, lo que puede tener un impacto directo en los elementos expuestos a través de una variedad de mecanismos de impacto (CVC y Univalle, 2018).

De acuerdo con la metodología adoptada basada en la propuesta de Du et al. (2014),

la intensidad del evento amenazante para las estructuras se define como una función de su profundidad y de la presión de impacto (ecuación 3.3).

$$I = 1 - (1 - I_{f-pre})(1 - I_{f-prof}) \quad (3.3)$$

Donde: I es la intensidad del evento, I_{f-pre} es el parámetro de la intensidad debido a la presión. Se estima a partir de la relación entre la presión de impacto del evento y la presión límite soportada por la estructura. I_{f-prof} es el parámetro de la intensidad por la profundidad del evento. Se presenta en función de la relación entre la profundidad del evento y la altura de la edificación.

■ **Presión de impacto de la inundación (I_{f-pre}):**

Para la estimación de la intensidad del evento se adaptó la propuesta original de Du et al. (2014). De esta manera, se establecen los siguientes parámetros que serán considerados en la evaluación de la intensidad (ecuación 3.4).

$$I_{f-pre} = \frac{P_{iinun}}{P_{le}} \quad (3.4)$$

Donde: P_{iinun} es la presión de impacto de la inundación, P_{le} presión límite soportada por las estructuras. En este caso, se consideraron la velocidad y la densidad del flujo de agua como referencia para determinar la presión del impacto (ecuación 3.5).

$$P_{iinun} = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (3.5)$$

Donde: P_{iinun} es la presión de impacto de la inundación (kPa), ρ densidad del agua (kg/m^3), v velocidad (m/s).

En cuanto al límite de la presión horizontal soportada por las estructuras (P_{le}), se abordó de manera similar a lo propuesto en la metodología de CVC y Univalle (2018), en donde adoptaron el promedio propuesto por Du et al. (2014) para diferentes tipos de estructuras, complementado por el SGC et al. (2015) (tabla 3.7). A medida que aumenta el valor, la estructura es capaz de soportar una mayor presión.

Tipología	Presión Límite de la Estructura (kPa)
Otro (Material Reciclado)	1
Madera, Tapia y Bahareque	5
Mampostería No Reforzada	8
Mampostería Confinada	11

Tabla 3.7: Límite de presión horizontal soportada de las estructuras

Fuente: Elaboración propia con base en CVC y Univalle (2018)

■ **Presión de la inundación (I_{f-prof}):**

Este parámetro se representa mediante la relación entre la profundidad de la inundación (H) y la altura de las estructuras (h) a través de la siguiente ecuación 3.6:

$$I_{f-prof} = \frac{P_{inun}}{h_e} \quad (3.6)$$

Donde: I_{f-prof} es el parámetro de intensidad por la profundidad de la inundación, P_{inun} profundidad de la inundación y h_e altura de las edificaciones (número de pisos).

Posteriormente, para completar la ecuación de la fragilidad (ecuación 3.1), se procedió a buscar el factor de resistencia estructural, teniendo en cuenta la tipología, edad, número de pisos (altura) y estado de conservación de la construcción. Para esto, se utilizaron como referencia las variables planteadas en los trabajos de Uzielli et al. (2008) y Du et al. (2014), siguiendo los lineamientos de la metodología del informe técnico realizado por la CVC y la Univalle.

Dentro de la metodología se especifica que el indicador de Resistencia Estructural (S_e) se construyó con base en la fórmula propuesta por Li et al. (2010) y modificada por Du et al. (2014), tal como se describe a continuación (ecuación 3.7):

$$S_e = 1 - [(1 - S_{tip}) * (1 - S_{alt}) * (1 - S_{con}) * (1 - S_{ser})] \quad (3.7)$$

Donde: S_e corresponde al factor de resistencia estructural, S_{tip} al tipo de estructura, S_{alt} a la altura de las estructuras, S_{con} al estado de conservación de las estructuras y S_{ser} al servicio de las estructuras.

A continuación se describen cada uno de los factores descritos anteriormente y su relación con el parámetro al que están sujetos. Los resultados serán utilizados para calcular el factor de resistencia estructural de la Terminal.

■ **Factor de resistencia por tipo de estructura (S_{tip}):**

Para el tipo de estructura se consideran los factores de resistencia propuestos por Du et al. (2013) (tabla 3.8).

Tipología	Resistencia	S_{tip}
Otro (Material Reciclado)	Baja	1
Madera, Tapia y Bahareque	Media	0,9
Mampostería No Reforzada	Alta	0,7
Mampostería Confinada	Muy alta	0,5

Tabla 3.8: Factor de resistencia por tipología de las estructuras
Fuente: Elaboración propia con base en CVC y Univalle (2018)

■ **Factor de resistencia por altura de la estructura (S_{alt}):**

Este parámetro fue planteado de acuerdo al juicio de los profesionales que conformaron el equipo de trabajo de CVC y Univalle, los cuales tomaron como referencia lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) con base en AIS (2010), el cual establece el número de pisos límite que deben tener los diferentes sistemas constructivos existentes en el país (tabla 3.9).

Tipología	Número de pisos	S_{alt}
Otro (Material Reciclado)	1	0,90
	≥ 2	1
Madera, Tapia y Bahareque	1	0,70
	≥ 2	0,80
Mampostería no reforzada	1	0,50
	≥ 2	0,60
Mampostería confinada	1	0,30
	≥ 2	0,40

Tabla 3.9: Factor de resistencia por altura de la estructura
Fuente: Elaboración propia con base en CVC y Univalle (2018)

■ **Factor de resistencia por servicio de la estructura (S_{ser}):**

Este parámetro se estimó a partir de la relación de los años de servicio con respecto a la vida útil de diseño de la edificación (servicio/vida útil). Los valores de este parámetro corresponden a los propuestos por Du et al. (2013) (tabla 3.10).

Relación años de servicio/vida útil	S_{ser}
≤ 1	0,05
0,1 - 0,4	0,1
0,4 - 0,6	0,3
0,6 - 0,8	0,5
0,8 - 1,0	0,7
1,0 - 1,2	0,8
$> 1,2$	1

Tabla 3.10: Factor de resistencia por servicio de la estructura

Fuente: Elaboración propia con base en CVC y Univalle (2018)

La vida útil de las edificaciones se refiere al período de tiempo durante el cual se puede utilizar la estructura sin necesidad de realizar reparaciones o reemplazos de elementos estructurales importantes. Sin embargo, es posible que se requieran actividades de conservación como pintura y mantenimiento de elementos menores.

En el contexto del estudio realizado por la CVC y Univalle (2018), se clasificaron las estructuras de acuerdo a su vida útil basándose en sus características físicas y utilizando información secundaria. Esta clasificación permitió evaluar el estado general de las edificaciones y su capacidad para resistir los impactos de la inundación (tabla 3.11).

Tipología	Vida útil
Otro (Material Reciclado)	15 años
Madera, Tapia y Bahareque	30 años
Mampostería no reforzada	50 años
Mampostería confinada	70 años

Tabla 3.11: Vida útil de las estructuras

Fuente: Elaboración propia con base en CVC y Univalle (2018)

Es importante considerar la vida útil de las estructuras, ya que las edificaciones más antiguas o aquellas que se encuentran en mal estado pueden ser más vulnerables a los

efectos de la inundación. Por lo tanto, considerar la vida útil de las edificaciones es fundamental para evaluar su fragilidad y tomar medidas adecuadas de mitigación y adaptación frente al riesgo de inundación.

■ **Factor de resistencia por conservación de la estructura (S_{con}):**

Para evaluar el estado de conservación se procedió a realizar una inspección visual de la estructura y se calificó teniendo como referencia los valores propuestos por Du et al. (2013) (ver tabla 3.12).

Estado de conservación	Descripción	Separación grietas (mm)	Scon
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados.	0-0,5	0,01
Daños moderados	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales. Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera del (pandeo).	0,5- 5,0	0,35
Daños graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical. Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento.	> 5	0,70
Colapso	Colapso total de la estructura.		1

Tabla 3.12: Estado de conservación de las estructuras
Fuente: Elaboración propia con base en CVC y Univalle (2018)

3.2.3 Fase 2: Análisis de ocupación en la Terminal Andrés Sanín

Para esta fase se consideraron los siguientes elementos, aspectos y actividades:

■ **Fuentes de información y análisis de flujo de usuarios**

Durante esta fase del trabajo, se utilizó una variedad de fuentes de información, entre las cuales se destaca la base de datos proporcionada por Metrocali. Esta base de datos contiene registros de los usuarios que ingresan a la Terminal durante un periodo de 6 meses y se obtuvieron tanto de las registradoras ubicadas en la Terminal como de los

buses del Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) - MIO. Estos registros fueron de gran valor, ya que permitieron obtener información detallada sobre la cantidad de usuarios en diferentes momentos del día, días de la semana y meses del año. Estos datos brindan la oportunidad de realizar un análisis exhaustivo del flujo de usuarios, identificar patrones de uso y determinar las horas pico de mayor afluencia.

- **Gestión de la base de datos mensual de usuarios**

En la gestión de la base de datos mensual de usuarios de la Terminal, se tomó en cuenta el promedio mensual de usuarios con el objetivo de obtener una estimación más precisa de la cantidad de personas que la utilizan en un determinado período. Esta información resulta sumamente útil para analizar la demanda y la capacidad, así como para identificar posibles picos de afluencia en ciertos meses del año.

- **Información sobre empleados de la Terminal**

La base de datos también incluye información sobre el número de personas que trabajan dentro de la Terminal, como el personal fijo de seguridad, administrativo y otros empleados constantes. Sin embargo, es importante destacar que no fue posible obtener información sobre los empleados rotativos, como los conductores, reguladores y personal de mantenimiento de los buses. Esto se debe a que el servicio de buses está tercerizado y cada empresa responsable asigna sus propios conductores a los vehículos. A pesar de esta limitación, la información recopilada sobre los usuarios y los empleados fijos proporciona una visión general del flujo de personas y puede ser utilizada para evaluar la capacidad y las necesidades de la infraestructura.

- **Análisis de la ocupación de la Terminal**

Durante este proceso, se realizaron comparaciones entre diferentes períodos de tiempo para evaluar las variaciones en los registros. Inicialmente, se utilizó la época prepandemia (octubre 2019 - febrero 2020) como punto de referencia. Posteriormente, se compararon los datos de validación de una temporada del año 2022. Sin embargo, se identificó una anomalía en los registros durante esta comparación, lo que llevó a solicitar nuevamente la información para la época postpandemia (enero 2022 - junio 2022).

- **Validación en campo y recolección de datos**

Durante la fase de validación en campo, se llevó a cabo un proceso de recolección de datos durante un período de cuatro semanas. Esto incluyó días típicos de martes, miércoles y jueves, siguiendo la clasificación establecida por Mintransporte (2016).

Además, se decidió incluir la validación para cuatro fines de semana con el objetivo de obtener datos más completos para la elaboración de un mapa de densidad poblacional. Durante esta validación, se recopilaban datos relacionados con el número de buses que ingresaban a la estación, su tamaño, la ocupación visual de la Terminal, y se consideraron variables como el personal de seguridad, personal de aseo y conductores.

- **Enfoque en el número de usuarios y su importancia**

El enfoque principal de la validación se centró en el número de usuarios, ya que representan la mayoría de la población que utiliza la Terminal. Estos datos de ocupación son de vital importancia para comprender la demanda y la densidad de población. Asimismo, permitieron tomar decisiones informadas en la planificación del transporte y la gestión de la infraestructura. La información obtenida brinda una visión clara de la demanda de transporte en la Terminal.

- **Jornadas de validación y operaciones realizadas**

Durante las jornadas de validación en campo, se dividieron los días en dos períodos: martes, miércoles y sábado de 7:00 am a 12:00 pm, y jueves y domingo de 2:00 pm a 6:00 pm. Utilizando la información recopilada en estos intervalos de tiempo, se llevaron a cabo una serie de operaciones que se explicarán detalladamente a través de las ecuaciones presentadas en las próximas secciones. Esto permitió conocer el número de personas que ocupan la Terminal en un día típico. Esto ayudó a establecer la variación entre el reporte de la base de datos y el número real de usuarios que ingresan a la estación. Estos resultados son esenciales para tener una comprensión más precisa de la ocupación de la Terminal y realizar análisis más completos en función de esa información.

- **Comparación de bases de datos**

Durante el proceso de análisis de la ocupación de la Terminal, se llevaron a cabo comparaciones entre diferentes períodos de tiempo para evaluar las variaciones en los registros. Inicialmente, se solicitó la información correspondiente al período pre-pandemia (octubre 2019 - febrero 2020) como punto de referencia. Posteriormente, se procedió a realizar una comparación con los datos de validación correspondientes a una temporada del año 2022. Sin embargo, durante esta comparación como se mencionó anteriormente, se detectó una anomalía en los registros, lo que llevó a solicitar nuevamente la información correspondiente a la época postpandemia (enero 2022 - junio 2022).

Adicionalmente, es importante mencionar que los registros obtenidos mediante la validación en campo, se realizaron en momentos y condiciones diferentes a las bases de datos solicitadas. Estos registros consistieron en mediciones tomadas durante cuatro semanas específicas. Con el objetivo de obtener una visión más completa de la variación en la ocupación, se decidió realizar una nueva solicitud de datos correspondientes al mes de marzo 2022. La inclusión de estos nuevos datos permitirá obtener una comprensión más precisa de las variaciones en la ocupación de la Terminal a lo largo del tiempo, lo que a su vez posibilitará realizar análisis más exhaustivos basados en esta información actualizada.

■ Validación de datos en campo

El enfoque principal de la validación se centró en el número de usuarios, ya que representan la mayoría de la población que utiliza la Terminal. Estos datos de ocupación son de vital importancia para comprender la demanda y la densidad de población en la Terminal, lo que a su vez permite tomar decisiones informadas en la planificación del transporte y la gestión de la infraestructura.

Los días de validación se dividieron en dos jornadas, para los días martes, miércoles y sábado fueron de 7:00 am a 12:00 pm; para los días jueves y domingo de 2:00 pm a 6:00 pm. Con los datos obtenidos se procedió a realizar operaciones que permitieran conocer el número de personas que ocupan la Terminal en un día típico; esto con el objeto de establecer la variación entre el reporte de la base de datos y el número real de usuarios que ingresan a la estación.

Para el registro de la información previamente mencionada, se empleó una versión adaptada del formato de frecuencia y ocupación visual (FYO) (ver figura 3.3). Con base en este formato, se desarrolló una estructura similar (ver figura 3.4) para llevar un seguimiento de la ocupación, asignando una casilla específica a cada bus.

Formato de Frecuencia y Ocupación Visual - Transporte público intermunicipal																								
Fecha (DD/MM/AA) / /					Dirección:					ID ESTACIÓN														
Día de la semana:					Movimiento:																			
Estado del tiempo: ☀ ☁ ☔					Ubicación del Observador:					No. Formulario:														
Hora inicio:					Hora final:																			
HORA		MTA	TIPO DE VEHÍCULO			EMPRESA / SERVICIO			RUTA			OCUPACION												
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	V	CV	AS	TS	LL	SC	NA			
<div> <div> TIPO DE VEHÍCULO  MCR - Microbús  BUS - Bus </div> <div> NIVEL DE OCUPACIÓN VISUAL <div>  V. Vacío </div> <div>  AS. Algunos Sentados </div> <div>  LL. Lleno </div> <div>  CV. Casi Vacío </div> <div>  TS. Todos Sentados </div> <div>  SC. Sobre Cupo </div> </div> <div> N.A. CUANDO NO SE PUEDE OBSERVAR LA OCUPACION DEL VEHICULO POR POLARIZADO O </div> </div>																								
Observaciones:																								
Nombre del aforador:												Nombre del supervisor:												

Figura 3.3: Formato de Frecuencia y Ocupación Visual - Transporte público intermunicipal.
Fuente: Metro Cali (2019)

	ARTICULADO					PADRÓN					ALIMENTADOR				
Día/Valor visual	160	120	100	50	>20	80	53	27	10	>5	60	30	15	5	2
Martes															
Miércoles															
Jueves															
Sábado															
Domingo															
<div> TIPO DE VEHÍCULO    </div> <div> NIVEL DE OCUPACIÓN VISUAL <div>  Vacío </div> <div>  Medio vacío </div> <div>  Medio lleno </div> <div>  Casi Vacío </div> <div>  Medio </div> <div>  Lleno </div> </div>															

Figura 3.4: Adaptación Formato de Frecuencia y Ocupación Visual.
Fuente: elaboración propia

Dicho formato se divide en un rango o valor asignado de ocupación para cada tipo de bus (articulado, alimentador y padrón). Cada tipo de ocupación tiene su respectivo nombre, el cual era registrado dependiendo de la percepción visual para cada bus que entraba a la Terminal. Lo anterior se puede apreciar en la tabla 3.13.

Ocupación	Articulado	Alimentador	Padrón
Lleno	160	80	60
Medio lleno	120	53	30
Medio	100	27	15
Medio vacío	50	10	5
Casi vacío	>20	>5	2
Vacío	0	0	0

Tabla 3.13: Rangos de ocupación visual

Fuente: Elaboración propia con base en Metro Cali (2019)

Luego de definir los parámetros para hacer la validación de las cuatro semanas en la Terminal, se procedió a realizar los diferentes tipos de operaciones. Lo primero que se realizó fue hallar la ocupación por jornada dependiendo del valor asignado; por consiguiente, este resultado se multiplicó por 2 para obtener la jornada completa, dando como resultado la ocupación por día (ecuación 3.8).

$$OD = OV * VA * 2 \quad (3.8)$$

Donde: OD corresponde a la Ocupación por Día, OV a la Ocupación Visual y VA al Valor Asignado.

Para seguir con el objetivo de esta fase (comparar con la base de datos suministrada), se promediaron los resultados obtenidos de la ecuación anterior (Ocupación por día) y posteriormente se multiplicaron por 30 días para obtener el valor de la ocupación mensual.

$$OM = \bar{x} \text{ de datos} * 30 \quad (3.9)$$

Donde: OM corresponde a la ocupación mensual.

Se procedió a comparar la ocupación por mes con los datos de ocupación suministrados para el mes de marzo para así de esta manera obtener la variación mediante la ecuación 3.10 y a su vez, el porcentaje de variación (%) mediante la ecuación 3.11, con el fin de representar

sus respectivas gráficas estadísticas en este mes resultante, para luego hacer el estudio de comparación con los 6 meses (septiembre 2019 - febrero 2020).

$$Variación = [(|Valor aproximado - Valor exacto|)/Valor exacto] \quad (3.10)$$

$$Porcentaje variación = [(|Valor aproximado - Valor exacto|)/Valor exacto] * 100 \quad (3.11)$$

Donde: Valor aproximado corresponde al valor de validación en campo y valor exacto al valor de la base de datos.

Es necesario comentar que el incremento de número de pasajeros puede variar en la validación, debido a personas que ingresan a la Terminal por las entradas vehiculares sin pagar ni quedar registrados en los validadores.

3.2.4 Fase 3: Valoración económica de la infraestructura crítica expuesta

La valoración económica de los elementos expuestos al fenómeno de inundación dentro de la Terminal Andrés Sanín considerará las siguientes variables: el talento humano, los equipos, la infraestructura física y la capacidad de operatividad; las cuales pertenecen a las pérdidas directas e indirectas. Según el estudio realizado por Canon (2022), las pérdidas indirectas no solo se consideran y se refieren al daño físico de las infraestructuras, sino a las personas que se ven afectadas. Estas pérdidas indirectas tienen todas un denominador común: son más difíciles de traducir en cifras monetarias, aunque se puede obtener un valor aproximado según el número de variables que se tengan en cuenta o las suposiciones a realizar (en este caso pérdida de ingresos por interrupción de la Terminal Andrés Sanín), o por consideraciones éticas (poner precio a las vidas humanas que puedan estar dentro de la Terminal).

Los bienes expuestos fueron obtenidos a través de la base de datos suministradas por la empresa UTRYT. Posteriormente, estos datos se llevaron a una hoja de cálculo de Excel para su posterior análisis, los cuales consistían en creación de tablas con sus atributos y cálculos necesarios para su agrupación y sumas correspondientes.

En este estudio se tuvo en cuenta el costo de la Terminal y se calculó el valor del metro cuadrado de la misma. Para ello se utilizó el costo total de la estructura, el cual se encontró en el contrato de obra de la Terminal. Posteriormente, se le aplicó la inflación de los últimos 12 años. Los valores de inflación se pueden evidenciar en la tabla 3.14.

Periodo	Medidas de inflación Índice de Precios al Consumidor (IPC)
2010	3,17
2011	3,73
2012	2,44
2013	1,94
2014	3,66
2015	6,77
2016	5,75
2017	4,09
2018	3,18
2019	3,8
2020	1,61
2021	5,62
2022	13,12

Tabla 3.14: Inflación de Colombia en los últimos 12 años

Fuente: Elaboración propia con base en Banco de la República de Colombia (2023)

Una vez aplicadas estas mediciones por metro cuadrado de la estructura, se procedió a calcular el costo total de la Terminal Andrés Sanín para cada año mediante la ecuación 3.12.

$$CTI = CI * (1 + (IPC/100)) \quad (3.12)$$

Donde: CI corresponde al costo inicial de la infraestructura, CTI al costo total de la infraestructura, e IPC al Índice de Precios al Consumidor.

La cifra resultante se dividió entre los 26.430 metros cuadrados de la Terminal mediante la ecuación 3.13, cuyo resultado se promedió con el valor en metro cuadrado de la Terminal Aguablanca, con el fin de conocer el valor aproximado del metro cuadrado del año en curso.

La Terminal de Aguablanca es una obra entregada durante el año 2022 que coincide con el año de realización del presente estudio y por ende su costo es acorde al año actual (2022). Para lograr lo mencionado anteriormente, se le aplicó la misma metodología a la Terminal de Aguablanca, y con el costo final, determinar el valor en metros cuadrados que se tendrían que reparar o en su defecto reconstruir en caso de que el daño sea muy severo.

$$Valor\ MC = CTI/MC \quad (3.13)$$

Donde: CTI corresponde al costo total de la infraestructura, y MC a los metros cuadrados de la Terminal.

Las estimaciones de las pérdidas por inundaciones directas e indirectas se realizaron en función de la infraestructura crítica de la Terminal Andrés Sanín sumando el valor de los elementos que esta contiene. Adicionalmente, se calculó el valor que pagarían las personas que ingresan a la Terminal en un periodo de tiempo de 6 meses y así determinar el valor en pesos colombianos que se perdería durante un episodio de desbordamiento del río Cauca en un periodo de retorno de Tr: 500.

En términos generales, la pérdida total se calculó como el valor de las personas que ingresan en promedio por mes a la Terminal (ecuación 3.14), mas los elementos expuestos multiplicado por la duración de la inundación de referencia (Tr 500 años) como se muestra en la ecuación 3.15. Estos valor pueden interpretarse como el ahorro futuro de MetroCali y la Alcaldía de Cali si le apuestan a mitigar los efectos.

$$TVP = PIT * VPP \quad (3.14)$$

Donde: TVP corresponde al Total del valor de pasajes, PIT al promedio de personas que ingresan a la Terminal por mes y VPP al valor del pasaje por persona al año 2022.

$$VALOR\ TOTAL\ EXPOSICIÓN = TVP + TE \quad (3.15)$$

Donde: TVP corresponde al Total de Valor de Pasajes, TE al Total de Elementos que

componen la Terminal, VE Valor Expuesto por mes de la Terminal.

De esta manera se calculó el valor económico de un mes, pero como los efectos de la amenaza durarían 4,5 meses, esto se multiplicó por estos meses obteniendo el valor total de la exposición de la Terminal al fenómeno y así estimar la depreciación en el año 2022.

3.2.5 Fase 4: Presentación de la información

Esta última fase consistió en la organización de las bases de datos utilizadas para la elaboración de datos geospaciales por medio de herramientas SIG. Estas herramientas consisten en softwares especializados cuyas funciones se basan en el análisis de información espacial. Las herramientas utilizadas corresponden a ArcGIS Desktop, la cual requiere de licencia para su utilización y la otra a QGis que es un software libre y de código abierto. Se utilizaron estas dos herramientas, debido a que algunos de los geoprocesos son más rápidos y cómodos en un programa que en el otro.

Por medio de estas herramientas se construyó una Geodatabase (GDB) los cuales contienen diferentes Feature Class, cuyo acceso es libre desde cualquiera de los softwares especializados en SIG. La información geoespacial se representa en formato shapefile (*.shp) donde se pueden visualizar la distribución de los diferentes elementos que participan en el proyecto con sus respectivos atributos.

Parte de esta base de datos fue implementada en una prueba piloto de un SIG, en el cual se pueden visualizar algunos de los elementos geográficos que componen el proyecto mediante una plataforma web que dispone de un geoportal el cual contiene un geovisor básico. El objetivo del sistema es ayudar a que la comunidad, MetroCali y los usuarios conozcan cuántas paradas del MIO que se encuentran en el Distrito de Aguablanca se verían afectadas o inhabilitadas en caso de una inundación importante, lo cual afectaría directamente el normal funcionamiento en la ocupación de la Terminal.

Las personas encargadas de alimentar el sistema corresponderán a la comunidad en general, dando a conocer el lugar de inundación y un radio aproximado de afectación donde se encuentra el usuario por medio de un dispositivo móvil o computadora. Esta herramienta SIG podría ser de gran ayuda para mejorar la comunicación entre las entidades encargadas de gestionar el impacto de las inundaciones en Cali y los encargados de gestionar y administrar infraestructuras urbanas que generen algún tipo de servicio a la comunidad.

Estas entidades podrían proporcionar rutas alternas o tener una idea de cuánto afectaría el servicio suspendido de algunas de las rutas que proporcionan conectividad con la Terminal Andrés Bórrero. Sin embargo, la información que proporciona el SIG es netamente visual. Allí solo se resalta la parada del MIO más cercana al punto de donde se ha identificado la inundación.

Aunque esta sección corresponde a una prueba piloto, se tuvieron en cuenta diferentes modelos dentro de la metodología del sistema para diseñar y representar la base de datos. A continuación, se presentarán de manera general algunos de estos modelos:

■ **Modelo conceptual: FLOOD-CALI**

El sistema propuesto como parte de la solución a la problemática del proyecto cuyo geoportal tiene como nombre FLOOD-CALI, pretende optimizar la consulta de cuál y cuántos de los paraderos del MIO se verían afectados por inhabilitación en caso de una inundación en la zona. Este sistema contribuiría para la toma de decisiones. Sin embargo, solo el criterio experto puede tomar la información adecuada y correspondiente para la solución de la problemática.

En términos generales, el producto del sistema consiste en una agrupación organizada y funcional de los subproductos que éste proporciona, los cuales en el marco de este sistema logran reunir, gestionar y analizar datos. El producto resultante se presenta en formato Web, facilitando el acceso a cualquier persona y sirve de herramienta para la toma de medidas de intervención en cuanto se presente un evento por inundación en determinado sector del área de estudio.

Los subsistemas se dividieron en tres partes, los cuales permiten obtener el producto general del sistema. En este proyecto se encargan de la metodología que se debe implementar para llegar al fin con el que se creó:

- **Subsistema de gestión de datos:** se encarga de las operaciones de entrada y salida de datos, dando como producto la gestión de estos dentro del sistema.
- **Subsistema de análisis o procesamiento:** contiene los métodos y procesos a implementar para el análisis de los datos geográficos.
- **Subsistema de visualización:** crea representaciones a partir de los datos permitiendo así la interacción del usuario con ellos.

En el sistema se implementaron métodos que garantizan el buen funcionamiento de los datos. En la metodología se incluyeron procedimientos para que la visualización

espacial de los datos sea comprensible y sencilla para cualquier ciudadano que requiera de ella, esto es con base en los softwares que se implementaron para su ejecución. Todo este procedimiento se realizó por medio de un servidor en la nube aprovechando sus beneficios, como la escalabilidad y flexibilidad. Los softwares y tecnologías utilizadas fueron:

- HTML y CSS
- Notepad++
- PHP y JS
- Geoserver
- PostgreSQL
- QGIS 3.16.3
- XAMPP

■ Modelo lógico

El modelo lógico representa todos los procesos lógicos interactivos del sistema y las relaciones lógicas necesarias para demostrar el comportamiento del sistema. Su objetivo es seguir un flujo lógico de información para lograr los resultados solicitados por el usuario.

La figura 3.5 es una representación visual que muestra la secuencia de interacciones entre el sistema propuesto y el usuario en respuesta a una solicitud realizada al sistema en estudio. En el contexto de este proyecto, el enfoque se centra únicamente en el usuario básico, por lo tanto, el caso de uso representado en la figura corresponde exclusivamente a este tipo de usuario.

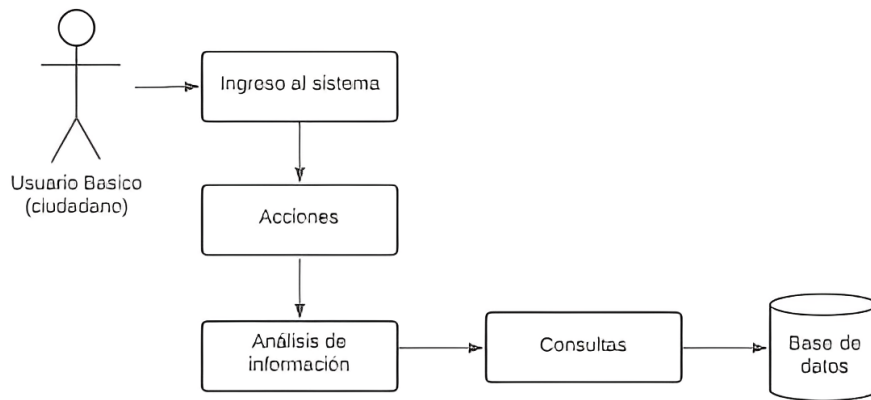


Figura 3.5: Caso de uso usuario básico. Fuente: Elaboración propia

El sistema manejador de la base de datos propuesto para su uso es PostgreSQL versión 13. Es importante destacar que el sistema gestionará un tipo de dato conocido como datos vectoriales. Estos datos vectoriales posibilitarán la representación de las paradas del MIO y de diversas características territoriales, incluyendo aspectos político-administrativos. Para lograrlo, se empleó un mapa suministrado por la librería Leaflet JavaScript.

El sistema se apoya en una combinación de hardware y software para facilitar el acceso a la información requerida por los usuarios. Esto implica contar con los recursos tecnológicos necesarios como servidores, dispositivos de red y equipos informáticos, así como con el software apropiado, el sistema operativo, la aplicación principal y otras herramientas relacionadas.

Además del hardware y software, es fundamental contar con personal capacitado que facilite el acceso a la información requerida por los distintos roles de usuarios. Este personal capacitado puede incluir administradores de sistemas, desarrolladores de software y personal de soporte técnico. Su función principal es garantizar el correcto funcionamiento del sistema y proporcionar asistencia a los usuarios en caso de requerirla.

La figura 3.6 representa el sistema propuesto, y su análisis permitirá comprender mejor cómo interactúan los diferentes componentes, roles de usuarios y la información proporcionada por el sistema. Esta figura proporciona una representación visual de la estructura y las interacciones del sistema, lo que facilita la comprensión global de su desarrollo y funcionamiento.

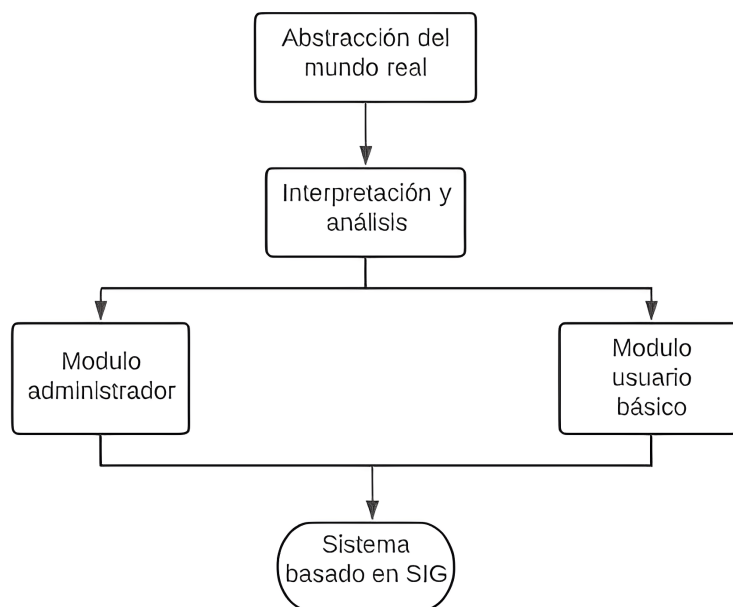


Figura 3.6: Modelo lógico del sistema. Fuente: Elaboración propia

Considerando lo anterior y como parte de la metodología, en el caso de que el sistema cuente además del usuario común, con un tipo de usuario adicional denominado “administrador” (encargado de la información y base de datos), el primer paso lógico consistiría en el acceso al sistema. Para acceder a la información alfanumérica y cartográfica, se requerirá que el usuario ingrese una contraseña y utilice un servicio web. Por otro lado si la validación es exitosa, se admitirán dos tipos de usuarios: el administrador y el usuario común.

Con respecto a la publicación de la información en la web, se utilizó un servidor de código abierto llamado GeoServer. Este servidor permite la publicación de la información cartográfica de manera accesible a través de la web (figura 3.7).

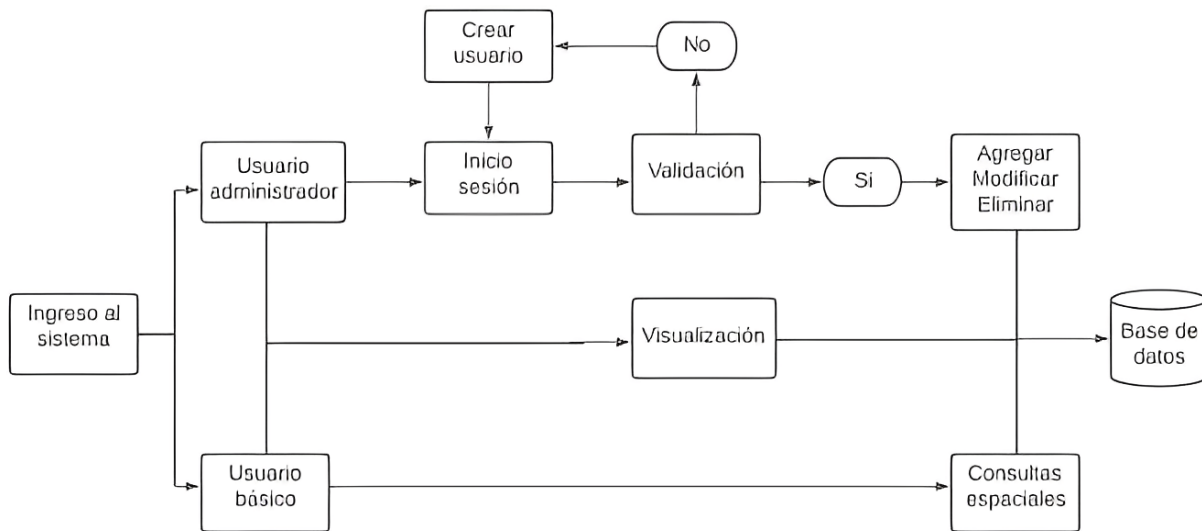


Figura 3.7: Proceso lógico del sistema. Elaboración propia

■ Modelo Físico

En la implementación del sistema, se utilizó la herramienta Notepad++ como editor de texto y código fuente. Notepad++ es un software libre que ofrece soporte para varios lenguajes de programación y está especialmente diseñado para su uso en entornos Windows. Para el desarrollo del sistema, se utilizó principalmente el lenguaje de programación PHP y JavaScript (JS). Estos lenguajes están enfocados en la programación de scripts del lado del servidor y añaden características interactivas al geoportal como por ejemplo la funcionalidad del formulario.

En cuanto al formato del geoportal y sus estilos, se implementó HTML (HyperText Markup Language). Según Prescott (2015), HTML es el lenguaje de marcado básico que se utiliza para describir el contenido y la estructura de las páginas web. Proporciona la estructura y los elementos necesarios para presentar información en el navegador web.

Para dar estilo y personalización al geoportal, se utilizó CSS (Cascading Style Sheets). CSS es una extensión del HTML que permite modificar el diseño y la visualización de las páginas web. Con CSS se pueden definir colores, fuentes, tamaños, diseños y otros aspectos visuales para mejorar la apariencia del geoportal y lograr una presentación estética y coherente. La combinación de HTML, CSS, PHP y JS en la implementación del sistema permitió desarrollar un geoportal interactivo y visualmente atractivo con funcionalidades personalizadas y adaptadas a las necesidades específicas del proyecto.

Por otro lado, se empleó PostgreSQL como sistema de gestión de bases de datos relacionales orientado a objetos. Además de PostgreSQL, se utilizó el módulo

PostGIS. Esta es una extensión que agrega soporte para objetos geográficos a la base de datos PostgreSQL. Esto convierte a PostgreSQL en una base de datos espacial, lo que permite su utilización en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además ofrece una amplia gama de funciones y capacidades para el almacenamiento, consulta y análisis de datos geoespaciales, como puntos, líneas y polígonos, por lo que cabe resaltar que las paradas del MIO son representadas por medio de puntos.

En el despliegue del sistema, se utilizó el servidor GeoServer debido a sus características y funcionalidades. La elección de GeoServer como servidor garantizó la disponibilidad y accesibilidad de los datos geoespaciales, brindando a los usuarios la capacidad de visualizar y trabajar con información geográfica de manera eficiente y conforme a estándares abiertos.

En la preparación de las capas antes de ser cargadas en la base de datos, se utilizó QGIS como un Sistema de Información Geográfica (SIG). QGIS es una herramienta de software libre y de código abierto que se utiliza para el manejo, análisis y visualización de datos geoespaciales.

Además, se utilizó XAMPP (otro software libre). XAMPP es una solución que combina el servidor web Apache, el sistema de gestión de bases de datos MySQL y los intérpretes para lenguajes de script como PHP. Proporciona un entorno de desarrollo completo para la creación y gestión de aplicaciones web (Morales, 2012).

Finalmente, la combinación de QGIS y XAMPP permitieron llevar a cabo tareas relacionadas con la preparación de capas geoespaciales desde la manipulación y análisis de datos en QGIS hasta la gestión de la base de datos PostgreSQL y la implementación de aplicaciones web utilizando PHP y Apache a través de XAMPP.

■ **Modelo cartográfico**

El modelo cartográfico del sistema de paradas del MIO que podrían verse afectadas por un evento de inundación en el distrito de Aguablanca en Cali, tiene como objetivo normalizar los elementos y símbolos cartográficos utilizados en la representación de la realidad. Esto implica establecer las características y formas que representarán los objetos del mundo real mediante puntos, líneas, polígonos o áreas (Meneses Hernandez, 2011).

En cuanto al sistema de referencia utilizado, se trabajó con el EPSG 4326, que corresponde al sistema convencional WGS84 ampliamente utilizado en la representación cartográfica a nivel mundial. Al emplear este sistema de referencia globalizado se facilita el acceso a la información y su consulta desde cualquier parte

del mundo. Además, al considerar la posibilidad de escalar el sistema a niveles mayores, se asegura una mayor interoperabilidad y compatibilidad con otros sistemas de referencia utilizados en diferentes regiones geográficas.

La elección del sistema de referencia EPSG 4326/WGS84 brinda una visión global y permite que el sistema de paradas del MIO sea utilizado y consultado por usuarios en todo el mundo sin restricciones geográficas. Esto asegura la accesibilidad y utilidad de la información cartográfica para un público amplio, promoviendo una visión del sistema y su alcance.

4. Resultados

La amenaza es uno de los elementos en la ecuación del riesgo. Está asociado a la magnitud esperada de los fenómenos, que en este caso corresponde al de inundación y por ello es común definirla como un factor externo. Sin embargo, se debe “reconocer que para determinados fenómenos la probabilidad de que se presenten con una magnitud alta, se incrementaría por efecto de las actividades de la misma población” (Henao Martínez, 2011).

4.1 Caracterización de le amenaza con base en información secundaria

En este apartado, se presentará de manera general las afectaciones que se han presentado durante la historia o que se podrían presentar la zona de influencia (la Terminal en estudio) como consecuencia de una potencial inundación. Adicionalmente, se reconocen los factores que podrían desencadenarla; esto con el fin de evidenciar que incluso antes de su construcción la Terminal ya se encontraba en una zona de amenaza alta.

4.1.1 Historicidad de inundaciones

El Valle del Alto Cauca era considerado hacia la década de 1950 como una de las regiones con mayor potencial de desarrollo social y económico en Colombia en términos de los recursos naturales que poseía el amplio valle, caracterizado por tierras fértiles y abundantes cuerpos de agua entre otros recursos (Velásquez, 2004). Se afirma que la producción de azúcar en grandes ingenios se estaba consolidando como uno de los grandes patrones de la economía en la región, pero las continuas y periódicas inundaciones por desbordamientos del río Cauca y sus tributarios eran, sin embargo, uno de los mayores obstáculos para el aprovechamiento de los recursos naturales y la extensión de los cultivos. Según OLAP, G&H Y KTAM (1956), la extensión de estas inundaciones eran de tal magnitud que causaban pérdidas del 23 % de las 395 mil hectáreas planas del Valle, lo cual se traducía en pérdidas para los cultivos, el ganado y daños e interrupciones en las vías públicas

Lo anterior es el preámbulo de la recopilación de la historia de las inundaciones en la región con el fin de caracterizar y conocer el alcance de los eventos de mayor relevancia para Cali y específicamente en el sector del distrito de Aguablanca.

■ Abril y diciembre de 1938

De acuerdo con las investigaciones de Pérez (2005), la inundación ocurrida en abril de 1938 dejó su marca en varios lugares, incluyendo Gorgona, El Bolo, El Hormiguero, El Paso del Comercio y Vijes. En Juanchito, se observa que algunos habitantes lograron evacuar sus hogares a tiempo durante este episodio. No obstante, la inundación de diciembre de ese mismo año se destacó por su envergadura mucho mayor. Esta vez, las aguas cubrieron extensas áreas desde Navarro hasta Aguablanca, afectando zonas adyacentes a la carretera de El Guabito a Juanchito y una porción de la carretera que conecta el Puente de Juanchito con el kilómetro 13, entre otros segmentos viales cruciales. Estos sucesos dejaron una profunda impresión en las comunidades afectadas, provocando daños materiales considerables y perturbando la rutina diaria de los residentes. Según Pérez (2005), la última de estas inundaciones resultó en pérdidas monetarias estimadas en alrededor de \$2.000.000 de la época. A través de la figura 4.1, se proporciona una representación visual que resalta algunos de los impactos derivados de este evento crucial.



Figura 4.1: Inundación 1938. Las fotografías muestran tres aspectos de la inundación: a la izquierda, vista general de la zona afectada. En el centro, dos ranchos náufragos y a la derecha la calle principal bloqueada por las aguas del gran río tropical.

Tomado de Relator (1938) como se citó en Velásquez (2004)

La investigación de Pérez (2005) arroja luz sobre la magnitud de las inundaciones históricas en la región, resaltando la vulnerabilidad de las comunidades ante eventos climáticos extremos. Estos episodios del pasado subrayan la importancia de la planificación urbana y la gestión de riesgos para reducir el impacto de desastres naturales en el futuro. Al analizar las pérdidas monetarias documentadas por Pérez,

queda claro que los eventos climáticos pueden tener consecuencias económicas significativas, lo que resalta la necesidad de inversiones en resiliencia y medidas preventivas.

■ Noviembre de 1949 y febrero de 1950

Hacia finales de noviembre de 1949, se registró un desbordamiento significativo del río Cauca, resultando en inundaciones en diversas áreas, incluyendo Puerto Mallarino. La necesidad de reparaciones se hizo patente, pero antes de que estas pudieran concluir, se presentó una crecida aún más devastadora en febrero de 1950. Según los datos proporcionados por el mapa de zonas inundables de la CVC, obtenidos de OLAP, G&H Y KTAM (1956) (figura 4.2), se observa que la inundación afectó áreas cercanas a localidades como Puerto Tejada, Navarro, Gorgona y otros puntos en el Norte del Valle, incluyendo La Victoria.

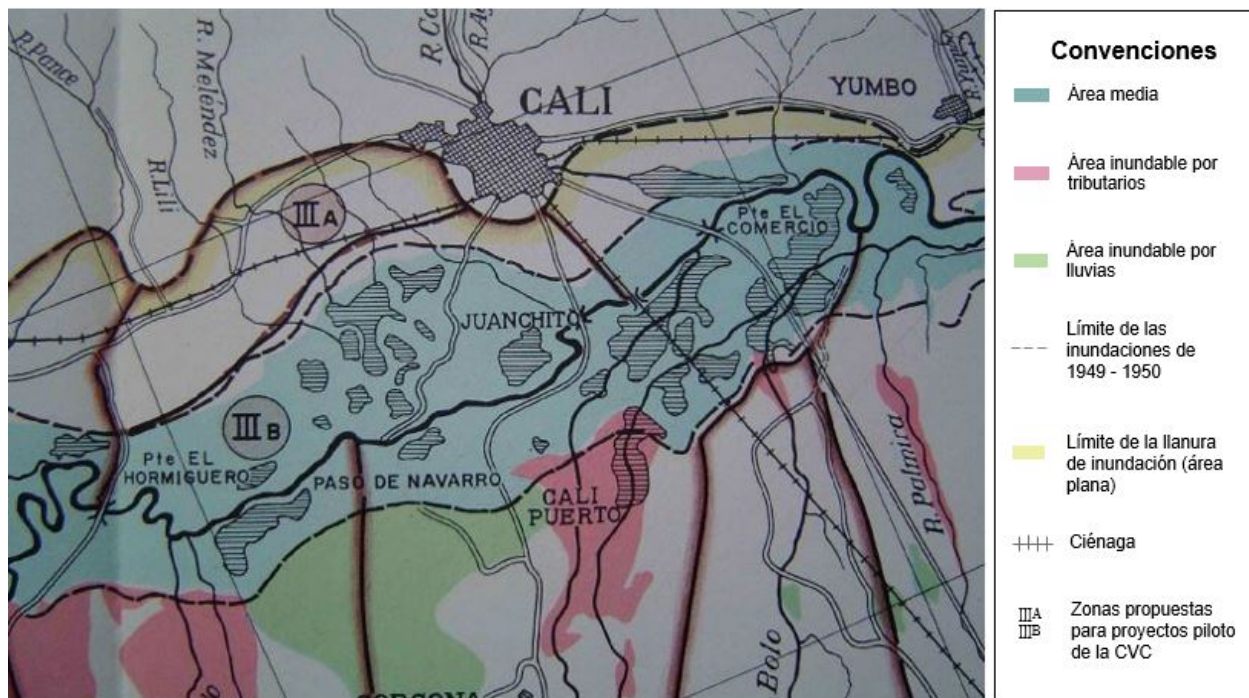


Figura 4.2: Áreas inundables hacia la década de 1950 en los alrededores de Cali.

Adaptado de Pérez (2005)

Según las investigaciones de Velásquez (2004), las inundaciones en Cali y su región circundante en el pasado impactaron significativamente a los barrios orientales, llegando hasta zonas como Villanueva y La Base Aérea. Los sectores más afectados incluyeron Puerto Mallarino y Juanchito, ubicados en el municipio de Candelaria, así como una parte sustancial de la Carretera Central (Carrera 1) y las haciendas

orientales. Estos eventos desencadenaron la destrucción y afectación de viviendas para cerca de 2.360 personas en Puerto Mallarino y Villanueva. Además, se registraron pérdidas considerables en cultivos y ganado, y la interrupción del tráfico por la Carretera Central durante aproximadamente 10 días generó desafíos logísticos y preocupaciones sobre la escasez de alimentos. La respuesta de la comunidad en forma de campañas de ayuda demostró la solidaridad y la necesidad de medidas preventivas. Las imágenes presentadas en la figura 4.3 brindan una perspectiva visual de la magnitud de las inundaciones y sus implicaciones.

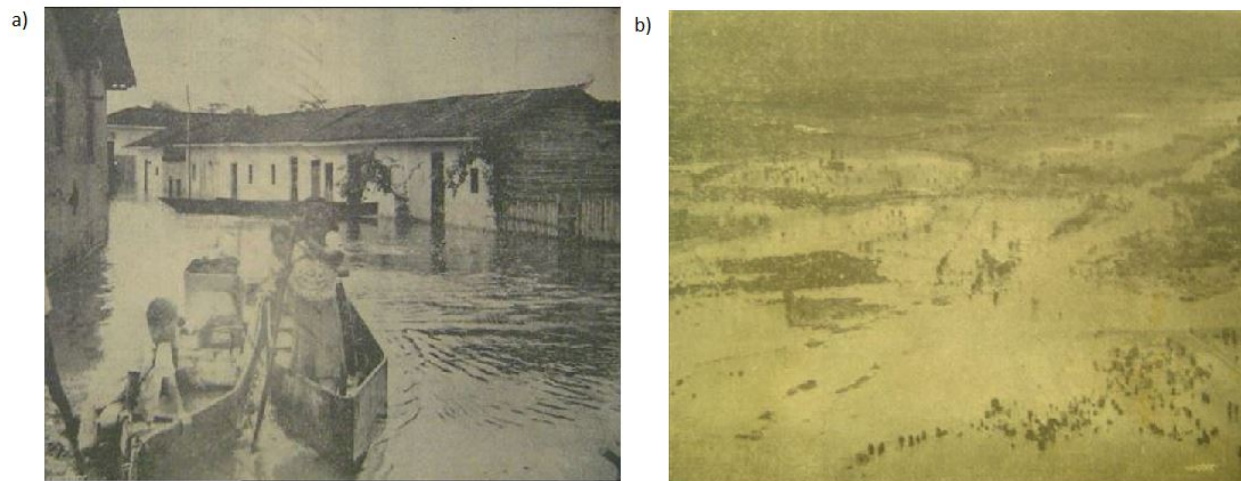


Figura 4.3: Aspectos de la inundación de 1950. (a) Momentos en que una familia se ve forzada a abandonar su casa por la inundación, llevando sus pertenencias en una canoa. (b) Panorámica tomada por Foto Gloria desde uno de los aviones de la FAC, en que puede verse parte de la zona inundada de Juanchito. Al fondo, hacia la izquierda, se distingue la base aérea Ernesto Samper. Obsérvese cómo los árboles han quedado cubiertos casi hasta la copa. Fuente: DesInventar (2012)

La figura 4.4 corresponde a una fotografía tomada en la época del fenómeno de La Niña de 1950 en Cali y evidencia la magnitud del mismo. Esto provocaba la aparición de la laguna de Aguablanca formada por las represas y los ríos Pance, Lili, Meléndez y Cañaveralejo al desembocar en el Cauca.

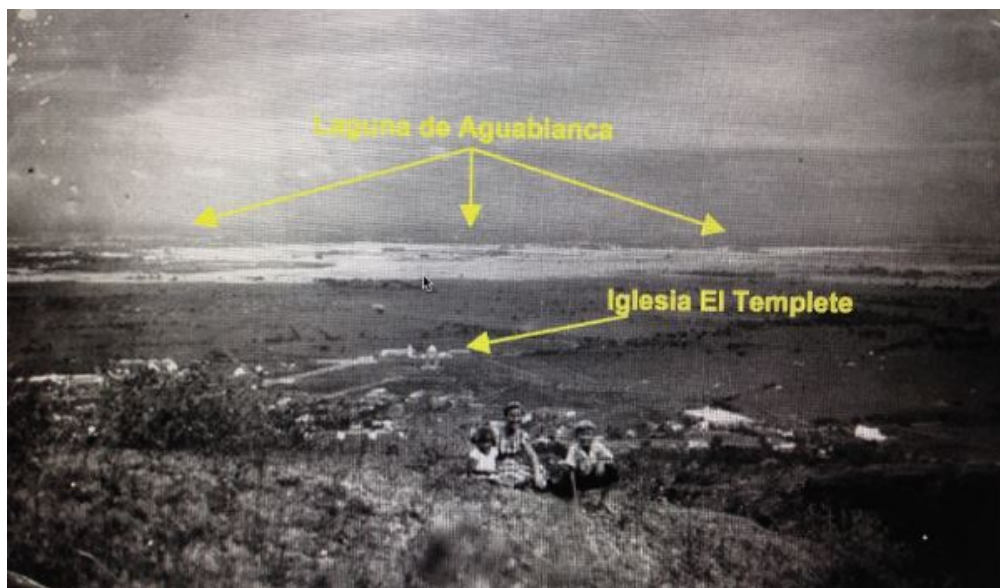


Figura 4.4: Cali desde Cristo Rey: Área inundada y Laguna de Aguablanca (1950). Podría corresponder a las grandes inundaciones durante el evento La Niña de 1950 que incitó la creación de la C.V.C. En el plano medio se observa el Templete.

Fuente: Velásquez (2004)

■ Inundaciones de Noviembre 2010

Según los hallazgos presentados por Henao Martínez (2016), se destaca que hacia mediados de noviembre de 2010, durante el último episodio significativo del fenómeno de La Niña, la creciente emergencia por inundaciones que afectaba a diversas regiones del país comenzó a impactar directamente a Santiago de Cali y otros municipios como Candelaria y Palmira (figura 4.5). En ese momento crítico, el río Cauca se encontraba a tan solo 21 centímetros de su nivel de desbordamiento hacia la ciudad de Cali. Los investigadores señalan en su estudio que el río Cauca estaba desbordándose a través de los aliviaderos del Jarillón, agravando el riesgo de inundación dada la ocupación ilegal de esas zonas. Lamentablemente, los residentes de asentamientos informales en el dique del río Cauca experimentaron las consecuencias devastadoras de este evento catastrófico, lo que puso de relieve tanto los impactos sociales y económicos como la urgente necesidad de estrategias de gestión de riesgos en áreas vulnerables.

La experiencia de Cali y sus municipios circundantes durante este evento ejemplifica la importancia de la planificación urbana resiliente y la gestión de asentamientos informales para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones. Los resultados de este análisis subrayan la necesidad de abordar los problemas de ocupación ilegal y de manejo de recursos hídricos de manera proactiva, con el objetivo de mitigar los impactos futuros de desastres similares y promover la seguridad de la población.



Figura 4.5: Las grandes inundaciones provocadas por el río Cauca en el 2010.
Fuente: El País (2010)

Durante este mismo período, se informa que el dique de Puerto Molina, situado en el municipio de Obando, sufrió una ruptura debido a la intensidad de las aguas del río, agudizada por varias semanas de lluvias intensas (El País, 2016). Según el reportaje de El País, un extenso territorio de aproximadamente 3.000 hectáreas, equivalente a casi una cuarta parte del área total de Cali, quedó sumergido bajo el agua como resultado de este desbordamiento. El sector agrícola también sufrió gravemente, con pérdidas estimadas en \$77.000 millones. Las repercusiones de este evento no solo se limitaron a la infraestructura, sino que afectaron profundamente a las familias, muchas de las cuales enfrentaron la pérdida no solo de sus hogares sino también de sus fuentes de ingresos. Algunos habitantes de el Valle del Cauca incluso compararon esta tragedia con el relato bíblico del “Diluvio Universal”, enfatizando la magnitud y la connotación histórica de los acontecimientos afirma según el artículo.

■ Inundaciones 2017

Para el mes de abril de ese año según el reporte de el El País (2017), 20 barrios se vieron afectados por fuertes inundaciones, los cortes de energía, la caída de árboles y las congestiones viales en la Troncal de Aguablanca, Av Simón Bolívar y hasta la Cárcel de Villahermosa como se evidencia en la figura 4.6. Las autoridades municipales reportaron varias emergencias durante la precipitación que superó en varias zonas de la ciudad los 35 mm.



Figura 4.6: Vías de Cali afectadas por fuertes lluvias en el 2017.
Fuente: El País (2017)

En el mismo año, específicamente en mayo, una zona cercana a la infraestructura objeto de estudio en la región oriental de Cali, experimentó una serie de inundaciones graves. Diversas calles resultaron afectadas por esta situación, lo que llevó a alrededor de 250 familias del barrio Puerto Nuevo a pasar una noche angustiante ante el incremento significativo del nivel del agua. La fuente BLU Radio (2017) atribuye este aumento en el nivel del agua al rebosamiento de los sumideros, un fenómeno que se produjo debido a las elevadas crecidas del río Cauca. Este barrio afectado se localiza en la comuna 7 de Cali muy cerca del río Cauca.



Figura 4.7: Inundación barrio Puerto Nuevo. En ambas fotografías tomadas de la inundación del 2017 se puede dimensionar la altura alcanzada por el evento (ver viviendas afectadas). Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali (2017)

En noviembre del mismo año se reportaron inundaciones en las vías de los barrios Jorge Eliécer Gaitán, Petecuy, Alfonso López, San Luis y San Luisito al oriente de la ciudad (figura 4.8). Allí los canales de aguas lluvias como el de la avenida Ciudad de Cali amenazaban con desbordarse (Noti Tuluá, 2017).



Figura 4.8: Barrio del oriente de Cali inundado.
Fuente: Noti Tuluá (2017)

4.1.2 Magnitud de las inundaciones históricas

A lo largo del tiempo, los riesgos que se han ido acumulando en un contexto histórico concreto encuentran su expresión en forma de daños y pérdidas cuando un evento natural o causado por la acción humana afecta a una población vulnerable. Los desastres, en este sentido, adquieren un papel crucial como indicadores del grado de riesgo preexistente en una región. Sin embargo, es importante tener en mente que no todas las condiciones de riesgo se manifiestan necesariamente en un período específico (Pérez Jiménez, 2015). Pérez Jiménez (2015) en su documento enfatizan que su materialización dependerá del grado de vulnerabilidad de la población, frecuencia e incluso de la magnitud de los eventos que se presenten.

Dentro de la población vulnerable, se incluyen las zonas de asentamiento informal localizadas sobre el dique y que implican en el debilitamiento este haciendo que el riesgo y

la exposición incrementen. Estos asentamientos se encuentran ubicados en la parte posterior y sobre el dique como lo evidenciana figura 4.9. En las tres imágenes indicadas en el mapa se resaltan viviendas informales, e incluso en la tercera imagen se aprecia la construcción de un balneario llamado “Brisas del Cauca”. Es evidente que estas construcciones se encuentran en un alto nivel de exposición. Adicionalmente, al debilitar el dique con estas construcciones contribuye a que el riesgo sea mayor, afectando de manera indirecta en caso de que suceda el evento de inundación, las vías transitadas por los alimentadores o buses del MIO, impidiendo el normal funcionamiento de la Terminal Andrés Sanín.

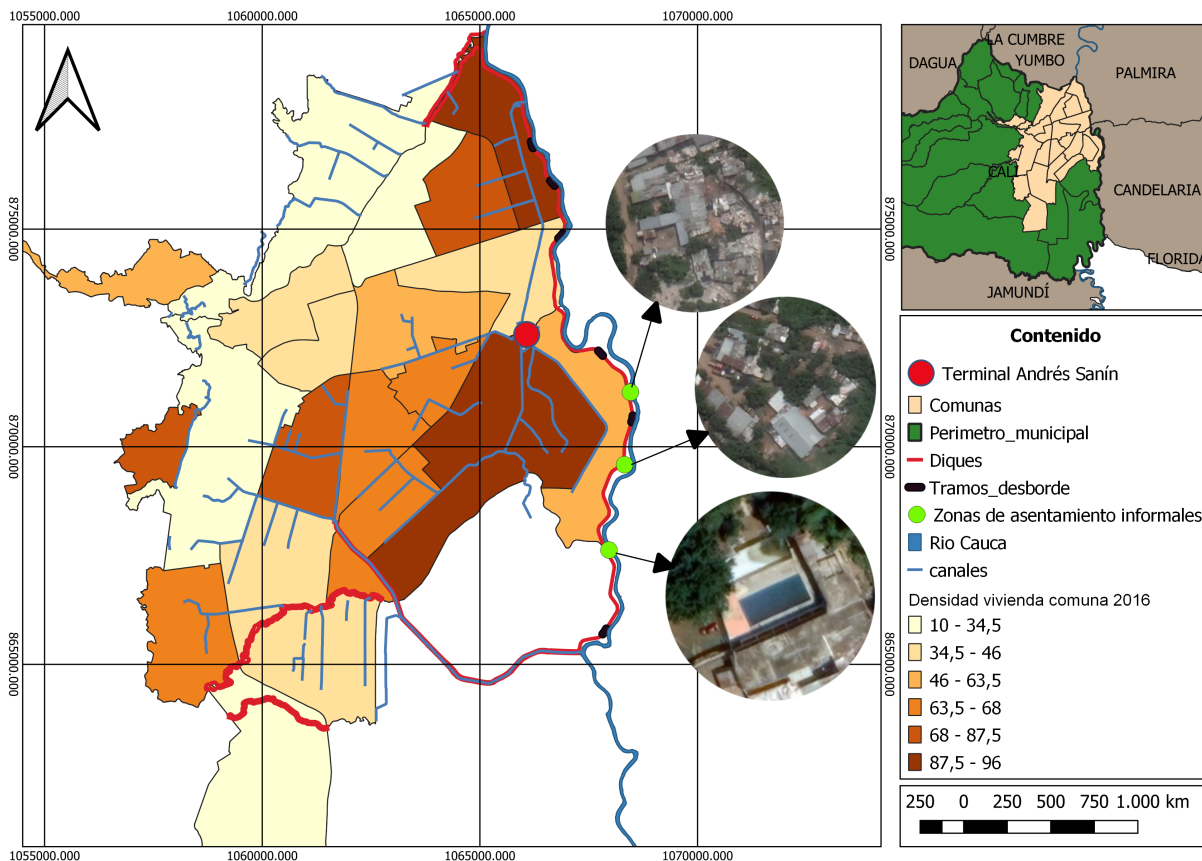


Figura 4.9: Mapa de asentamientos informales a la orilla del Río Cauca con la densidad poblacional del año 2016. Elaboración propia con base en fuentes cartográficas oficiales de la IDESC (2014)

Como se ha mencionado anteriormente, las inundaciones en Cali se han manifestado históricamente siendo la topografía uno de los factores condicionantes del evento en la ciudad. Lo anterior se podría asociar a que el nivel del río Cauca se encuentra más alto que el de la llanura de inundación actual, la cual se encuentra totalmente poblada. En el pasado en las

temporadas de crecida el río se desbordaba fácilmente sobre su llanura causando grandes inundaciones, que antes de los años 60 afectaban cultivos y algunas personas. Sin embargo, desde la década de los 60's, Cali ha venido presentando grandes cambios en el uso del suelo en la zona. El principal, la vocación de uso de de agrícola a urbano. Este último con alta densidad de población (figura 4.10), lo que ha ocasionado el aumento de reportes pérdidas y daños por inundación.



Figura 4.10: Usos del suelo en la zona del Distrito de Aguablanca. (Izquierda): Llanura aluvial del río Cauca antes de la expansión del Distrito de Aguablanca en 1961. (Derecha): Aspecto de la misma zona con presencia de las Comunas 14 y 21 del Distrito de Aguablanca en 2007. Tomado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Universidad del Valle (2014)

La base de datos DesInventar Cali, la cual es creación de la Corporación OSSO, alberga reportes de desastres, pérdidas y daños que se han manifestado desde el período de (1950 al 2012). En las figuras 4.11 se pueden visualizar las cifras sobre el impacto que tiene el fenómeno de inundación respecto a los otros riesgos que presenta la ciudad de Cali. El número de fallecidos corresponde a un 26 %, las personas afectadas directa e indirectamente fue de un 58 % y las casas destruidas o dañadas corresponden a un 85 %. Estos desastres han sido provocados por fuertes lluvias, lo que ocasiona que viviendas, sótanos, instalaciones de infraestructuras críticas terminaran afectadas por la inundación; causando incluso problemas de tránsito, desbordamiento en canales de aguas lluvias, deslizamientos, desbordamiento del

río Cañaveralejo, Meléndez, Cauca, entre otros, según informa la base de datos DesInventar.

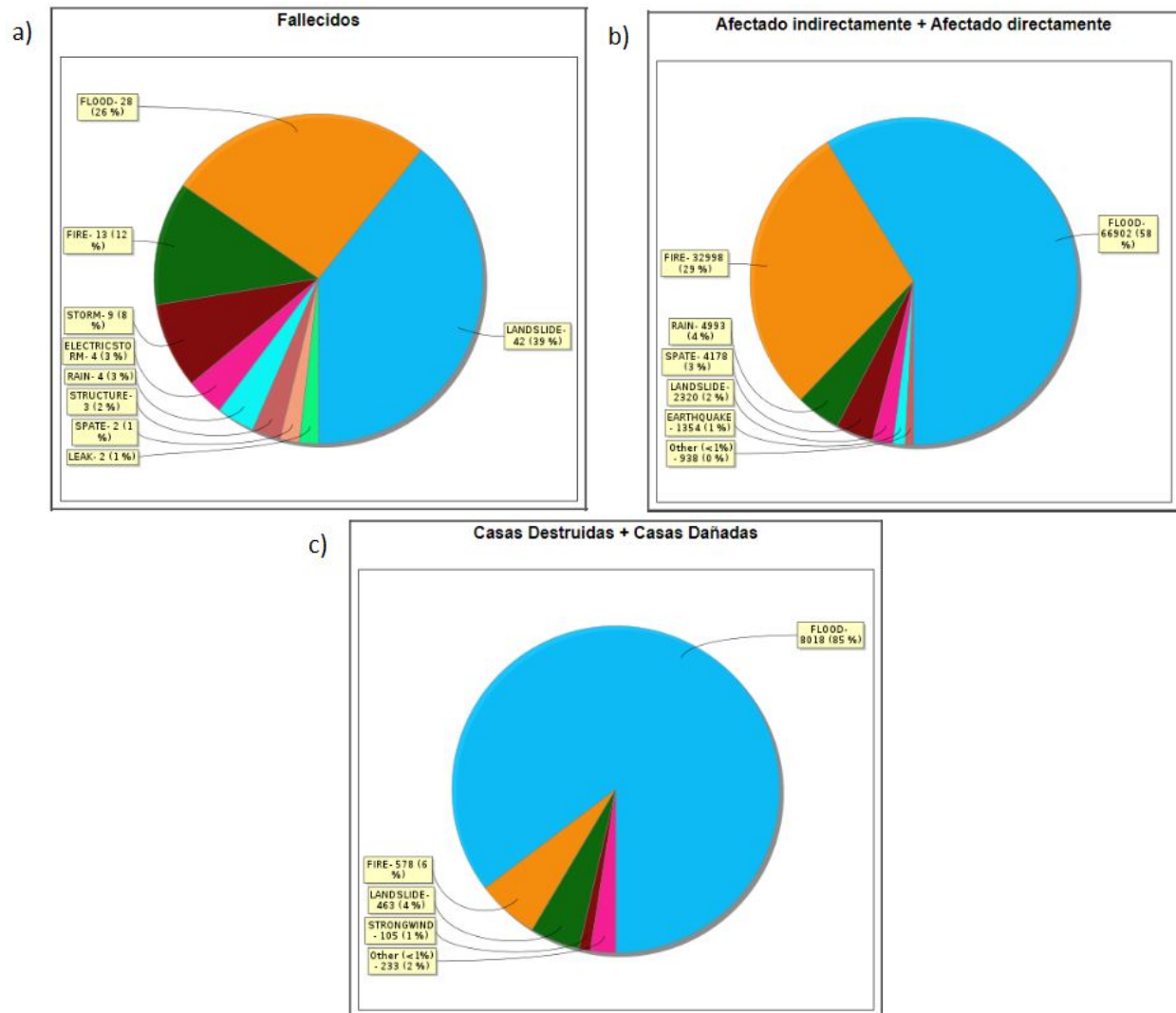


Figura 4.11: Reportes de desastres, pérdidas y daños que se han manifestado durante el periodo de (1950 al 2012). Los efectos por inundación sobre los demás riesgos corresponden a un: (a) 39 %. (b) 58 %. (c) 85 %. Indicando la incidencia que ha acarreado el fenómeno a lo largo del tiempo. Tomado de DesInventar (2012)

A lo largo del tiempo, los daños provocados por este fenómeno han dejado cuantiosas pérdidas por su alto impacto frente a otros riesgos que se presentan en la ciudad. Las pérdidas incrementan con el tiempo como consecuencia del crecimiento de la población en determinados sectores vulnerables de la ciudad (ver figura 4.10) en conjunto con las temporadas más severas del fenómeno de La Niña. Estas últimas, podrían estar asociadas con el Cambio Climático ya que existe evidencia científica que indica que el clima en el planeta está cambiando más de lo esperado y que nuestras actividades ligadas a la

producción, extracción, asentamiento y consumo, son la principal causa de este aceleramiento en el cambio (IDEAM, 2022).

“En los últimos 50 años, la temperatura global en la superficie ha aumentado a un ritmo más rápido que en cualquier otro período de los últimos 2.000 años” (IPCC, 2021). “La urbanización también incrementa las precipitaciones medias e intensas sobre las ciudades o a sotavento y la intensidad de la escorrentía resultante” (IPCC, 2021). En conclusión, este informe subraya la influencia humana en cambios climáticos acelerados y extremos en el planeta, donde resaltan que en la década de 2011-2020 se evidenciaron temperaturas excepcionales.

La figura 4.12 presenta los desastres provocados únicamente por las inundaciones. Los picos máximos corresponden a los impactos del fenómeno de La Niña 2010-2012 en Cali, evidenciando las graves consecuencias de la creciente ubicación de población e infraestructura productiva en llanuras aluviales (Corporación OSSO, 2013).

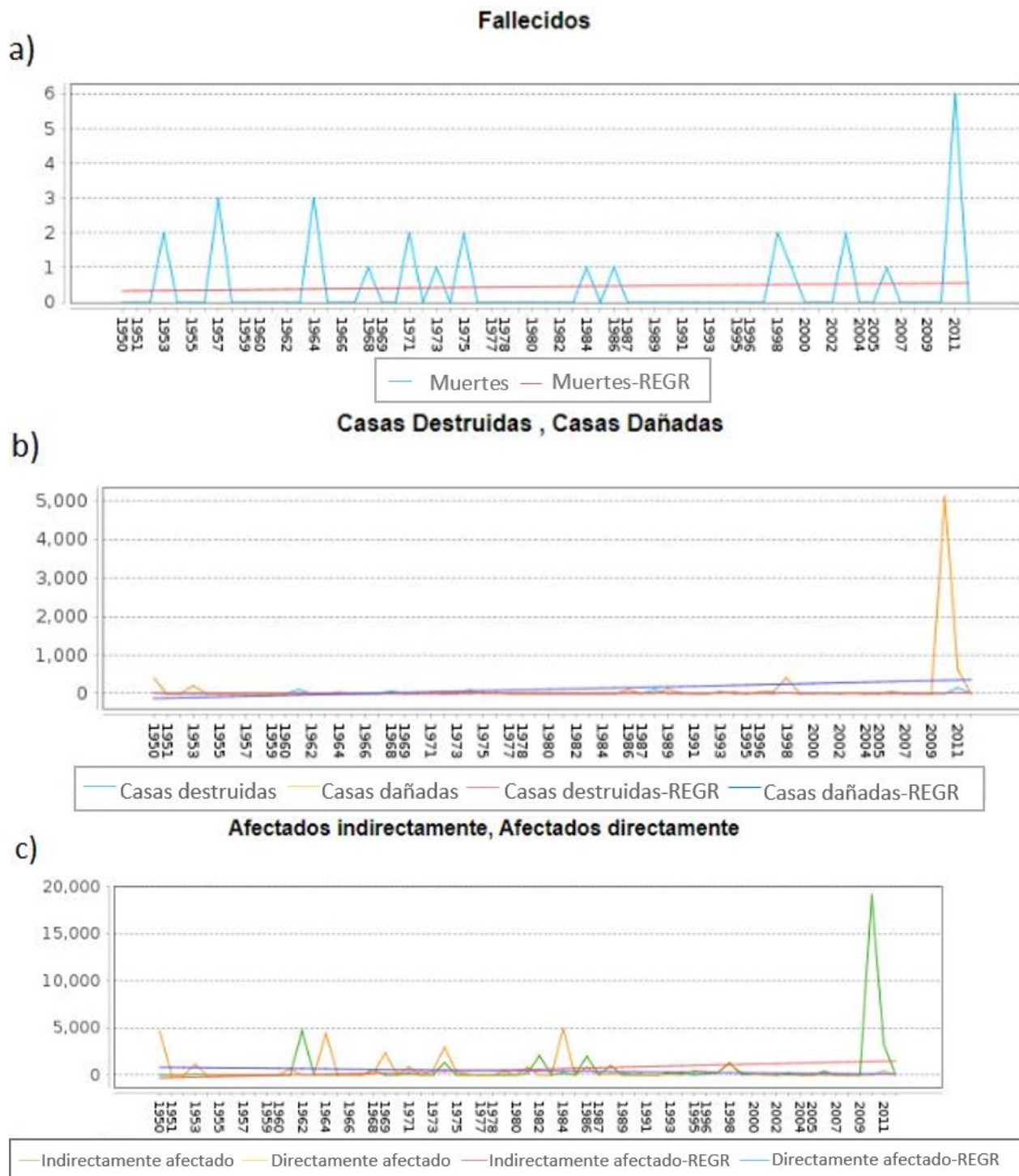


Figura 4.12: Reportes de pérdidas y daños causados por el evento de inundación durante el periodo de (1950 al 2012). (a) Fallecidos reportados. (b) Casas afectadas. (c) Personas afectadas. Adaptado de DesInventar (2012)

4.1.3 Probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno

La firma holandesa Royal Haskoning DHV junto con la firma local Corporación OSSO y el Observatorio Sismológico del Suroccidente, realizaron un diagnóstico integral sobre las condiciones de riesgo del dique y el sistema de drenaje del oriente de la ciudad. El estudio modeló la amenaza por inundación para periodos de retorno de 100, 250 y 500 años por desbordamiento del río en seis tramos de 150 m de longitud cada uno, sitios donde la altura del dique está reducida por una serie de amenazas antrópicas y naturales. Lo anterior se hizo más evidente a raíz de las precipitaciones y crecientes de los ríos tributarios del Cauca originadas por un prolongado evento de La Niña entre 2010 y 2012 que no solo afectó la región suroccidental del país, sino que causó grandes inundaciones y daños colaterales en la parte norte del país (OSSO y Fondo Adaptación, 2012).

La modelación permitió obtener información para la construcción de escenarios de amenaza que proveen de información relacionada como el área inundada, las profundidades y velocidades de agua, entre otros. Con estos datos, el Plan de Ordenamiento Territorial de Cali, aprobado en el 2014, tomó como escenario de interés para la planificación de la ciudad la creciente del río con el periodo de retorno de 500 años con el fin de identificar las zonas de Amenaza Mitigable por inundaciones del Río Cauca en su acuerdo 373 de 2014, artículo 43. Este escenario de amenaza implica que la creciente del río permanecería durante 8,6 días y las aguas tardarían 4,5 meses en evacuarse del oriente de la ciudad. El desbordamiento generaría zonas de inundación con profundidades que varían entre los 30 centímetros y más de 7 metros, es decir, con un promedio de 1,90 m. Con estos valores se clasificó la zona en amenaza alta, media y baja, en función del nivel de profundidad de la inundación y de la velocidad del agua (Burbano et al., 2016) (ver figura 4.13). De acuerdo con los resultados de este escenario de amenaza, las zonas más afectadas se localizarían en las Comunas 6, 7 y 21. Se destaca que la Terminal objeto de la presente investigación se encuentra ubicada en la última comuna mencionada (ver figura 4.14).

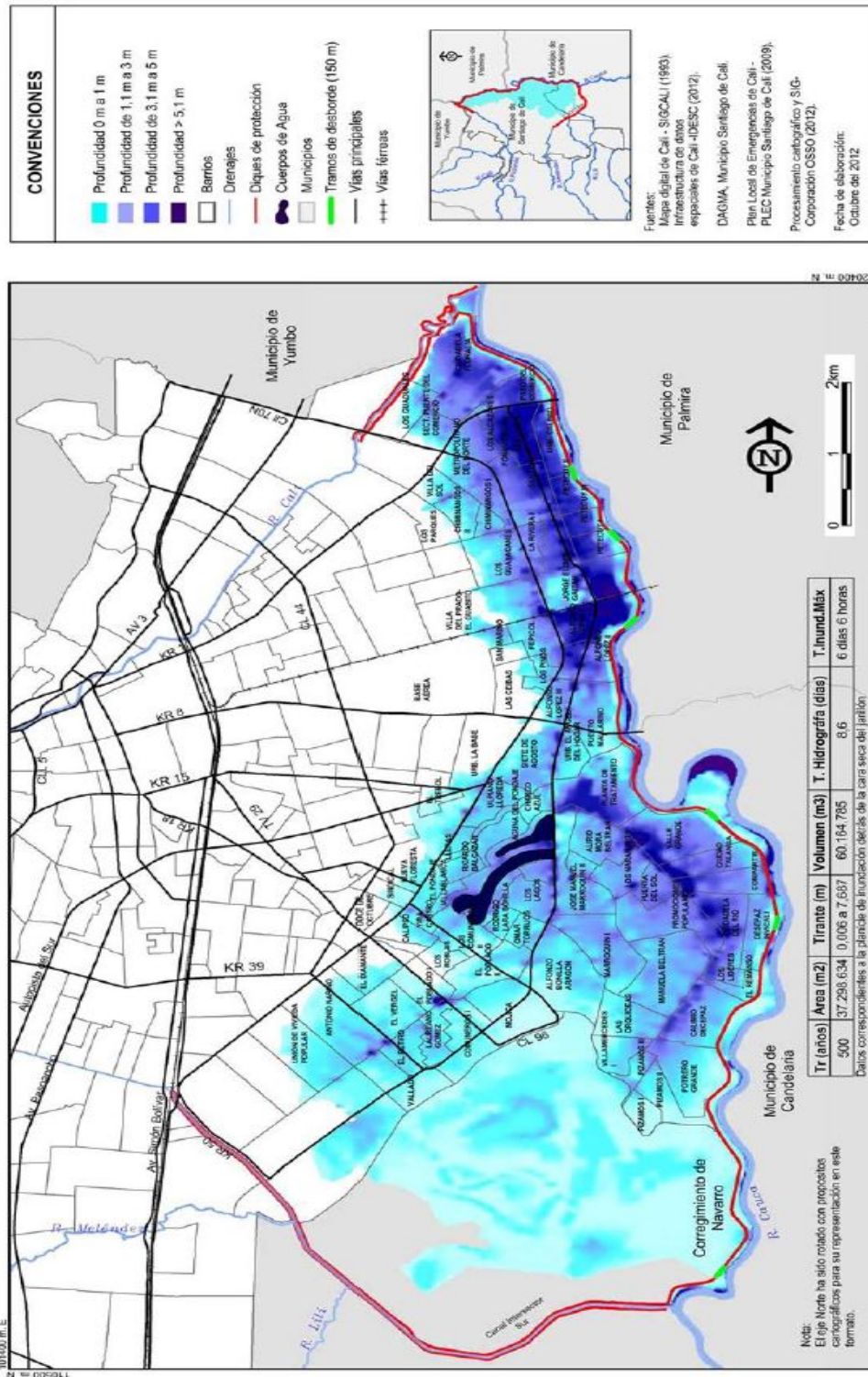


Figura 4.13: Escenario de amenaza para TR 500 años/Tramos de desborde de 150 m. Se aprecia que de acuerdo la intensidad del color de la inundación, así mismo varía la profundidad de ella. Tomado de OSSO y Fondo Adaptación (2012)

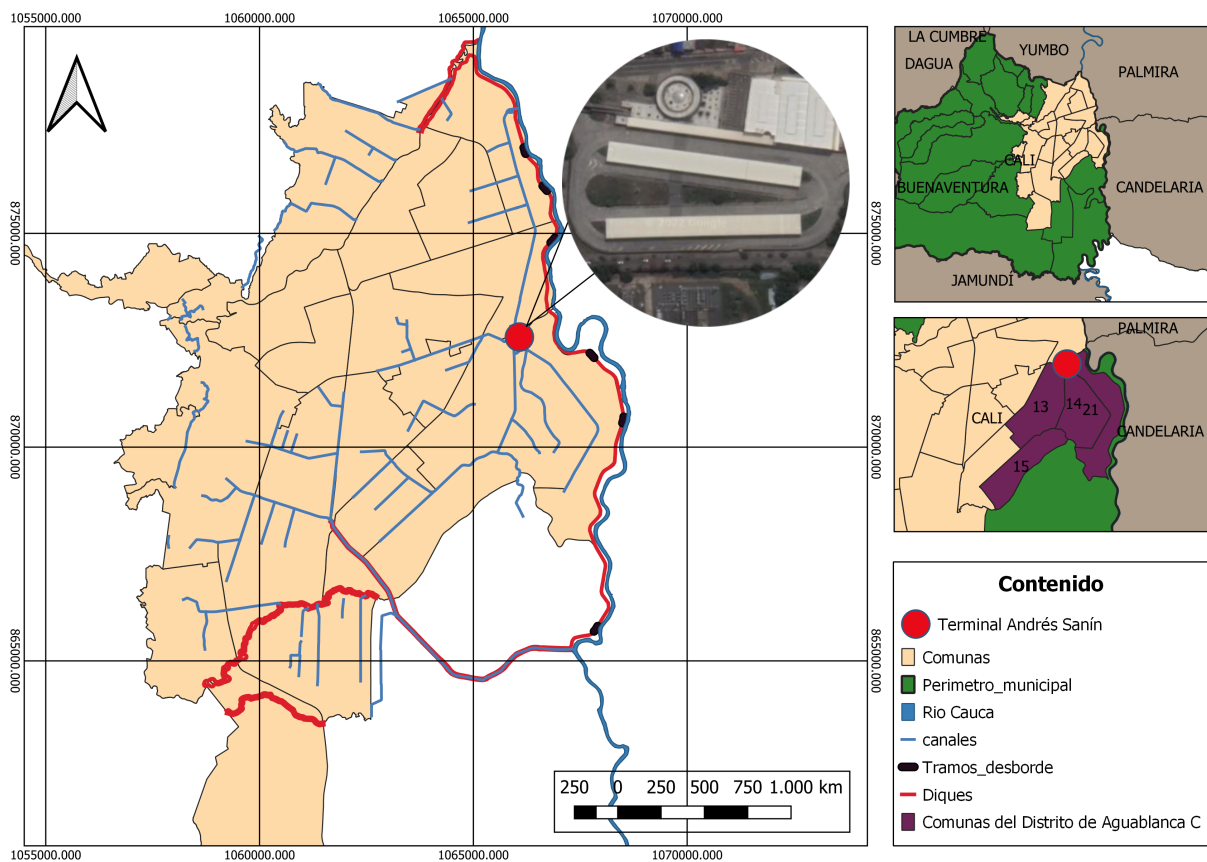


Figura 4.14: Localización de la Terminal Andrés Sanin. Elaboración propia con base en fuentes cartográficas oficiales de la IDESC (2014)

De acuerdo con OSSO y Fondo Adaptación (2012) en su diagnóstico, indican que el hacer caso omiso a las adecuaciones en el sistema de drenaje propuestas en el documento (como realizar el realce el dique del río Cauca hasta lograr un nivel de protección óptimo), se seguirán produciendo inundaciones en los barrios donde históricamente se han presentado.

Con base en la información anterior, se crea la convicción de que la mayor parte de Cali presenta altos niveles de amenaza por inundación, viéndose afectada gran parte de la comunidad. Sin embargo, el oriente de Cali (desarrollado sobre la antigua laguna de Aguablanca) es el sector en donde los daños y las pérdidas son mayores como “consecuencia de la alta exposición y alta vulnerabilidad social de los habitantes y por su cercanía con el río Cauca” (Salcedo Hurtado et al., 2020). En la figura 4.15 se puede observa la extensión y zonificación de un evento de inundación tipo fluvial (adaptación del modelo del diagnóstico) y cómo su expansión llegaría a afectar a la Terminal Andrés Sanín (señalada en el mapa).

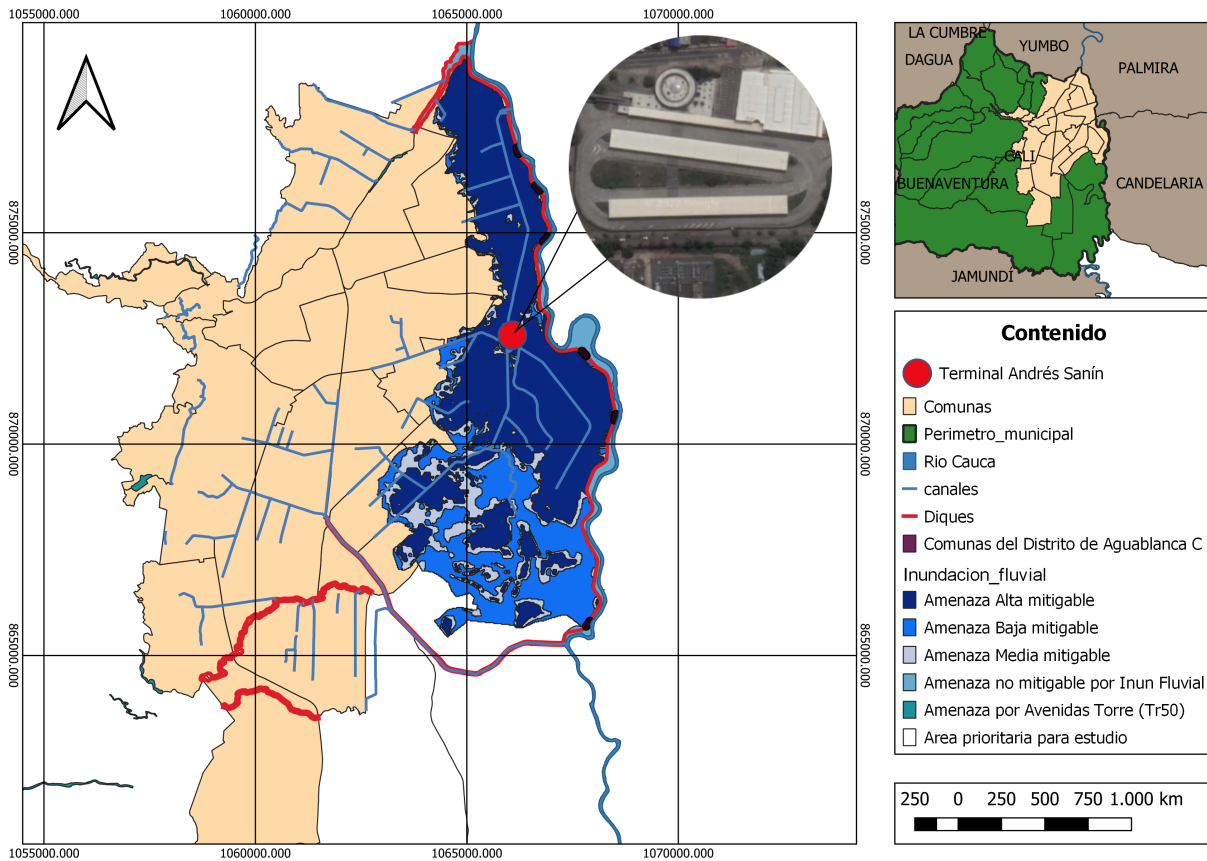


Figura 4.15: Mapa de escenarios de amenaza por inundación fluvial. Elaboración propia con base en fuentes cartográficas oficiales de la IDESC (2014)

Es crucial tener en cuenta la ubicación y proximidad de la Terminal Andrés Sanín con los canales oriental inferior y puerto Mallarino (figura 4.16). En caso de lluvias intensas que provoquen el desbordamiento de estos canales, la Terminal se vería directamente afectada. Esto puede estar relacionado con problemas en la infraestructura de drenaje, como fallas en el diseño o falta de mantenimiento, así como con aspectos relacionados con la cultura ciudadana, como la obstrucción de los canales. Estos factores representan una amenaza adicional que debe ser considerada en el estudio.

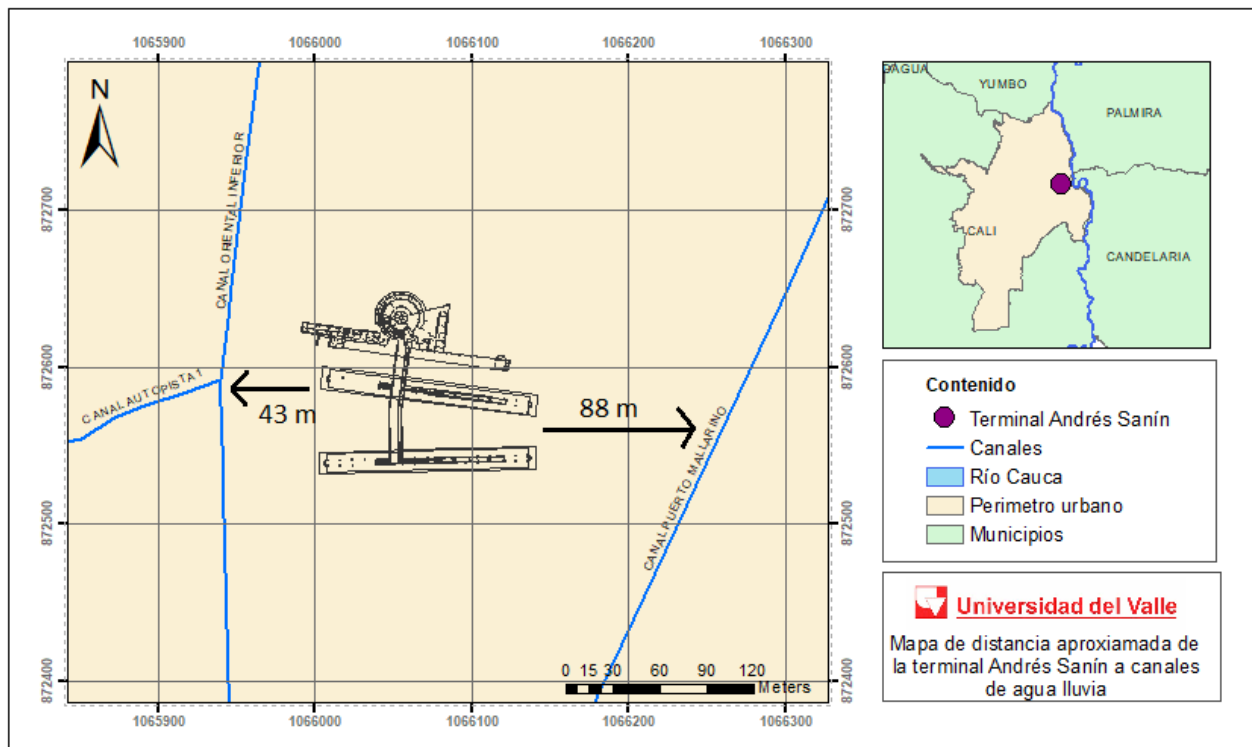


Figura 4.16: Mapa de distancia de la Terminal Andrés Sanín con canales de aguas lluvia. La flecha en color negro indica la distancia al canal. Elaboración propia con base en fuentes cartográficas oficiales de la IDESC (2014)

Dentro del contexto de un evento de inundación, es importante destacar que no solo la Terminal Andrés Sanín estaría expuesta a las pérdidas ocasionadas por su magnitud e intensidad, ya que los buses que se encuentren dentro de la Terminal también podrían quedar averiados, sin poder prestar servicio a los usuarios. Esto se debe a que la altura del piso de la Terminal hasta la base de las puertas de los vehículos (que coincide con la altura de las paradas en las bahías), varía entre 91 cm y 93 cm (ver figura 4.17). Considerando que la profundidad promedio del agua para una inundación de Tr 500 años es de 190 cm, esto podría afectar la prestación de servicios y causar daños en el mecanismo de los vehículos.



Figura 4.17: Distancia del piso de la Terminal hasta la base de la puerta del vehículo MIO (Fotografías propias tomadas en la Terminal Andrés Sanín, 2022)

4.1.4 Fragilidad

La búsqueda del grado de fragilidad de la Terminal en relación con la intensidad del evento amenazante, en este caso la inundación de retorno de 500 años, es un paso crucial para comprender la vulnerabilidad de la infraestructura ante dicho fenómeno.

La fragilidad, en este contexto, se establece en relación con la capacidad de defensa y salvaguarda de la infraestructura expuesta ante la amenaza específica, en este caso, la inundación. Para efectuar una evaluación de la fragilidad de la Terminal, se requiere la consideración de dos componentes esenciales: la fuerza del impacto o la intensidad del evento y el grado de resistencia estructural.

La presión de impacto se refiere a la fuerza ejercida por el flujo de agua sobre la estructura durante la inundación. Esta presión se estima utilizando parámetros como la velocidad y densidad del flujo de agua, de acuerdo con las metodologías y referencias mencionadas anteriormente (ver capítulo 3).

Por otro lado, el factor de resistencia estructural se relaciona con las características de la Terminal, como su tipología, edad, altura (número de pisos) y estado de conservación. Se utilizan variables y criterios basados en trabajos anteriores y en la metodología propuesta por la CVC y Univalle para determinar este factor de resistencia.

Una vez obtenidos los valores de presión de impacto y factor de resistencia, se puede calcular el grado de fragilidad de la Terminal (ver ecuación 3.1).

■ Intensidad del evento de inundación

Para evaluar la intensidad del evento de inundación, es necesario conocer la profundidad (H) y la velocidad (V) del flujo de agua. Estos valores se obtienen a partir de la modelación del mapa de amenaza para un periodo de retorno de 500 años (ver Figura 4.13).

La Terminal se encuentra en una zona de alta amenaza debido a su proximidad al río Cauca. Para calcular la intensidad del evento de inundación en la Terminal, se consideró una profundidad de inundación mayor a 0,90 metros y una velocidad del flujo de agua superior a 0,8 m/s. Estos valores son tomados como referencia para determinar la gravedad y las dimensiones de la inundación en la zona.

Es importante destacar que estos valores pueden variar dependiendo de los criterios utilizados en el análisis de riesgo y las características específicas de la zona de estudio. La profundidad y la velocidad del flujo de agua son parámetros clave que permiten evaluar el impacto potencial de la inundación en la infraestructura y tomar medidas adecuadas de mitigación y planificación.

El mapa presentado en la figura 4.18 proporciona una representación visual de la distancia entre la Terminal y el cauce del río Cauca. La cercanía de la Terminal al cauce es de aproximadamente de 729,2 metros en cuanto a la distancia plana. Por otro lado, la figura 4.19 refleja la distancia euclidiana, evidenciando que la Terminal se encuentra a una distancia entre 691,2 y 1382,4 metros del río. Esta información es relevante para comprender la exposición de la infraestructura a eventos de inundación y tomar decisiones informadas para su protección y gestión de riesgos.

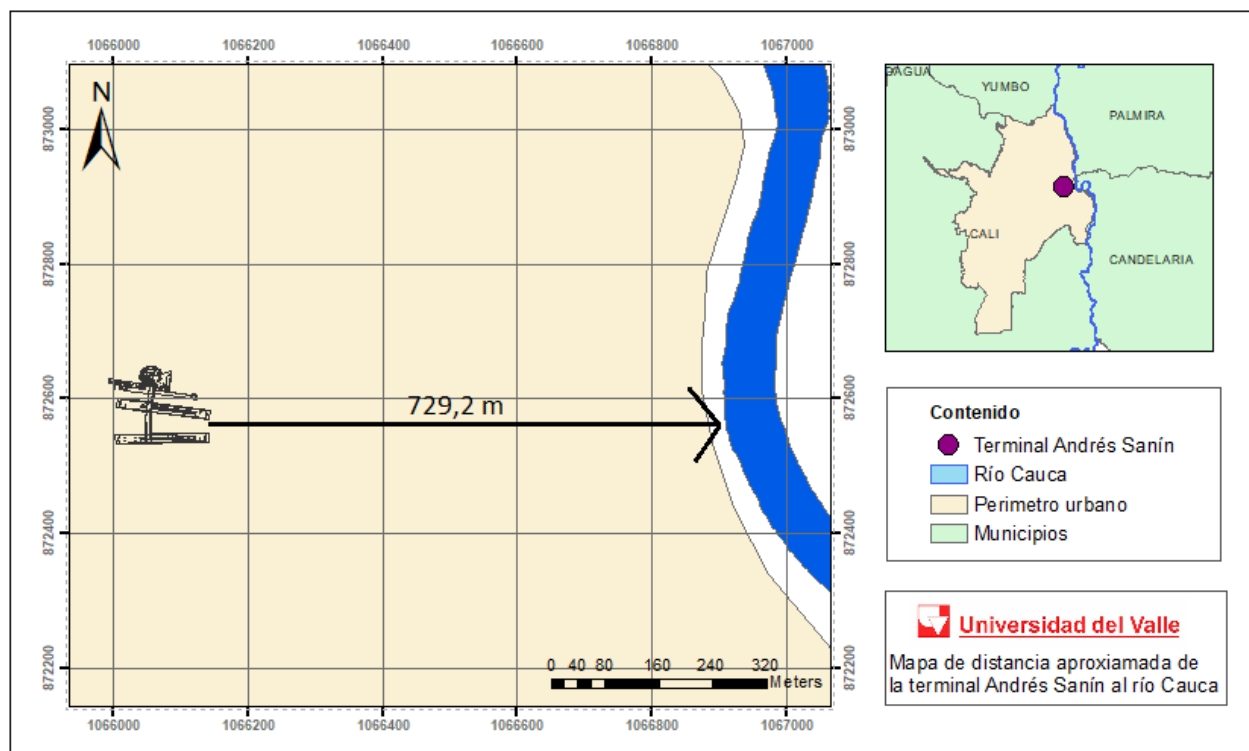


Figura 4.18: Mapa de distancia de la Terminal al río Cauca. La flecha negra indica la distancia al río.

Fuente: Elaboración propia

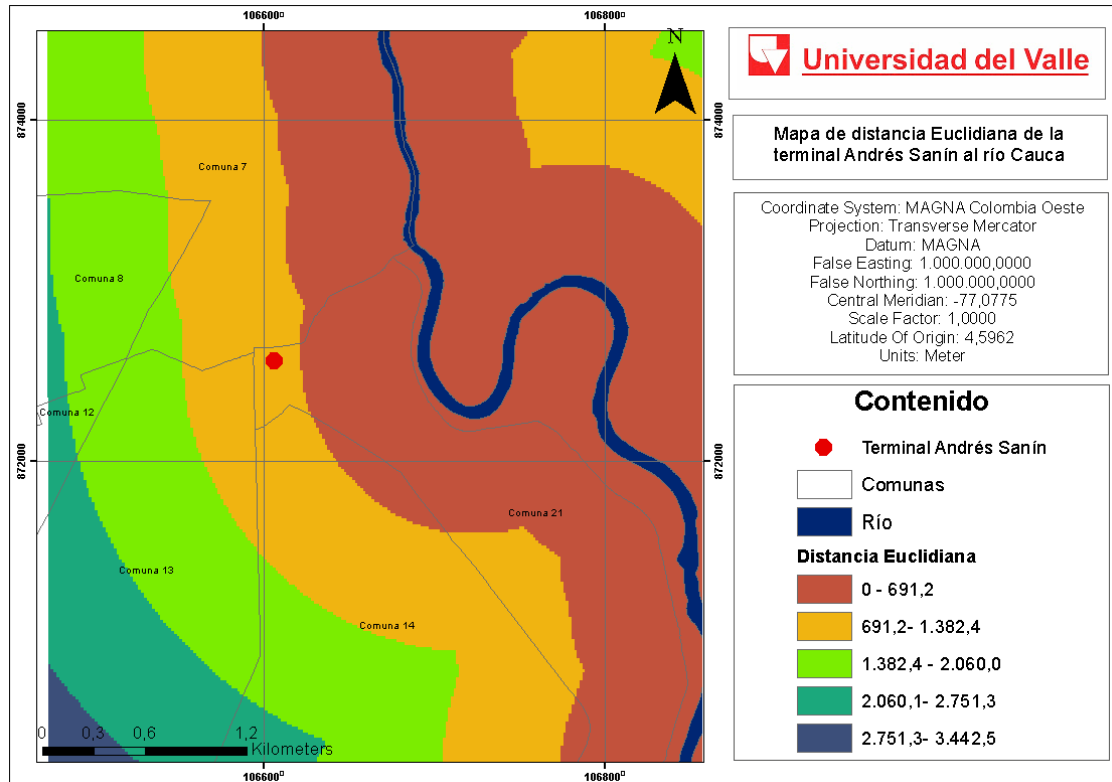


Figura 4.19: Mapa de distancia euclidiana de la Terminal al río Cauca.
 Fuente: Elaboración propia.

Según los criterios establecidos en la tabla 3.5 para identificar una zona de amenaza alta al considerar los valores más altos, se obtiene el resultado de la intensidad del evento de inundación (ver tabla 4.1).

Intensidad del evento	
Profundidad	1 m
Velocidad	0,9 m/s
Total	0,9 m^2/s

Tabla 4.1: Valor de intensidad obtenido

Con el valor obtenido de 0,9 m^2/s y de acuerdo con los valores presentados en la tabla 3.6 se obtiene que el evento de inundación es de intensidad alta. Sin embargo, es importante destacar que este valor se refiere a la intensidad general del evento y no necesariamente a la intensidad específica que afectaría a la estructura en cuestión.

■ **Intensidad del evento sobre la estructura**

Para evaluar con mayor precisión la intensidad del evento sobre la estructura y comprender su impacto potencial, es necesario considerar otros factores y parámetros relevantes. Entre ellos se encuentran la resistencia estructural de la infraestructura expuesta, la exposición directa a flujos de agua y otros materiales arrastrados durante la inundación, así como los posibles mecanismos de impacto que podrían afectar su integridad.

Para calcular la intensidad sobre la estructura de la Terminal, primero se calcula la presión de impacto de la inundación (I_{f-pre}). Para ello, fue necesario hallar la presión de impacto de la inundación (kPa) (P_{iinun}), cuyas variables son presentadas en la tabla 4.2:

Presión de impacto de la inundación (kPa)	
ρ	1000 kg/m ³
v^2	0,9 m/s
Total	405

Tabla 4.2: Resultado presión de impacto (kPa)

Ahora bien, ya con P_{iinun} y con P_{le} cuyo valor está determinado de acuerdo a la topología de la estructura se halló la presión de impacto de la inundación (I_{f-pre}), el cual se presenta en la tabla 4.3:

Presión de impacto de la inundación (I_{f-pre})	
P_{iinun}	405
P_{le}	11
Total	36,8

Tabla 4.3: Resultado presión de impacto (I_{f-pre})

Lo siguiente fue hallar la profundidad de la inundación (I_{f-pro}) (tabla 4.4). Para esto fue necesario tomar el promedio de profundidad de inundación para el tiempo de retorno con el que se ha venido trabajando (Tr: 500 años) y el número de pisos de la Terminal (2 pisos correspondientes al túnel y bahías).

Profundidad de la inundación	
P_{inun}	1,9 m
h_e	2
Total	0,95

Tabla 4.4: Profundidad de la inundación

Finalmente, se procedió a calcular la intensidad de la inundación sobre la Terminal cuyo valor fue de 2,79 (ver tabla 4.5):

Intensidad sobre la edificación	
I_{f-pre}	36,81
I_{f-pro}	0,95
Total	2,79

Tabla 4.5: Intensidad de la inundación sobre la Terminal

■ Factor de resistencia estructural

Con el objetivo de recopilar información detallada de cada una de las variables para hallar el factor de resistencia estructural de la Terminal y cumplir con los requisitos establecidos en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), se llevó a cabo una inspección minuciosa de la Terminal.

Durante esta inspección, se recolectó información relevante sobre las características físicas y estructurales de la Terminal incluyendo su estado de conservación, tipología, edad y número de pisos. Estos datos son fundamentales para la evaluación de la resistencia estructural y la fragilidad de las construcciones frente a eventos de inundación.

En primer lugar, se llevó a cabo la identificación del factor de resistencia por tipo de estructura (S_{tip}). En el caso de la Terminal, se determinó que su tipología corresponde a mampostería confinada de resistencia muy alta, lo cual se refiere a una estructura sólida y robusta.

Según los lineamientos establecidos en la metodología utilizada, se asignó un valor de 0,5 al S_{tip} correspondiente a esta tipología de estructura. Este valor indica que la Terminal

cuenta con una alta capacidad de resistencia frente a los impactos generados por eventos de inundación.

Posteriormente, se procedió a determinar el factor de resistencia por altura de la estructura (S_{alt}) de la Terminal. Se observó que la Terminal cuenta con un total de 2 niveles, incluyendo el túnel y la zona de las bahías. De acuerdo con la metodología empleada, se asignó un valor de 0,4 al S_{alt} correspondiente a esta altura de la estructura. Este valor indica que la Terminal presenta una configuración de mediana altura, lo cual influye en su capacidad de resistir los efectos de una inundación.

Después de analizar la vida útil de la estructura de la Terminal, se determinó el factor de resistencia por servicio (S_{ser}) teniendo en cuenta la tipología de mampostería confinada y su vida útil aproximada de 70 años. Según los rangos establecidos que van de 0,6 a 0,8 para años de servicio, se asignó un valor de 0,5 al factor de resistencia por servicio de la estructura.

Después de realizar la inspección visual detallada de la estructura de la Terminal, se determinó que su estado de conservación es bueno. Durante la inspección se observaron únicamente daños superficiales leves en los acabados, sin comprometer la integridad estructural ni representar un riesgo significativo.

Con base en este análisis, se asignó un valor de 0,01 al factor de resistencia por conservación de la estructura (S_{con}). Este valor refleja que los daños observados son mínimos y no afectan de manera significativa la resistencia y funcionamiento de la Terminal.

A continuación se presenta el resumen de los parámetros y valores correspondientes a los factores de resistencia estructural encontrados (tabla 4.6), en donde el valor total para el factor de resistencia estructural S_e , corresponde a 0,85:

Factor de resistencia estructural S_e	
S_{tip}	0,5
S_{alt}	0,4
S_{ser}	0,5
S_{con}	0,01
S_e	0,85

Tabla 4.6: Factor de resistencia estructural ante el evento de inundación (S_e)

Finalmente con los dos factores obtenidos, la intensidad del evento sobre la estructura P_{imp} y el factor de resistencia de la estructura S_e , se obtuvo el valor de la fragilidad. En este caso, el valor resultante de la fragilidad para la Terminal es de 3,28 (tabla 4.7).

Fragilidad de la Terminal ante el evento por inundación (F)	
P_{imp}	2,8
S_e	0,85
F	3,28

Tabla 4.7: Fragilidad de la Terminal ante inundación

Este valor de fragilidad de 3,28 puede ser utilizado en estudios futuros sobre el riesgo de inundaciones en la Terminal, proporcionando información importante para la toma de decisiones en términos de prevención, mitigación y planificación de medidas de protección y respuesta ante eventos de inundación.

Es fundamental tener en cuenta este valor de fragilidad junto con otros datos relevantes, como la exposición de la Terminal a diferentes eventos amenazantes y la exposición de las personas y activos presentes en la zona, para obtener una evaluación integral del riesgo y desarrollar estrategias efectivas de gestión y reducción del riesgo ante inundaciones.

con base en lo expuesto, se puede afirmar que la Terminal se encuentra en un entorno con una alta amenaza de inundación, respaldado por eventos históricos en el distrito de Aguablanca y estudios previos de la zona. No obstante, es importante destacar que la Terminal ha sido construida con sistemas reforzados de columnas y vigas, lo cual le confiere resistencia ante eventos adversos. Además, al tratarse de una construcción relativamente nueva, se puede inferir que su vulnerabilidad es baja en relación a la amenaza de inundación.

Sin embargo, es crucial considerar que la ocupación humana juega un papel fundamental en la evaluación futura del riesgo. En la siguiente fase del estudio se analizarán las características de la ocupación en la Terminal, ya que las personas son elementos clave que se encuentran expuestos ante la amenaza de inundación. Comprender cómo se distribuye y se comporta la población en la Terminal permitirá una evaluación más integral de los posibles impactos asociados al evento de inundación.

En resumen, aunque la Terminal cuenta con una construcción resistente y una vulnerabilidad aparentemente baja, se debe tener en cuenta el factor humano y su ocupación para una evaluación completa de los riesgos asociados a la amenaza de inundación.

4.2 Características del comportamiento de la ocupación en la Terminal Andrés Sanín

En este apartado, se realizó el análisis de la ocupación del área de estudio. Esta corresponde a la Terminal Andrés Sanín, la cual está conformada de la siguiente manera: cuenta con 5 zonas dentro de las bahías donde se realiza la descarga y carga de pasajeros (ver figura 4.20), 1 túnel subterráneo que las comunica entre si (ver figura 4.21), 1 zona de taquillas para la recarga de pasajes, entre otras zonas las cuales comprenden el área administrativa de la Terminal. En consecuencia, el análisis de ocupación se hará de acuerdo con la distribución de las paradas en las 2 bahías. Adicionalmente, se contará con el personal que se encontraba trabajando en determinado lapso de tiempo.

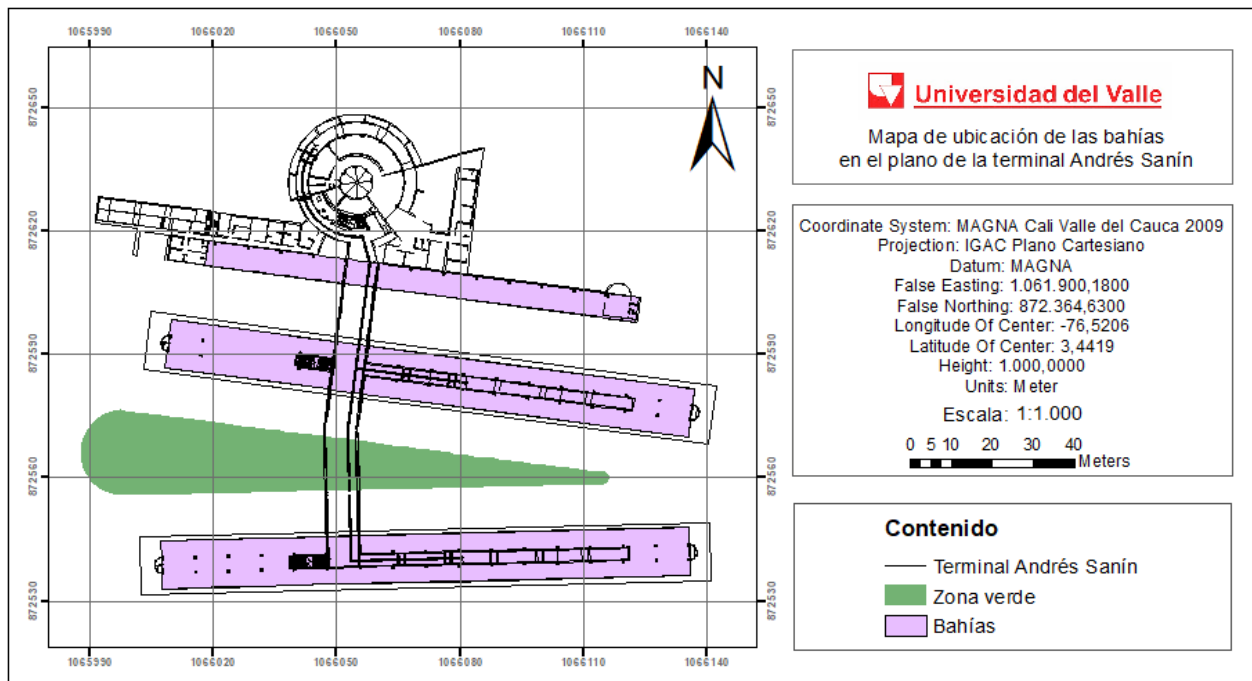


Figura 4.20: Distribución de las bahías de la Terminal Andrés Sanín para carga y descarga de pasajeros. Adaptado de Metro Cali (2019)

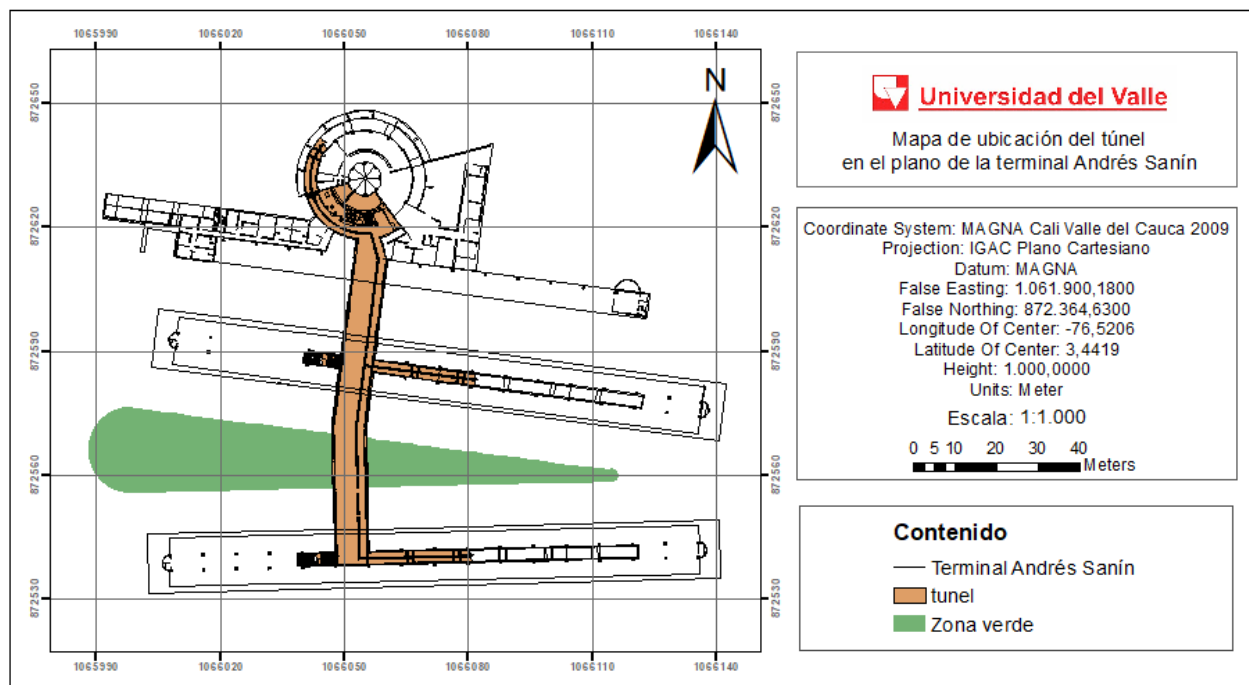


Figura 4.21: Localización del túnel subterráneo que comunica las dos Bahías de la Terminal Andrés Sanín. Adaptado de Metro Cali (2019)

Dentro de la metodología para analizar la ocupación, se incluye trabajar con las bases de datos proporcionadas por Metrocali y la UTRYT durante un mes. Adicionalmente, se realizaron visitas a la Terminal en un total de 20 días en los días típicos (definidos en el capítulo 3) para el análisis de ocupación en el servicio de transporte. Este ejercicio se complementó con visitas los fines de semana, para de esta manera, poder comprender de una forma integral el comportamiento de la ocupación en la Terminal.

Dichas visitas se realizaron durante cuatro semanas en diferentes jornadas. Para los días martes, miércoles y sábado fueron de 7:00 am a 12:00 pm; para los días jueves y domingo de 2:00 pm a 6:00 pm. Esta validación fue consignada en un formato diseñado inicialmente para la comodidad al registrar el número de conteo de buses según su capacidad (figura 6.1 en la sección de anexos) y de este modo, agregar un valor según la ocupación que se pueda percibir visualmente. En dichos formatos, se registró con una marca cada bus en su casilla respectiva, de acuerdo al nombre según su tamaño y los parámetros de capacidad que se establecieron con anterioridad en la tabla 3.13.

Una vez finalizada la toma de los datos en campo sobre la ocupación, se procedió a hallar el promedio diario de ocupación (de acuerdo a los días de validación), valor que se

comparó con la base de datos suministrada (marzo 2022). Posteriormente, dichos registros se llevaron a un archivo Excel para tener un mejor control de ellos e ir aplicando las ecuaciones pertinentes. Las marcas consignadas en el formato (figura 6.1) fueron sumadas una a una de acuerdo a la capacidad del bus. Este procedimiento se llevó a cabo para cada tamaño de bus y por todos los días que se realizó la visita a la Terminal. A los registros obtenidos se les multiplicó el valor asignado de la capacidad correspondiente de dicha ocupación como se muestra en la tabla 3.13. Por consiguiente, el valor obtenido se multiplicó por 2, asumiendo que de esta manera se cumple la jornada completa para así tener un supuesto o probable número de pasajeros de acuerdo a la ocupación por día, utilizando la ecuación 3.8. Los resultados se analizaron por semana para su mejor interpretación y se presentan en las siguientes tablas 4.8, 4.9, 4.10. y 4.11.

■ Primera semana

Día	Articulado	Padrón	Alimentador	Total personas
Sábado	1585	1695	855	4135
Domingo	600	722	160	1482
Martes	2520	2993	330	5843
Miércoles	1985	3024	1370	6379
Jueves	2390	3024	490	5904

Tabla 4.8: Número de personas por día para la primera semana

Fuente: Elaboración propia

■ Segunda semana

Día	Articulado	Padrón	Alimentador	Total personas
Sábado	1505	1636	963	4103
Domingo	500	925	180	1605
Martes	2230	3080	490	5800
Miércoles	1745	3039	1370	6379
Jueves	2550	3130	475	6155

Tabla 4.9: Número de personas por día para la segunda semana

Fuente: Elaboración propia

■ Tercera semana

Día	Articulado	Padrón	Alimentador	Total personas
Sábado	1425	1655	845	3925
Domingo	500	792	145	1437
Martes	2260	2830	490	5580
Miércoles	1605	3024	1370	5999
Jueves	2390	2910	520	5820

Tabla 4.10: Número de personas por día para la tercera semana

Fuente: Elaboración propia

■ Cuarta semana

Día	Articulado	Padrón	Alimentador	Total personas
Sábado	1585	1655	963	4203
Domingo	640	925	160	1725
Martes	2560	2630	490	5680
Miércoles	1960	3039	1370	6369
Jueves	2240	2910	620	5770

Tabla 4.11: Número de personas por día para la cuarta semana

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores, salta a la vista que la población es variable en el tiempo, debido al flujo normal de personas que utilizan este medio de transporte. Se observa que el comportamiento de los días miércoles (según la validación realizada en campo) presenta el máximo de pasajeros a comparación de los demás días. Se observan valores de ocupación de 6379 (segunda semana) y 5999 en la tercera semana.

Por otro lado, los domingos presentan una situación inversa. Durante este día, se registró la menor afluencia de pasajeros, con un promedio de 1480 viajeros. Esta disminución se debe en gran parte a que los domingos son considerados días de descanso en Colombia. En este día, las instituciones educativas no operan y muchas empresas también optan por cerrar, lo que reduce la necesidad de desplazamientos. Es importante destacar que la variabilidad en los registros de ocupación de la Terminal se atribuye a una serie de factores diversos.

En consecuencia, se decidió evaluar la variación de estos datos con un mes de referencia. Se seleccionó el mes de marzo del 2022 (tabla 4.12). Para este mes, los registros de ocupación están discriminados por día según los reportes suministrados por MetroCali. Se escogió este mes como de referencia porque además de ser un periodo actual que es paralelo al periodo de las visitas en campo, presenta normalidad en sus días típicos. Este mes cuenta con 31 días, los cuales se dividen en 5 semanas de días típicos, empezando el día 1 martes y terminando el día 31 jueves; días que se ajustan a los de la validación de ocupación visual, lo cual lo hace un mes con una ocupación idónea para el estudio.

Al contar con 5 semanas las cuales fueron promediadas por los días típicos, ayudó a modelar la variación debido a que el estudio de validación de ocupación visual se realizó en diferentes jornadas: unas en la mañana de 7:00 am a 12:00 pm y otras en la tarde de 2:00 pm a 6:00 pm . Estos horarios no garantizan que los reportes sean del todo precisos debido a múltiples factores que se presentarán detalladamente en el siguiente capítulo.

FECHA	VALIDACIONES	FECHA	VALIDACIONES
1/03/2022	4.915	17/03/2022	4.939
2/03/2022	5.051	18/03/2022	4.842
3/03/2022	4.913	19/03/2022	3.554
4/03/2022	5.100	20/03/2022	1.878
5/03/2022	3.680	21/03/2022	1.729
6/03/2022	1.648	22/03/2022	4.646
7/03/2022	4.929	23/03/2022	4.846
8/03/2022	5.009	24/03/2022	4.774
9/03/2022	4.732	25/03/2022	4.994
10/03/2022	4.767	26/03/2022	3.720
11/03/2022	3.448	27/03/2022	1.601
12/03/2022	2.499	28/03/2022	4.612
13/03/2022	1.751	29/03/2022	4.790
14/03/2022	4.499	30/03/2022	4.533
15/03/2022	4.773	31/03/2022	4.603
16/03/2022	4.868	TOTAL MES	126.643

Tabla 4.12: Validaciones diarias registradas por Metrocali para el mes de marzo 2022

Fuente: Metro Cali (2019)

Luego, se procedió a realizar los promedios de los datos de la validación de ocupación visual y base de datos del mes de marzo para y días típicos y fin de semana (tabla 4.13).

Promedios de ocupación		
Días	Base de Datos	Validación en campo
Martes	4805	5776
Miércoles	4745	6225
Jueves	4771	5912
Sábado	3363	4091
Domingo	1720	1562

Tabla 4.13: Promedio de días típicos de la base de datos marzo 2022 VS validación en campo

Fuente: Metro Cali (2019)

La figura 4.22 presenta de manera gráfica los registros de la validación realizada en campo, para así obtener mejor claridad sobre el comportamiento de la ocupación. Se observa que la ocupación presenta los valores más bajos para los días sábados y domingos (los días atípicos en la frecuencia de ocupación en transporte).

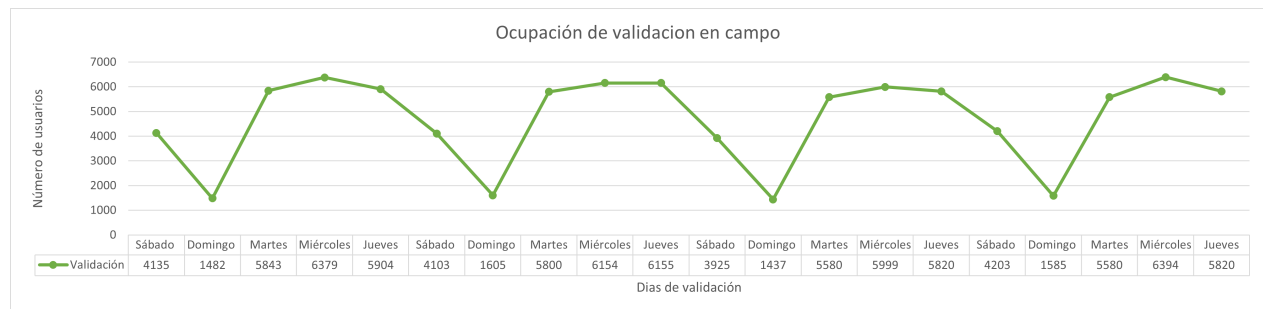


Figura 4.22: Gráfica de validación de la ocupación visual en campo. Tomado de: Elaboración propia

Posteriormente, con esta información, se procedieron a realizar las respectivas gráficas comparativas de los dos tipos de datos para cada día en estudio (ver figura 4.23)

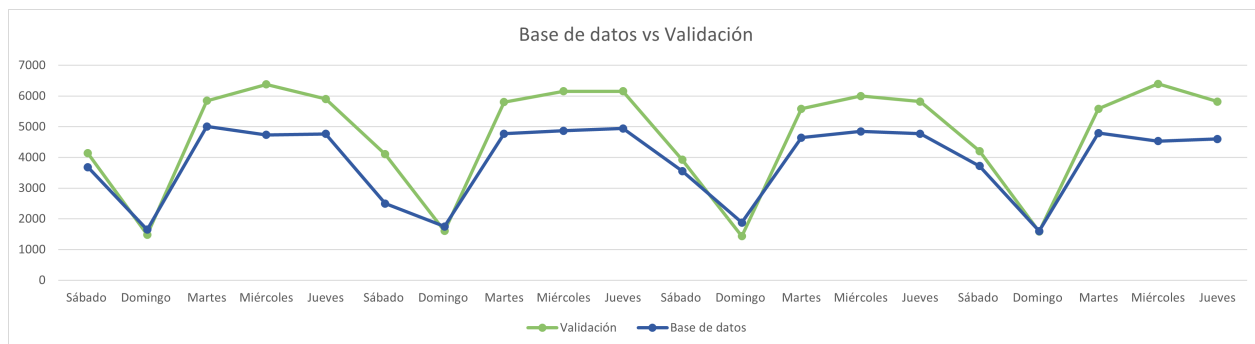


Figura 4.23: Ocupación visual en campo VS base de datos para el mes de marzo 2022.
Fuente: Elaboración propia

Con los promedios de cada día típico para el mes de marzo de la base de datos y la validación en campo se realizó la comparación presentada en la figura 4.24.

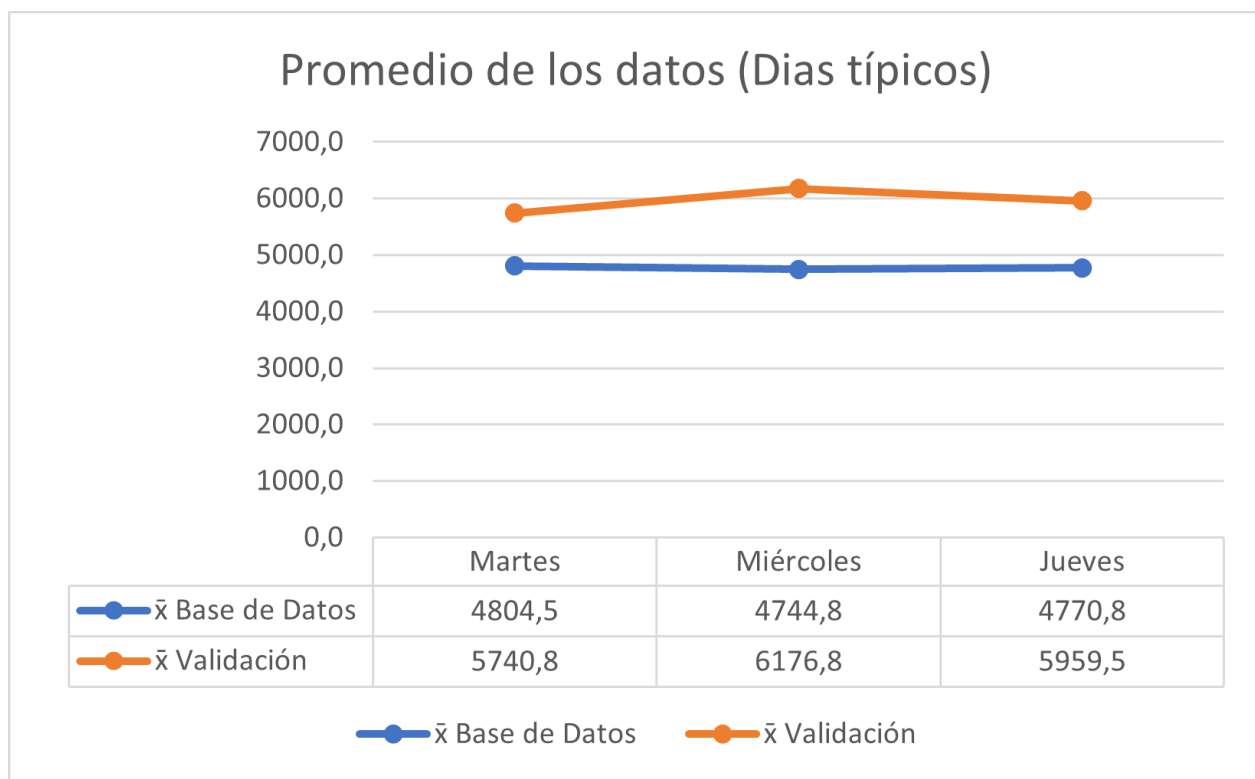


Figura 4.24: Promedio de los días típicos de la base de datos VS validación en campo para el mes de marzo 2022. Fuente: Elaboración propia

En la comparación se puede observar en color naranja que el comportamiento en ocupación según la validación en campo es mayor que el de la base datos (línea color azul). Esta

diferencia puede estar asociada a múltiples factores presentes en el momento de realizar los registros de la validación. Estos registros fueron realizados según la percepción visual de la ocupación de cada bus. Así mismo, se realizó para los fines de semana (figura 4.25) en donde se observa un comportamiento similar al de la gráfica anterior, con excepción del día domingo. En este caso el promedio de la validación de ocupación visual en campo esta por debajo en aproximadamente 220 usuarios.

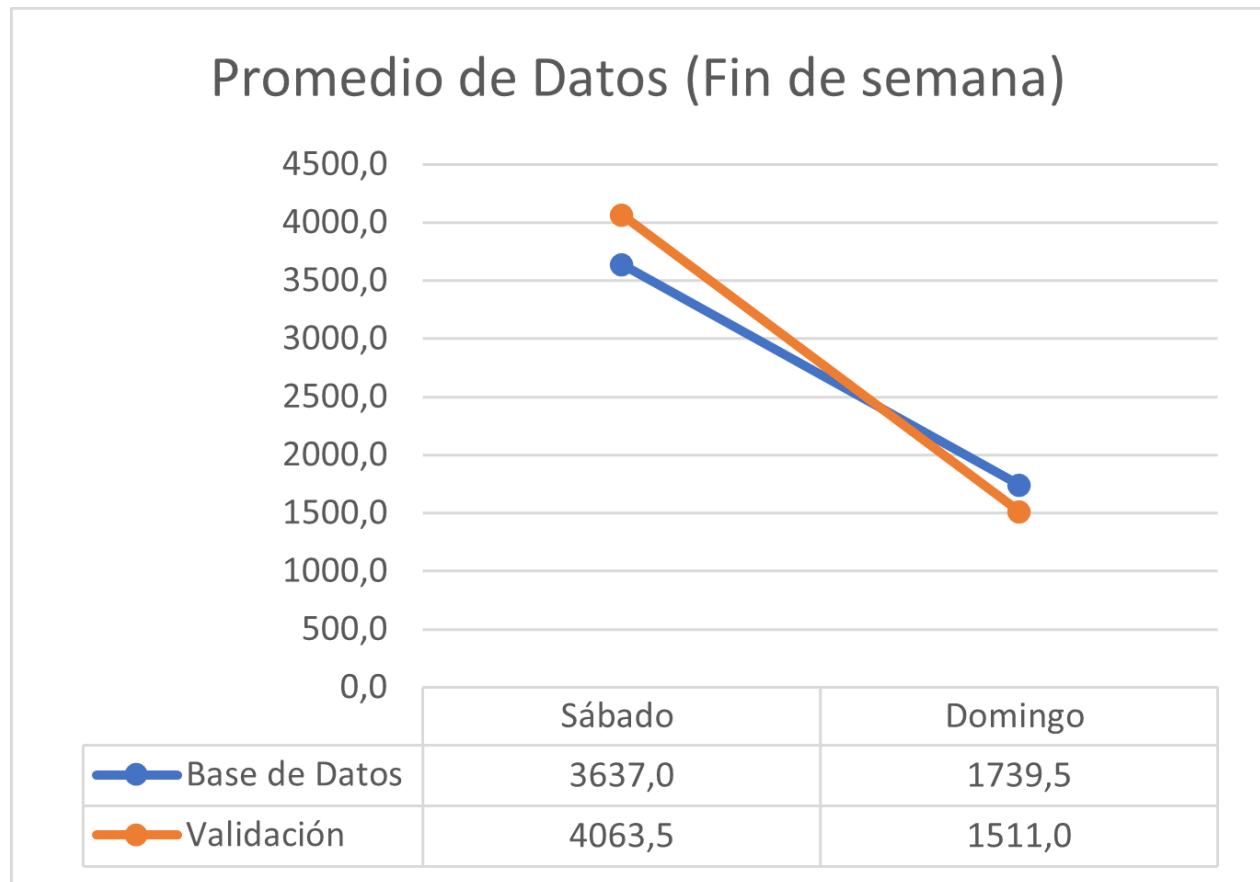


Figura 4.25: Promedio de los fines de semana de la base de datos VS validación en campo.
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se calculó la variación que existe entre los dos tipos de datos y su respectivo porcentaje de acuerdo con las ecuaciones 3.10 y 3.11, dando como resultado una variación de aproximadamente 18% representada en la tabla 4.14. Sin embargo, como se expresó anteriormente, esta variación puede estar asociada a múltiples factores. Se intuye que uno de estos factores está asociado con el número de personas que realizaron la validación en la Terminal (2 personas) para 4 bahías y 15 paradas. Es probable que este hecho explique la variación resultante entre la comparación. Por ejemplo, en momentos de

alto flujo de personas entrando a la Terminal y aún mas en las horas pico (7:00 am a 8:00 am y de 5:30 pm a 7:00 pm) el conteo se dificulta, puesto que esta Terminal es una de las más grandes del oriente de Cali. Otro factor que está implícito en dicha variación, es la problemática de las personas que ingresan a la Terminal por las entradas vehiculares sin pagar sus pasajes. Este número no se contempla en la base de datos del mes de marzo; así que también es un factor por el cual muy seguramente varían los registros.

Dias	x Base de Datos	x Validación	Error relativo	% Error
Martes	4805	5776	0,17	16,81
Miércoles	4745	6225	0,24	23,78
Jueves	4771	5912	0,19	19,31
Sábado	3363	4091	0,18	17,79
Domingo	1720	1562	0,10	10,07
Total Promedio				17,551

Tabla 4.14: Variación entre base de datos y validación de ocupación visual

Es de vital importancia conocer el comportamiento de los pasajeros, pues este es el grueso del número de personas total de la Terminal. Sumado a dicho número de pasajeros se encuentran las personas que trabajan dentro de la Terminal. Esta información también fue suministrada por MetroCali, la cual contiene la cantidad de personal, los horarios o turnos que maneja cada funcionario, así como el personal a cargo del manejo de las taquillas, del área de aseo, seguridad, servicio al cliente y el personal delegado para el almacén (tabla 4.15).

Trabajadores de la Terminal Andrés Sanin	Cantidad	Horario
Personal de taquilla	4	1 tiempo completo 3 turno partido
Personal de operadores de servicios generales	3	Turno completo
Personal de Mantenimiento	2	Turno completo
Personal de Servicio al cliente	2	Turno partido
Personal de Seguridad	2	Turno partido 12 horas
Personal de almacén	4	Turno completo

Tabla 4.15: Personal de trabajo de un mes en la Terminal Andrés Sanin

Fuente: Metro Cali (2019)

Adicionalmente, con los datos de ocupación de validación en campo se elaboró un mapa por medio de la herramienta de distancia inversa ponderada (IDW) para la creación de mapas de densidad de población en el promedio de un día. La figura 4.26 muestra el mapa resultante de densidad de población en la Terminal, donde se pueden apreciar las áreas de mayor concentración de personas en tonos más oscuros y las áreas de menor concentración en tonos más claros. Este mapa es una herramienta útil para comprender la distribución espacial de la ocupación y orientar acciones y decisiones relacionadas con la gestión del riesgo y la seguridad en la Terminal.

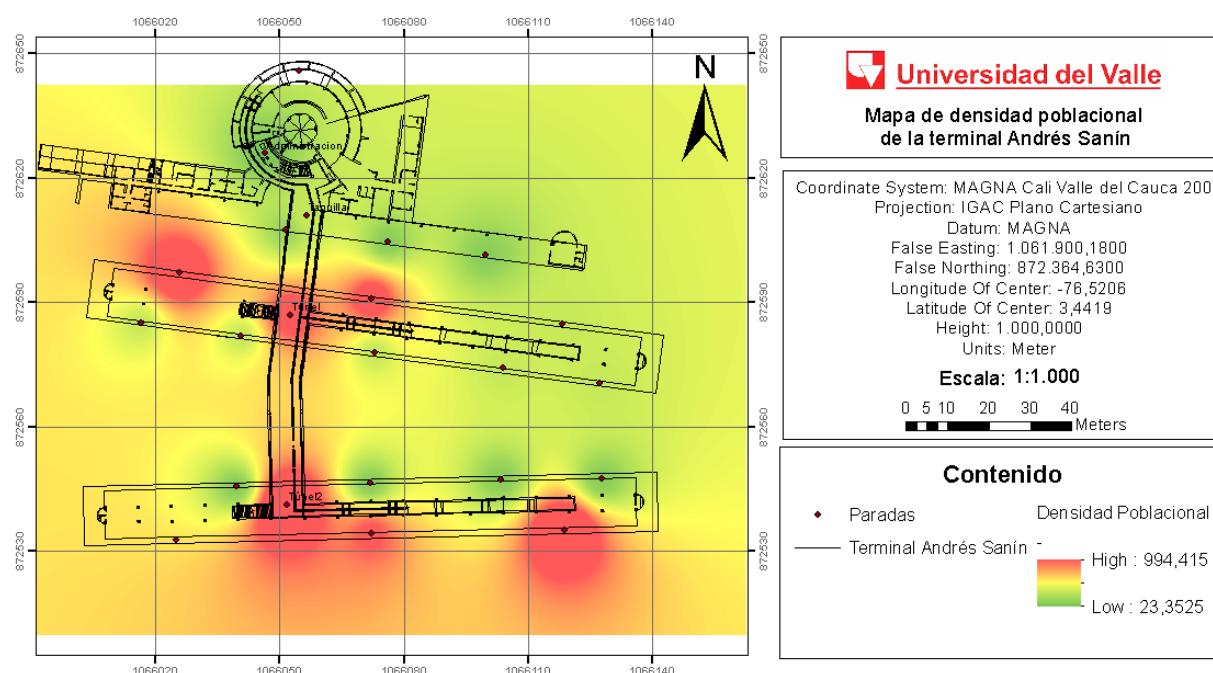


Figura 4.26: Mapa de densidad en la ocupación de la Terminal

Fuente: Elaboración propia

En el mapa mostrado en la figura 4.26, la representación de las 17 personas que trabajan de forma fija en la Terminal se reflejaría como una ocupación mínima en las áreas correspondientes a su ubicación dentro de la Terminal. Dado que el número de personas es relativamente bajo, es probable que su impacto en la densidad de población sea poco significativo y se muestre como una concentración muy baja en el mapa, posiblemente en tonos más claros.

Por otro lado, las aproximadamente 800 personas que esperan los buses tipo articulado con rutas T40 y T47B representarían las áreas de mayor densidad en el mapa. Debido a la

cantidad considerable de personas se esperaría una mayor concentración en las áreas donde se encuentran estas rutas. Estas áreas se mostrarían en tonos más oscuros en el mapa, indicando una alta densidad de población.

Es importante tener en cuenta que la representación exacta de la ocupación y densidad de población en el mapa dependerá de la configuración de los datos utilizados, la escala de representación y los parámetros establecidos en la técnica de IDW.

Ahora bien, con el resultado total de la validación de ocupación visual con sus trabajadores fijos y los registros de la base de datos del mes de marzo, se obtienen los promedios comparativos por mes de la Terminal (tabla 4.16).

Promedio de ocupación por mes (marzo 2022)	
Base de datos	Validación
126.643	147.534

Tabla 4.16: Promedio mensual de ocupación

Nota 1. Resultado de ocupación total entre las validaciones de ocupación visual en campo y la base de datos de Metrocali

Fuente: MetroCali 2022 y datos propios

Dando cumplimiento con los objetivos planteados sobre el comportamiento de la ocupación de la Terminal durante seis meses, se procedió a realizar dicha comparación para conocer la variación que se llevó a cabo anteriormente entre los diferentes registros. Teniendo en cuenta que es un lugar con un flujo considerable de personas, se presenta el número de ocupación discriminado por mes durante los 6 meses (septiembre 2019 - febrero 2020) en la siguiente tabla 4.30.

Terminal	2019					2020		
	Sept	Oct	Nov	Dic	Total 2019	Ene	Feb	Total 2020
A.SANIN	178.989	187.197	180.524	225.726	772.430	169.566	174.253	343.819
Total general	178.988	187.192	180.524	225.726	772.430	169.566	174.253	343.819

Tabla 4.17: Valores de ocupación de la Terminal Andrés Sanín durante los 6 meses (septiembre del 2019 a Febrero 2020)

Fuente: Elaboración propia con datos de Metrocali

Los datos proporcionados corresponden al promedio mensual de personas que ingresaron

a la Terminal durante la época pre-pandemia del 2020, el cual fue de 186.042. Sin embargo, al realizar la validación en campo para comparar con estos registros, se encontró que existe una variación del 26,1 % en la ocupación de la Terminal.

Esta variación en la ocupación puede atribuirse a varios factores, incluyendo los mencionados previamente. Uno de ellos es el impacto de la pandemia del 2020, que ha tenido efectos significativos en la movilidad y en los patrones de viaje de las personas. Además, se ha reportado un cambio en el parque automotor, con un aumento del 26 % en comparación con el mismo período de 2021. Si se contrasta con el año pre-pandemia de 2019, se observa un aumento del 35 % en la cantidad de vehículos nuevos registrados en los primeros seis meses de 2022, siendo el 76 % de ellos motocicletas según datos del RUNT (2022).

Estos cambios en la movilidad y en el parque automotor pueden tener un impacto directo en la ocupación de la Terminal, ya que podrían influir en la demanda de transporte público y en los patrones de uso de la infraestructura. Por lo tanto, es importante tener en cuenta estos factores al analizar la variación en la ocupación de la Terminal y considerar su efecto en los estudios futuros de riesgo ante inundaciones.

Otro de los factores que pueden influir en dicha variación consiste en el cambio de la tasa de desempleo de la ciudad. Aunque la tasa de desempleo en Cali (Área Metropolitana) haya disminuido en 5 puntos en el trimestre mayo - julio de 2022, al ubicarse en 11,9 % frente al mismo trimestre de 2021, es la más alta entre las cinco principales ciudades del país (El Tiempo, 2022).

De acuerdo a un estudio realizado por el Ministerio de las TIC (2021), se destaca que para el año 2020, 4 de cada 10 empresas en Colombia habrían implementado una modalidad de trabajo remoto; en el caso de Cali la implementación fue de 5.421 personas. El documento detalló que durante el 2020 seis de cada 10 empresas estaban en proceso de adopción del teletrabajo, representando 56 % de la muestra y con un aumento de un punto porcentual frente al resultado de 2018 (Ministerio de las TIC, 2021).

Así mismo, en el año 2020 el 25 % de las compañías estaban haciendo pruebas piloto para la implementación del teletrabajo, mientras que en 2018 la cifra era de 22 % y en 2014 esta llegaba al 21 %. Si bien el teletrabajo no era algo nuevo en Colombia (pues se había ido implementando gradualmente en diversas empresas), la llegada del Covid-19 y las

restricciones de movilidad impulsaron esta modalidad logrando que en 2020 209.173 empleados se convirtieran en teletrabajadores, fomentando un incremento de 71 % con respecto a 2018, cuando solo había 122.278. Así lo reveló el quinto estudio de Penetración y Percepción del Teletrabajo presentado este miércoles por el vice ministro de Transformación Digital del Ministerio de las TIC, Iván Durán (Ministerio de las TIC, 2021).

Basado en lo expuesto anteriormente, se confirma que la Terminal maneja un flujo considerable e importante de personas, incluyendo usuarios y trabajadores, los cuales se verían afectados tanto directa como indirectamente por un evento de inundación de una magnitud que ocurre en promedio cada 500 años (conocido como evento Tr 500 años).

Teniendo en cuenta los datos de ocupación promedio diarios obtenidos en la validación en campo y considerando su validez para el estudio (ya que se identificaron factores que generaron diferencias con las bases de datos oficiales de MetroCali), se estima que aproximadamente 156.021 personas al mes se encuentran expuestas dentro de la Terminal frente a este fenómeno. Se destaca que la máxima concentración de personas se encuentra en las bahías de la Terminal.

Es importante tener en cuenta que las inundaciones de este tipo tienen un comportamiento lento. En caso de producirse, es razonable que las personas cuenten con una ruta de evacuación antes de que el nivel de agua alcance su promedio de profundidad, que se estima en 1,9 metros.

Estos hallazgos resaltan la importancia de contar con medidas de prevención, preparación y evacuación adecuadas para garantizar la seguridad y protección de las personas que utilizan la Terminal en caso de una inundación de magnitud Tr 500 años.

4.3 Evaluación de los bienes expuestos

La determinación de los bienes expuestos dentro de la Terminal se realizó con la colaboración de la base de datos que suministró la empresa UTRYT anteriormente mencionada. Estos facilitaron la información necesaria sobre los registros de activos. Las tablas presentadas a continuación, contienen el tipo, el número y el valor de dichos activos que componen los bienes expuestos. Estos se dividen en tres tipos de elementos: eléctricos y electrónicos, seguridad y de oficina. Las tablas que contienen los elementos eléctricos y electrónicos son 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 y 4.24; los elementos de seguridad se encuentran en las tablas 4.25, 4.26 y 4.27; y por último las tablas correspondientes a los

elementos de oficina son 4.28 y 4.29:

■ **Elementos eléctricos y electrónicos**

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
ADAPTADOR ENERGIA POS	Activo	1	1.117,63
BANCO BATERIAS UPS ESTACIONES RYT-0789	Activo	1	24.000.000,00
BANCO BATERIAS UPS ESTACIONES RYT-3690	Activo	1	305.437,00
BARANDA GRANDE ACCESO TORNIQUETES ESTACIONES	Activo	1	450.000,00
BARANDA GRANDE ACCESO TORNIQUETES ESTACIONES	Activo	1	450.000,00
BASES ACRILICAS PARA POS	Activo	1	31.302,00

Tabla 4.18: Elementos eléctricos y electrónicos (parte 1)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
BX V600 2035 BOX-0044 RYT-3288	Activo	1	4.635.000,00
BX V600 2039 RYT-3833 BOX-007	Activo	1	4.635.000,00
BX V600 2133 BOX-096 RYT-5227	Activo	1	4.635.000,00
BX V600 2246 BOX-0011 RYT-3273	Activo	1	4.635.000,00
BX V600 2261 RYT-1051	Activo	1	4.635.000,00

Tabla 4.19: Elementos eléctricos y electrónicos (parte 2)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
CONDENSADORA AIRE ACONDICIONADO 100002108160800141	Activo	1	765.000,00
CONDENSADORA AIRE ACONDICIONADO JAA0WAC9099739000137	Activo	1	765.000,00
CONDENSADORA AIRE ACONDICIONADO RYT-14164	Activo	1	2.142.000,00
CONDENSADORA AIRE ACONDICIONADO RYT-3653	Activo	1	765.000,00
CONTROLADOR FIVO RYT-13614	Activo	1	1.000.000,00
CONTROLADOR FIVO RYT-13619	Activo	1	1.000.000,00

Tabla 4.20: Elementos eléctricos y electrónicos (parte 3)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
LUMINO 480911131 RYT-14105	Activo	14	25.000.000,00
LUMINO 480911155 RYT-14107	Activo	1	25.000.000,00
LUMINO 480911157 RYT-14098 BAGON INTERMEDIO	Activo	1	25.000.000,00

Tabla 4.21: Elementos eléctricos y electrónicos (parte 4)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
LECTORA PORTA SAM ACR-38 38175	Activo	1	495.000,00
LOCKER ESTACIONES RYT-13951	Activo	1	450.000,00
MANEJADORA AIRE ACONDICIONA 12200 101108160800130 RYT-3310 RYT-5070	Activo	1	765.000,00
MAQUINA RECARGA EXPRESS MRE POSPC RYT-10054 MRE-0044	Activo	1	12.500.000,00
MAQUINA RECARGA EXPRESS MRE-0029 POSPC 751 RYT-3700 RYT-6823 VIEJO	Activo	1	12.500.000,00
MOUNTING KIT CONSULTA MK008121301AQ5 MKC-019 RYT-13637	Activo	1	4.200.000,00
MOUSE GENESIS X793885305220	Activo	1	10.000,00
PANEL DISPLAY GERTEC 2090307338 RYT-5992	Activo	1	570.000,00
PANEL DISPLAY GERTEC 2090307355 RYT-5840	Activo	1	570.000,00
PANEL DISPLAY LCD210B B18090016 RYT-4847	Activo	1	135.200,00
PANTALLAS O MONITORES 6CM2100507 RYT-3534	Activo	1	410.000,00
POS MSD-4601 204118 RYT-1253 POS-388	Activo	1	4.350.000,00
POS MSD-4601 204148 RYT-2125	Activo	1	4.350.000,00
PUERTA GLASS WOLPAC DISCAPACITADOS 251650 RYT-4463	Activo	1	5.241.576,00
PUERTA GLASS WOLPAC DISCAPACITADOS RYT-4485	Activo	1	5.241.576,00
RECIBIDOR BILLETES NV10USB PA23 UKS4505815 RYT-6579 RYT-4688	Activo	1	625.001,09
RECIBIDOR BILLETES NV10USB PA23 UKS5052619 - RYT-7350	Activo	2	722.139,60
RECTIFICADOR MONOFASICO PEI 120V 4AMP C4A171061339017P RYT	Activo	1	2.356.200,00
ROUTER ROBUSTEL R2000-4L 01473719120199 RYT-11324	Activo	4	0,01
SWITCH SERVIDORES HP V1910-24G CN08BX22ND RYT-0793	Activo	3	0,01

Tabla 4.22: Elementos eléctricos y electrónicos (parte 5)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
TECLADOS ESTACIONES DE TRABAJO USB XP1758472646 RYT-13639	Activo	1	18.000,00
TELEFONO GRAADSTREAM GXP1610 20EZ1QHH70BC5BC3 RYT-0706	Activo	1	309.400,00
TELEFONO IP GXP1610 20EZ1QHH70BC5BC1 RYT-0712	Activo	1	188.328,21
TELEFONO IP OPEN STAGE 20 SIEMENS 2100000076989384 TIP-0103 RYT-3676	Activo	1	309.400,00
TELEFONO IP OPTI POINT 410 SIEMEN 2845 2100000080292845 TIP-0015 RYT-3304	Activo	1	309.400,00
TORNIQUETE ESTACION WOLPAC 259593 RYT-5384 VIEJO RYT-3289	Activo	6	10.390.638,00
TRANSFORMADOR ARM 7 KVA 80098-5 RYT-3689	Activo	1	1.000,00
TRANSFORMADOR ARM 7 KVA RYT-0826 C/D ALMACEN	Activo	1	0,01
TRANSFORMADOR ARM 7 KVA RYT-5474	Activo	1	0,01
UPS 15 KVA B301B0284A0F RYT-790 C/D ALMACEN	Activo	1	1.839.000,00
UPS APC 550VA 120V 4B1651P36520 RYT-6851	Activo	1	259.680,00
UPS APC 550VA 120V RYT-7378 4B1545P00559 RYT-7378	Activo	1	291.200,00
UPS APC 550VA 120V RYT-7379 - 4B1545P00585 RYT-7379	Activo	1	294.000,00
UPS DELTA 3KVA 220V A1314B02234WH RYT-3684 RYT-4598 VIEJO	Activo	1	1.839.000,00

Tabla 4.23: Elementos eléctricos y electrónicos (parte 6)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
VALIDADOR VISA ESTACIONES TARJETA ELECTRONICA 986861526	Activo	2	10.050.000,00
VALIDADOR VISA WOLPAC ESTACIONES 986861827 RYT-8457	Activo	1	10.050.000,00
VALIDADORES CONSULTA V-3066 70055 VCO-029 RYT-13636	Activo	1	4.200.000,00
VALIDADORES ESTACION V-600 MG 10507 RYT-3271	Activo	5	3.180.000,00
VALIDADORES ESTACION V-600 MG-SC 2017 RYT-4366	Activo	1	3.745.000,00
VALIDADORES ESTACION V-600 MG-SC 2079 RYT-6234 VIEJO RYT-1608	Activo	1	3.745.000,00

Tabla 4.24: Elementos eléctricos y electrónicos (parte 7)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

■ Elementos de seguridad

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
CAJA FUERTE RYT-3309	Activo	4	2.110.500,00

Tabla 4.25: Elementos de seguridad (parte 1)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
CAMARA DE SEGURIDAD BOSCH 044586920321322013 RYT-0207 INTERNO ALMACEN	Activo	1	8.500.000,00
CAMARA DE SEGURIDAD BOSCH FLEXIDOME 044586920321323017 RYT-0206 INTERNA ALMACEN	Activo	1	1.386.375,00
CAMARA DE SEGURIDAD BOSCH PTZ 0842743900000205 PUERTA PRINCIPAL VEHICULAR	Activo	1	8.500.000,00
CAMARA DE SEGURIDAD BOSCH PTZ 084274398400000220 AVDA CIUDAD DE CALI	Activo	1	8.500.000,00
CAMARA DE SEGURIDAD BOSCH PTZ GARITA 084274398400000202 RYT-2371	Activo	1	8.500.000,00
CAMARA DE SEGURIDAD BOSCH PTZ SEPARADOR ZONA VERDE 084274398400000216 RYT-2370	Activo	1	8.500.000,00
CAMARA IP DOMO DS2CD1141I 110749083 RYT-13616	Activo	1	364.430,00
CAMARA IP DOMO HIK VISION D16300770 RYT-12704 PARQUEADERO	Activo	1	670.663,77
CAMARA IP DOMO HIK VISION 110749115 RYT-7191 RYT-13643	Activo	1	364.430,00
CÁMARA IP DOMO HIK VISION 110749124 RYT-4848 RYT-6698 BICIMIO A SANIN	Activo	1	364.430,00
CAMARA IP DOMO HIK VISION C68881802 RYT-11607	Activo	1	448.630,00
CAMARA IP DOMO HIK VISION D16300762 RYT-10057 RYT-13435 BICIMIO A SANIN	Activo	1	499.800,00
CAMARA IP DOMO HIK VISION RYT-13612 BICIMIO	Activo	1	364.430,00
CAMARA SEGURIDAD TAQUILLA DLINK PVSS5EA023130 RYT-13615	Activo	5	216.000,00

Tabla 4.26: Elementos de seguridad (parte 2)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor por unidad
CHAPA SEGURIDAD YALE	Activo	4	200.000,00
CHAPAS SEGURIDAD ABLOY	Activo	5	600.000,00

Tabla 4.27: Elementos de seguridad (parte 3)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

■ Elementos de oficina y de taquillas

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
CALCULADORA	Activo	1	25.122,09
CAMILLA RIGIDA MADERA RYT-1305 RYT-3722	Activo	1	190.000,00
CAMILLA RIGIDA MADERA RYT-3691 RYT-0894 VIEJO	Activo	1	39.800,00
ESTACIONES DE TRABAJO MXM75005HK RYT-3535	Activo	1	1,00
EXTINTORES MULTIPROPOSITO RYT-0908 RAE	Activo	5	38.000,00
FUENTE TARJETA ALIMENTADORA WOLPAC	Activo	2	1.876,86
GABINETE PARA EXTINTOR RYT-3314	Activo	1	75.400,00
GABINETE PARA EXTINTOR RYT-3312 ALMACEN	Activo	5	58.000,00
GABINETES RACK RYT-3685	Activo	1	450.000,00
GRAPADORAS	Activo	3	28.689,00
GRAPADORAS	Activo	3	9.563,00
GRAPADORAS	Activo	6	28.689,00
PAPELERA	Activo	2	4.500,00
PAPELERA	Activo	4	9.000,00

Tabla 4.28: Elementos de oficina y de taquillas (parte 1)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

Descripción del Elemento	Estado	Cantidad	Valor Total
PERFORADORAS	Activo	2	10.600,00
PERFORADORAS	Activo	2	5.300,00
PORTA BILLETES RYT-13617	Activo	2	284.220,00
SILLA TANDEM RYT-3523	Activo	4	380.000,00
SILLA TAQUILLA PLASTICA JET RYT-3306	Activo	1	255.000,00
SILLA TAQUILLA PLASTICA NEGRA RYT-6492 RYT-3707	Activo	1	90.000,00
SILLA TAQUILLA PLASTICA RYT-3680 RYT-2932 VIEJO	Activo	1	255.000,00
SILLA UTRYT OFICINA RYT-2355	Activo	1	255.000,00
VENTILADOR DE MESA 8"26X27X13 VM-0010 RYT-14539	Activo	2	63.665,00

Tabla 4.29: Elementos de oficina y de taquillas (parte 2)

Fuente: Elaboración propia con base en información de MetroCali (2022)

En total la Terminal cuenta con 179 activos. La sumatoria total del valor para cada tipo de elemento es de \$716.353.116, lo cual se puede evidenciar en la siguiente tabla 4.30:

Costo totales de los elementos	Valor Total
Elementos eléctricos y electrónicos	651.600.927,20
Elementos de seguridad	60.285.188,77
Elementos de oficina y Taquilla	4.466.999,95
Total	716.353.116,00

Tabla 4.30: Total del valor activos para cada tipo de elemento de la Terminal

Adicionalmente, se sugiere tener presente el costo de la estructura en caso de que esta se vea afectada por una inundación, por lo tanto se cita el acta estipulada en el contrato de obra de la Terminal Andrés Sanín: “ACTA DE RECIBO FINAL DE OBRA CONTRATO DE OBRA PUBLICA No. MC-OP-O1-10, contratista SAINC INGENIEROS CONSTRUCTORES S.A., cuya obra tuvo inicio el 10 de mayo de 2010 y terminación el 10 de septiembre de 2011, infraestructura que tuvo un valor inicial de VEINTIÚN MIL SEISCIENTOS DOS MILLONES, TRESCIENTOS NOVENTA Y SIETE MIL CIENTO OCHO PESOS MONEDA CORRIENTE COLOMBIANA \$21.602.397.108, pero que por retraso en en cuatro (4) meses suscribieron el Acta No. 1 de Prórroga del plazo y /Aumento del Valor del Contrato No. MC-OP-O1-10 de 2011. Para el día diez (10) de Septiembre de 2011, METRO CALI S.A., el contratista SAINC INGENIEROS CONSTRUCTORES S.A., Y el interventor ESTUDIO TÉCNICOS Y ASESORÍAS E.T.A S.A., suscribieron el acta de finalización de la etapa de construcción de la Terminal de cabecera Puerto Mallarino (Andrés Sanin). Al final la obra se terminó en un valor de VEINTINUEVE MIL QUINIENTOS TREINTA Y TRES MILLONES, OCHOCIENTOS CUARENTA Y UN MIL CIENTO CUARENTA Y TRES PESOS MONEDA CORRIENTE COLOMBIANA \$29.533.841.143” (Metro Cali, 2019).

El último valor mencionado, se asume que corresponde al costo total de toda la obra que cuenta con cuenta con una extensión de 1.700 metros cuadrados para el edificio administrativo, 11.500 metros cuadrados de espacio público y zonas verdes, 560 metros cuadrados del túnel peatonal que comunican las plataformas de abordaje, 10.080 metros cuadrados para vías internas de la estación, 550 metros cuadrados de puente vehicular, 18 rampas de acceso peatonal, 650 metros cuadrados de parqueadero vehicular, 170 metros cuadrados para ciclo parqueadero, 600 metros cuadrados de ciclo ruta, 620 metros cuadrados de puente elevado, 47 postes y 92 lámparas de alumbrado público (Alcaldía de Cali, 2011) para un total de 26.430 metros cuadrados.

Además de los activos expuestos, otro factor determinante que generaría pérdidas, es la cantidad de dinero que pagan los usuarios por su pasaje en un día típico de ocupación en la Terminal. Considerando que el valor del pasaje para el año 2019 y 2020 fue de 2.200 y para el año 2022 fue de 2.400; la tabla 4.31 presenta una estimación del recaudo por concepto de pasajes para el periodo de los 3 tipos de bases de datos que se han ido manejando en el transcurso del proyecto.

Estimación de ingresos a la Terminal			
Meses	Septiembre 2019-Febrero2020	Marzo	Junio (validación)
Usuarios por mes	186.042	126.000	147.534
Aprox Recaudo por pasajeros	446.500.800	302.400.000	342.340.800

Tabla 4.31: Estimación de ingresos en pasajes de la Terminal

Posteriormente, se procedió a determinar a partir del costo de la Terminal por metro cuadrado y aplicando la inflación para cada año (Banco de la República de Colombia, 2023) se encontró el costo actual para la estructura para el 2022. Los resultados se muestran en la tabla 4.32

Periodo	Inflación al consumidor (IPC)	Valor total infraestructura	Valor mś
2010	3,17	\$ 29.533.841.143,00	\$ 1.117.436,29
2011	3,73	\$ 30.470.063.907,23	\$ 1.152.859,02
2012	2,44	\$ 31.606.597.290,97	\$ 1.195.860,66
2013	1,94	\$ 32.377.798.264,87	\$ 1.225.039,66
2014	3,66	\$ 33.005.927.551,21	\$ 1.248.805,43
2015	6,77	\$ 34.213.944.499,59	\$ 1.294.511,71
2016	5,75	\$ 36.530.228.542,21	\$ 1.382.150,15
2017	4,09	\$ 38.630.716.683,38	\$ 1.461.623,79
2018	3,18	\$ 40.210.712.995,73	\$ 1.521.404,20
2019	3,8	\$ 41.489.413.669,00	\$ 1.569.784,85
2020	1,61	\$ 43.066.011.388,42	\$ 1.629.436,68
2021	5,62	\$ 43.759.374.171,77	\$ 1.655.670,61
2022	13,12	\$ 46.218.651.000,23	\$ 1.748.719,30

Tabla 4.32: Costo de la estructura de la Terminal de acuerdo a la inflación

Dicho cálculo realizado por medio de la inflación, es solo una aproximación al costo real, ya que no se están teniendo en cuenta otros factores como la variabilidad en el mercado de cada una de las materias primas utilizadas en la construcción, los cambios legales en gastos prestacionales de la mano de obra, entre otros. Por las razones antes mencionadas, se realizó una comparación con el costo de la nueva Terminal Aguablanca que empezó su obra en el año 2019 con un costo de \$72.000 millones (Alcaldía de Cali, 2022) y una extensión de 55.000 metros cuadrados. Adicionalmente, se le aplicó a este valor la inflación al año 2022 con su respectivo valor por metro cuadrado (ver tabla 4.33).

Periodo	Periodo Inflación al consumidor (IPC)	Valor total infraestructura	Valor m2
2019	3,8	\$ 72.000.000.000,00	\$ 1.309.090,91
2020	1,61	\$ 74.736.000.000,00	\$ 1.358.836,36
2021	5,62	\$ 75.939.249.600,00	\$ 1.380.713,63
2022	13,12	\$ 80.207.035.427,52	\$ 1.458.309,74

Tabla 4.33: Valor de la estructura de la Terminal Aguablanca al 2022

Con base en los valores por metro cuadrado obtenidos para las Terminales Andrés Sanín y Aguablanca, se realizó un promedio de ambas fuentes para tomar éste como el costo aproximado de construcción por metro cuadrado del área en estudio. Se obtuvo un valor de: \$ 1.748.719,32. El costo promedio de construcción de la terminal para el año 2022 sería de aproximadamente \$ 46.201.164.434.

Lo anterior se calculó para el caso de un daño muy severo en la estructura y así obtener un aproximado de las pérdidas. Sin embargo, este tipo de eventos por inundación en la ciudad de Cali se caracterizan por tener un comportamiento lento debido a que la zona es plana y además, como se mencionó con anterioridad, la infraestructura esta altamente expuesta pero su vulnerabilidad es baja, debido a que es una construcción reciente donde los materiales son en mampostería confinada, calificada en el grado de resistencia de muy alta en donde su factor de resistencia es de 0.5. Asimismo, cuenta con una calificación de vida útil de 70 años. Este valor es útil en caso de reconstrucción total por daños severos como podría ocasionarlos un sismo de gran magnitud.

Ahora bien, obtenidos los datos, elementos y valores económicos asociados a la Terminal Andrés Sanín, se procedió a estimar el valor de la exposición frente al fenómeno por

inundación (tabla 4.34).

Promedio de personas que ingresan a la Terminal por mes	Valor de pasaje por persona 2022	Total de valor de pasajes	Total de elementos que componen la Terminal
186.042	\$ 2.400	\$ 446.500.800	\$ 716.353.116,00

Tabla 4.34: Datos y valores asociados a la Terminal en caso de pérdidas

Adicionalmente, se calcularon las pérdidas que se generarían con 1 mes de inactividad de la Terminal (tabla 4.35) y 4,5 meses (tabla 4.36) respectivamente. Este último debido a que la inundación correspondiente a Tr 500 años tendría una duración de ese periodo.

Meses de inactividad de la Terminal	Total del valor de la exposición de la Terminal Andrés Sanín
1	\$ 1.162.853.916

Tabla 4.35: Pérdidas por un mes de inactividad de la Terminal

Meses de inactividad de la Terminal	Total del valor de la exposición de la Terminal Andrés Sanín
4,5	\$5.232.842.622

Tabla 4.36: Pérdidas por 4,5 meses de inactividad de la Terminal

Si consideramos que el presupuesto anual para la ciudad de Cali es de \$4.600.000.000.000 y que el valor total de exposición de la Terminal para una inundación de Tr 500 años es de \$5.232.842.622, las pérdidas equivaldrían al 0.12 % de ese presupuesto. Aunque en cifras, los valores obtenidos son mínimos con respecto al presupuesto de la ciudad, es necesario conocer esta información para su debida gestión. También hay que tener en cuenta que la metodología fue aplicada a una sola infraestructura, pero si se incluyen otras infraestructuras críticas de la zona, tales como el hospital Isaias Duarte Cancino, el hospital Holmes trujillo, la Terminal de Aguablanca, las subestaciones de energía, la PTAP Puerto Mallarino, las instituciones educativas, entre otras, la situación seria mucho más crítica y generaría un gran impacto en el presupuesto del municipio.

4.4 Presentación de la información

En primer lugar, con la información geográfica recolectada se procedió a crear una geodatabase personal, por lo cual se debió crear un archivo .mdb sobre el disco. Se decidió organizar la información mediante esta herramienta debido a que es una manera de almacenamiento físico de la información geográfica y usa, principalmente, un sistema de administración de bases de datos o un sistema de archivos. Este es un proceso directo, el cual fue llevado a cabo en el ArcCatalog mediante herramientas de geo procesamiento (figura 4.27).

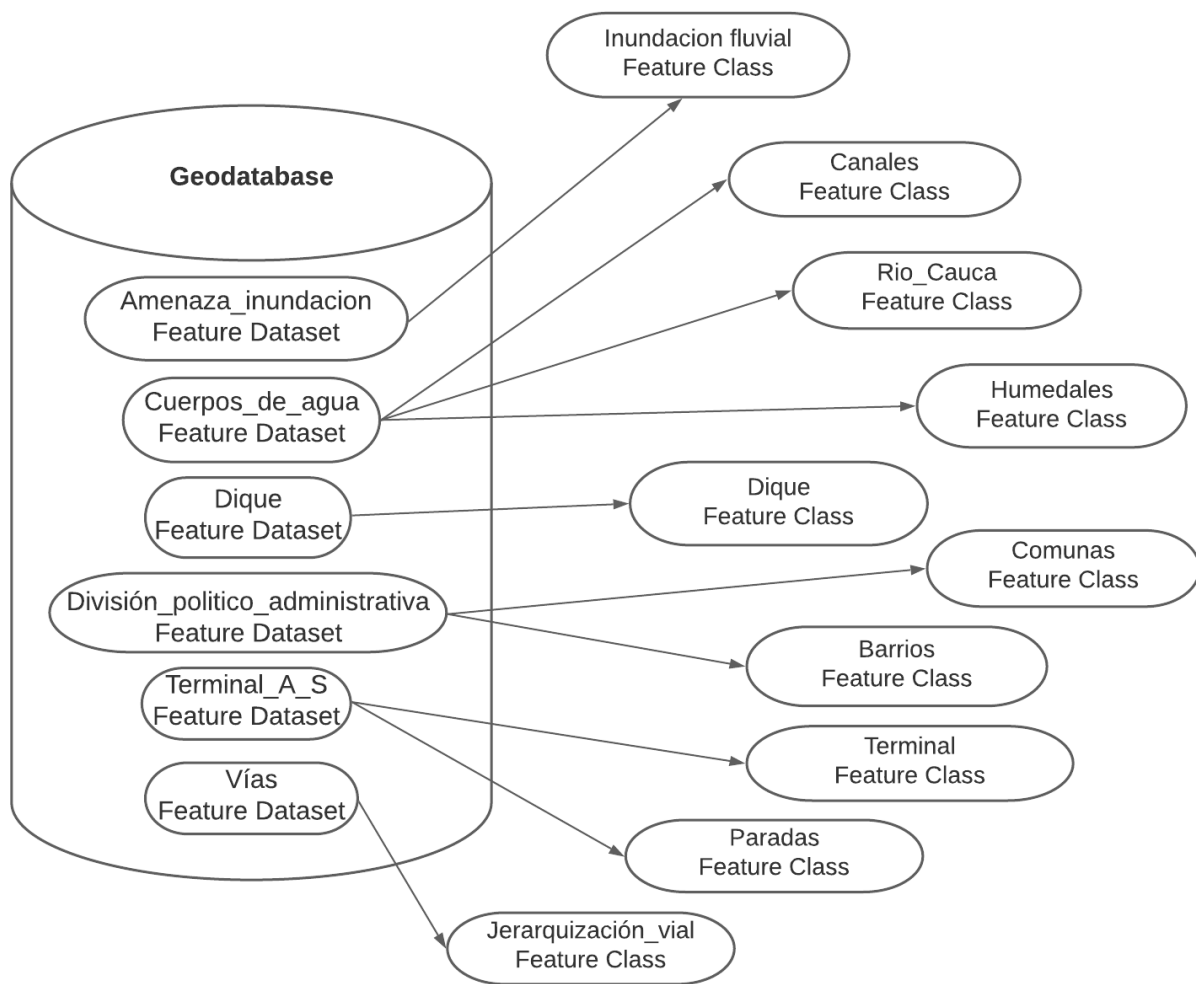


Figura 4.27: Organización de la Geodatabase. Elaboración propia

Una vez creado el .mbd o Geodatabase, se procedió a construir Features Datasets, donde

cada uno contiene uno o varios Feature Class, los cuales incluyen diferentes tipos de colecciones que comparten un sistema de coordenadas en común. El sistema de coordenadas escogido fue el Sistema de Coordenadas Cartesianas Magna Sirgas origen Cali “MAGNA_Cali_Valle_del_Cauca_2009”. Cada Feature Class es una representación espacial específica con un conjunto de atributos almacenados en una tabla de base de datos, entre estos atributos se encuentra el área, el tipo, nombre, id, fuente, entre otros. Adicionalmente, dicha representación espacial le corresponde una entidad vector que representan límites discretos, tales como vías, río, humedales, dique, canales, inundación, comunas, barrios, paradas del MIO y la Terminal (figura 4.28).

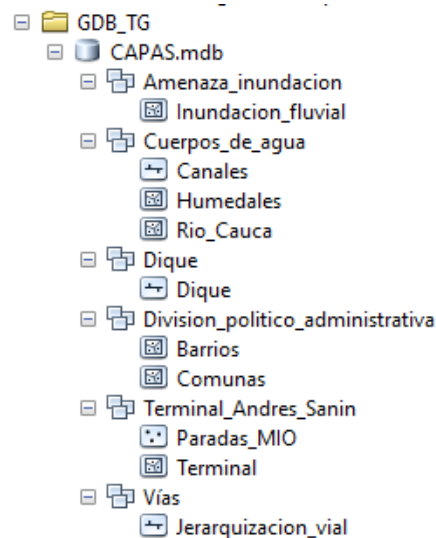


Figura 4.28: Aspecto de la organización dentro de la GDB. Elaboración propia

Por medio de esta organización de la información espacial, se generaron las salidas gráficas de acuerdo con la temática que se requiere representar. Para esto, se emplearon dos softwares especializados en herramientas SIG: ArcGis y QGis; los cuales tienen acceso libre a la GDB generada en donde se visualizan los planos de distribución de las estructuras y zonas con sus respectivos atributos.

Con el fin de complementar el proceso anterior y brindarle un uso beneficioso a la base de datos, se creó un sistema el cual corresponde a una prueba piloto que consiste en un SIG compuesto por 2 módulos: Geoportal y Geovisor.

El geoportal consiste en un portal web que en este caso es utilizado para buscar y acceder a información geográfica de la zona de estudio de esta investigación y servicios

geográficos asociados a través de Internet. Este geoportal complementa el uso eficaz del sistema de información geográfica y representa un elemento clave de una infraestructura de datos espaciales. En este geoportal se diseñaron botones muy simples que permiten una interacción entre el usuario y el sistema, donde por medio de ellos pueden obtener información actualizada sobre los casos de inundación que se han presentado en la ciudad. Adicionalmente, contienen información sobre el contenido y temática del sistema explicando los servicios que se ofrecen.

Inicialmente en el software de código abierto Notepad ++, se editó el cuerpo y cabeza del geoportal, contando con una plantilla inicial descargada de internet, la cual se encuentra estructurada mediante los lenguajes y archivos codificados en HTML y CSS. Ésta fue adecuada al proyecto a representar. Dentro de ella se adicionó el sitio en donde quedaría ubicado el geovisor, el cual contiene información de la base de datos creada previamente. Ésta plantilla cuenta con carpetas adicionales en las cuales se determinaron los estilos, las imágenes a utilizar, los archivos php que se conectan a la base de datos y también algunas librerías. Luego, se determinó el logo y nombre que representaría la página y sistema. El nombre seleccionado es FLOOD CALI.

Posteriormente, se procedió con la creación de la base de datos en postgres, la cual incluye la capa de “paradas” (figura 4.29) mediante la extensión POSTGIS. Una vez hecho esto, se creó un espacio de trabajo en geoserver para ser cargada directamente dicha capa y ser previsualizada con los estilos generados anteriormente en QGis mediante el formato SLD.

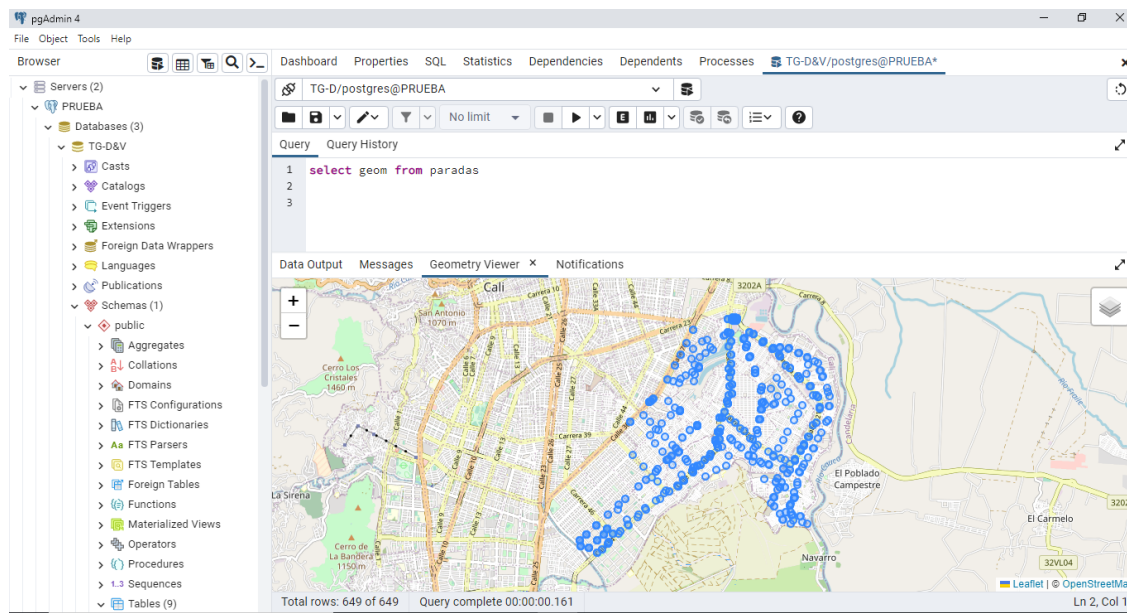


Figura 4.29: Base de Datos en Postgres.
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, para el siguiente módulo se procedió a crear un espacio en HTML para la inclusión del mapa base o geovisor, utilizando la biblioteca Leaflet. Para mayor conveniencia del sistema, se utilizó una imagen de tipo street y se llamó a través de una variable dentro de un script. A continuación, se creó otra variable que ajusta el área de interés del mapa mediante las coordenadas y el nivel de zoom correspondiente.

El cálculo de la información resultante de la consulta realizada por un usuario en la plataforma se llevó a cabo utilizando sentencias SQL con la extensión PostGIS. Estas sentencias incluyeron operaciones geométricas de intersección entre capas, específicamente las paradas de autobús. El objetivo de esto es permitir que el usuario ingresara el punto de inundación y determinara el radio de la zona afectada. A partir de estos datos, el sistema proporciona al usuario el número de paradas que están siendo afectadas y cuál de ellas estaba más cerca de su ubicación. Esto permitió que el usuario tomara una decisión informada sobre cuál parada utilizar para acceder al servicio de autobuses del sistema de transporte MIO.

Finalmente, con la edición de la plantilla se obtuvieron las siguientes interfaces:

- **Interfaz principal del geoportal**



Figura 4.30: Interfaz principal del geoportal.
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.31: Interfaz de botones y funciones principales del geoportal.
Fuente: Elaboración propia

Las figuras 4.30 y 4.31 muestran la estructura de la interfaz principal del geoportal, que sirve como punto de partida para la búsqueda de información en el sistema. En esta interfaz, se pueden observar varios botones que redirigen al usuario a diferentes secciones del geoportal, brindando acceso a funcionalidades específicas.

Estos botones están diseñados estratégicamente para facilitar la navegación y proporcionar una experiencia intuitiva al usuario. Al hacer clic en cada botón, el usuario será dirigido a la sección correspondiente del geoportal, donde podrá explorar y obtener la información deseada.

La disposición y diseño de los botones se ha realizado cuidadosamente para garantizar una fácil identificación y acceso rápido a las distintas funcionalidades del geoportal. Esto permite que los usuarios encuentren rápidamente la información que están buscando y puedan utilizar las herramientas proporcionadas de manera eficiente.

En resumen, los botones presentes en la interfaz principal del geoportal actúan como enlaces directos que guían al usuario a diferentes secciones y funcionalidades del sistema, brindando una manera intuitiva y conveniente de acceder a la información requerida.

■ Bienvenida a los usuarios



Figura 4.32: Interfaz de bienvenida al sistema.

Fuente: Elaboración propia

La interfaz anterior, representada en la figura 4.32 tiene un carácter ilustrativo y está diseñada para dar la bienvenida al usuario al sistema. Su objetivo es brindar una primera impresión agradable y acogedora, invitando al usuario a explorar las funcionalidades y recursos disponibles en el sistema.

■ Introducción y descripción del sistema



Figura 4.33: Interfaz de introducción al sistema.
Fuente: Elaboración propia

En la sección anterior (figura 4.33) se presenta una descripción detallada del sistema, brindando un breve resumen sobre su temática, funcionalidades y algunos de los elementos que lo componen. El objetivo principal es proporcionar al usuario una visión general de lo que puede esperar del sistema y cómo puede beneficiarse de su uso.

■ Servicios que ofrece a los usuarios



Figura 4.34: Interfaz de servicios del sistema.
Fuente: Elaboración propia

En la interfaz anterior (figura 4.34), se destacan los servicios que el sistema proporciona y su potencial para expandirse a una escala más grande, abarcando toda la ciudad de Cali. Estos servicios se enfocan en proporcionar información relevante y acorde a la temática del proyecto.

En el caso de ampliar el proyecto para incluir todas las infraestructuras críticas de la ciudad, se podrían ingresar y catalogar todas estas infraestructuras junto con su respectivo valor. Esto permitiría tener una representación más completa y precisa de cómo un evento que amenace alguna de estas infraestructuras o su funcionalidad podría afectar a la ciudad en su conjunto.

El geoportal, como prueba piloto, sienta las bases para la expansión y desarrollo de un sistema más amplio y robusto que abarque todas las infraestructuras críticas de la ciudad. Esto permitiría contar con una herramienta de gran utilidad para la gestión del riesgo y la toma de decisiones al brindar información detallada sobre la vulnerabilidad y exposición de las infraestructuras críticas ante diversos eventos.

En resumen, la interfaz hace referencia al potencial de expansión del proyecto para incluir todas las infraestructuras críticas de la ciudad de Cali. Esto permitiría obtener una representación más completa y precisa de las afectaciones en caso de eventos adversos, brindando información valiosa para la planificación y la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo.

■ Portafolio de imágenes y noticias

En la figura 4.35, se muestra una interfaz que proporciona información actualizada sobre los eventos de inundación más recientes en la ciudad de Cali. Esta interfaz recopila y presenta noticias y reportes de periódicos y medios oficiales, brindando una visión general de los eventos de inundación ocurridos recientemente.



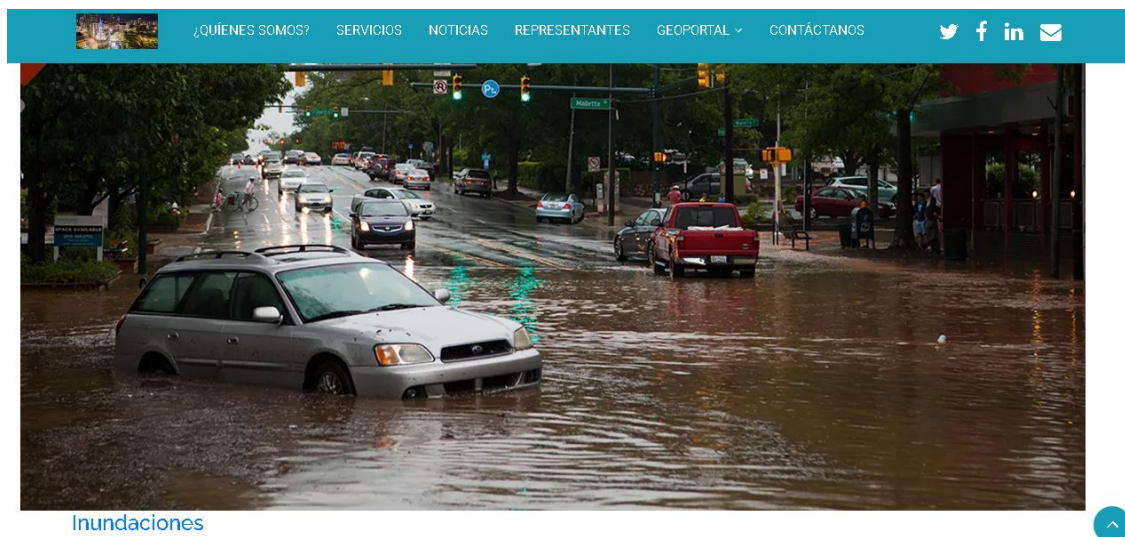


Figura 4.35: Interfaz de noticias actualizadas sobre eventos de inundación en Cali.

Fuente: Elaboración propia

Esta funcionalidad permite a los usuarios estar al tanto de la situación actual en términos de inundaciones en la ciudad de Cali, lo que puede ser útil para tomar decisiones informadas, implementar medidas de precaución o planificar acciones en respuesta a las condiciones climáticas y los riesgos asociados.

- **Información sobre las desarrolladoras del sistema**

En la figura 4.36 presenta a las entidades o personas que participaron en la creación del sistema. Esta sección tiene como objetivo reconocer y destacar la colaboración y el trabajo conjunto de diferentes actores en el desarrollo del sistema.

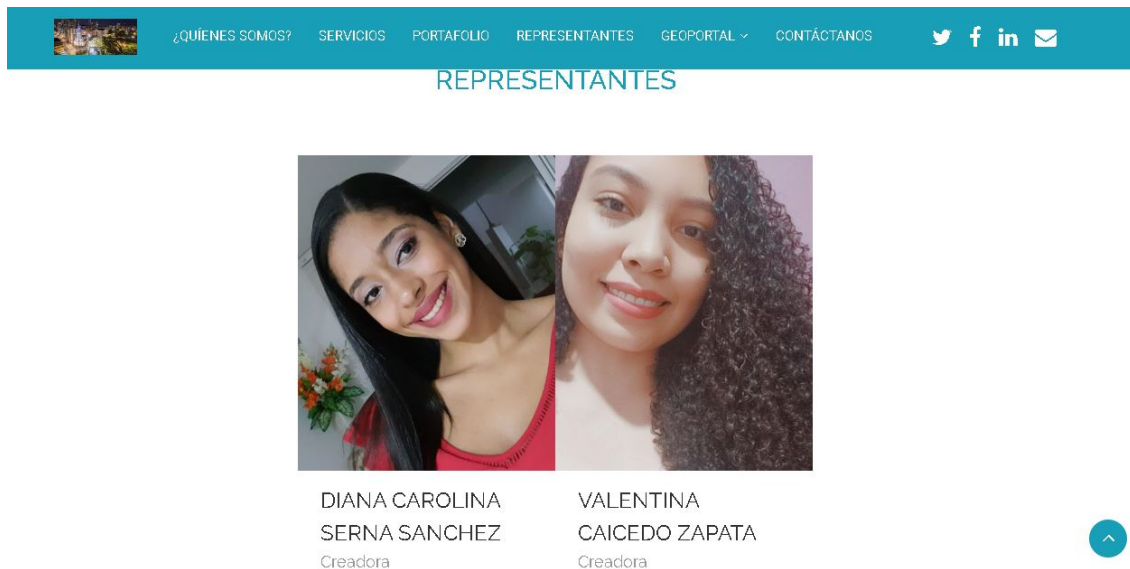


Figura 4.36: Interfaz de representantes del sistema.
Fuente: Elaboración propia

■ Información de contacto

La figura 4.37 presenta la interfaz de un formulario diseñado para que los usuarios puedan presentar quejas, reclamos, preguntas o adquirir información sobre la ubicación del proyecto. Esta sección del sistema está destinada a recopilar retroalimentación y permitir la interacción de los usuarios con el proyecto.

Figura 4.37: Interfaz de información de contacto.
Fuente: Elaboración propia

■ Botón despliegue hacia el geovisor

En la figura 4.38, se presenta la interfaz que despliega el geovisor que es la herramienta principal del sistema. Una vez que se selecciona esta opción, se redirige al usuario a una nueva pestaña (figura 4.39) donde se despliega el esquema principal del geovisor.



Figura 4.38: Botón despliegue hacia el geovisor.
Fuente: Elaboración propia

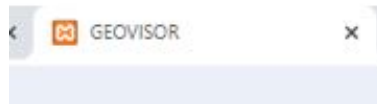


Figura 4.39: Pestaña del geovisor.
Fuente: Elaboración propia

■ Vista general del geovisor

En la figura 4.40, se presenta la capa principal del geovisor que corresponde al contexto geográfico básico. Esta capa está compuesta por un mapa base de tipo “street”, que muestra información geográfica fundamental para el contexto del proyecto.

Figura 4.40: Interfaz del geovisor.
Fuente: Elaboración propia

El mapa base street proporciona detalles sobre los límites políticos, como divisiones administrativas o municipales, como también los límites de la ciudad de Cali. Además, muestra las carreteras y vías principales que atraviesan la zona, lo cual es importante para entender la conectividad y accesibilidad de la región.

Asimismo, el mapa base street muestra los cuerpos de agua: ríos, lagos o embalses, que son relevantes para el estudio de inundaciones y la evaluación de riesgos en la zona. Estos cuerpos de agua pueden ser puntos críticos durante eventos de inundación y deben ser considerados en la planificación y prevención de desastres.

- Herramientas de navegación

En la figura 4.41 se pueden apreciar los botones de zoom in (acercar) y zoom out (alejarse) en el geovisor. Estas herramientas son esenciales para permitir al usuario explorar diferentes áreas geográficas y acercarse a detalles específicos según sea necesario.



Figura 4.41: Herramientas de zoom in y zoom out.
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.42: Herramienta de marcador punto de inundación.
Fuente: Elaboración propia

El botón de zoom in permite al usuario acercarse al mapa, lo que significa que se puede ampliar la visualización para obtener una vista más detallada de una determinada área geográfica. Esto es útil cuando se requiere examinar elementos específicos con mayor precisión, como infraestructuras críticas, vías importantes o zonas de inundación.

Por otro lado, el botón de zoom out permite al usuario alejarse del mapa, lo que implica reducir la escala de visualización. Esto es útil para obtener una visión más general y amplia del área geográfica, permitiendo al usuario tener una mejor comprensión del contexto geográfico en el que se encuentran las diferentes características y elementos representados en el geovisor.

Además de los botones de zoom in y zoom out, la figura 4.42 muestra el marcador utilizado para indicar la ubicación de la inundación en el mapa. Este marcador puede

ser utilizado por el usuario para identificar y marcar visualmente el área afectada por una inundación específica.

■ Herramienta de consulta

En la figura 4.43 se muestra una función del geovisor que permite al usuario ingresar un valor en metros para delimitar el área de la inundación. Después de seleccionar la zona de interés utilizando las herramientas de navegación, el usuario puede utilizar esta función para establecer un radio específico en metros alrededor del punto seleccionado.



Figura 4.43: Herramienta de consulta.

Fuente: Elaboración propia

■ Ejecución del geovisor

Después de que el usuario haya ingresado el valor del radio en metros para delimitar el área de la inundación, el sistema genera automáticamente un buffer alrededor del punto seleccionado. Este buffer representa la zona afectada por el evento de inundación (figura 4.44) (ver enlace de vídeo guía en el capítulo 6).

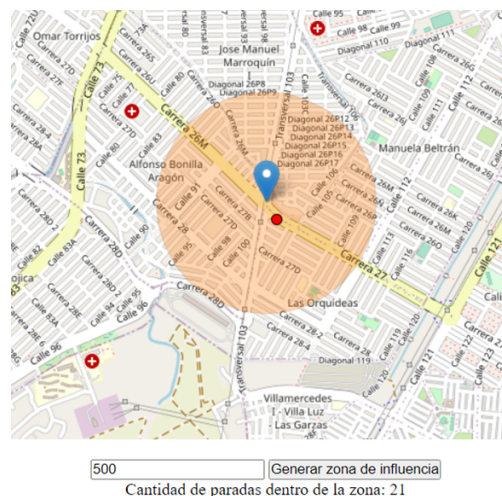


Figura 4.44: Ejecución del geovisor.

Fuente: Elaboración propia

Dentro de esta zona, el sistema identifica las paradas del MIO que se encuentran en el Distrito y que serían afectadas por la inundación. Estas paradas se muestran de manera visual en el mapa lo que permite al usuario tener una representación clara de las paradas afectadas y su ubicación relativa dentro del área de la inundación.

Además, el sistema proporciona información sobre la cantidad de paradas del MIO que se encuentran dentro de la zona afectada. Esto permite al usuario tener una referencia cuantitativa de la cantidad de paradas que se verían impactadas por el evento de inundación.

En resumen, una vez que se ha generado el buffer alrededor del punto seleccionado, el sistema identifica las paradas del MIO dentro del Distrito que se verían afectadas por la inundación. Se muestra la ubicación visual de la parada más próxima al punto de inundación en el mapa y se proporciona información sobre la cantidad total de paradas afectadas. Esto ayuda al usuario a comprender el impacto del evento en la red del MIO y a tomar decisiones informadas en términos de planificación y gestión del transporte público.

El enlace para acceder al geoportal FLOOD CALI, se presenta a continuación url: <http://52.203.34.227/TG-D&V/GEOPORTAL.html>

5. Conclusiones, limitaciones y perspectivas

En este apartado se abordan las conclusiones obtenidas durante el desarrollo del presente estudio. Adicionalmente, se presentan las limitaciones identificadas en proceso. Finalmente y reconociendo que existen diferentes maneras de abordar el problema, se presentan futuras líneas de acción (se hacen sugerencias de trabajos futuros).

5.1 Limitaciones

Dentro del desarrollo de este proyecto se presentaron diversas situaciones a tener en consideración, las cuales algunas de ellas se consideran limitaciones que influyeron en los resultados o en la dirección que se tenía planificada según la ruta de pasos para cumplir con los objetivos planteados, estas limitaciones se presentan a continuación:

Durante la validación de ocupación visual en la Terminal, se enfrentaron ciertos desafíos debido a la magnitud de flujo de personas y la cantidad de buses presentes. Aunque se implementaron protocolos para asegurar la precisión en el conteo de buses, en las horas pico resultó difícil manejar la gran afluencia de buses y pasajeros, lo que generó posibles errores humanos en la toma de datos.

Es importante destacar que existen factores externos que afectan la exactitud de la validación visual en comparación con los registros de las bases de datos. Uno de estos factores es la presencia de personas que ingresan a la Terminal sin pagar sus pasajes, conocidos como “colados”. Durante la validación en la Terminal, se pudo observar que este comportamiento es significativo debido a la falta de control en esta situación. Se estima que entre el 5 % y el 30 % de las personas que ocupan la Terminal podrían ser colados ya que existen puertas vehiculares sin supervisión y una puerta peatonal que puede ser fácilmente evadida o violentada para acceder al lugar.

Estos factores adicionales debieron tenerse en cuenta al analizar los datos de ocupación visual y considerar su posible impacto en los resultados obtenidos.

Una limitación adicional que se debe tener en cuenta en este tipo de investigaciones, es la demora en la obtención de información por parte de instituciones o entidades relevantes.

Estas instituciones podrían tener datos valiosos para llevar a cabo estudios de este tipo, especialmente cuando se trata de infraestructuras críticas o vitales para la comunidad. La falta de respuesta o la tardanza en proporcionar la información solicitada impacta en la temporalidad de los datos consultados, lo que obliga a trabajar con la información disponible en ese momento.

Esta limitación puede afectar la precisión y actualidad de los datos utilizados en el estudio, ya que no se cuenta con la información más actualizada o completa. A pesar de este desafío, se hizo el mejor uso de los datos disponibles para llevar a cabo el análisis y obtener resultados relevantes para la investigación. Es importante tener en cuenta estas limitaciones al interpretar los hallazgos y considerar posibles actualizaciones o incorporación de datos más recientes en estudios futuros.

5.2 Conclusiones

La Terminal Andrés Sanín se encuentra en una zona de amenaza alta por inundación y está altamente expuesta ante el fenómeno. Sin embargo, la calidad de sus materiales la hacen resistente ante este tipo de fenómenos. Esto no garantiza que los elementos que contiene y su funcionalidad en el sistema de transporte de la Terminal, sin excluir la población, (trabajadores y usuarios) se vean afectados si se llegase a presentar el fenómeno.

Adicionalmente, se deben implementar medidas de prevención y protección como el monitoreo constante de las condiciones climáticas, el mantenimiento regular de las instalaciones y la actualización de los sistemas de seguridad. Estas acciones contribuirán a salvaguardar la integridad de la estación y garantizar la seguridad de quienes la utilizan. En resumen, aunque la Terminal demuestra resistencia frente a este fenómeno natural, es esencial tomar medidas preventivas, educativas y de seguridad para minimizar cualquier impacto negativo potencial y asegurar un entorno seguro para todos los usuarios.

Frente al análisis de la ocupación, se destaca el alto número de personas presentes diariamente con una ocupación mensual estimada en 186.042 individuos. Lo anterior como consecuencia de su ubicación estratégica y su capacidad eficiente para transportar y manejar el servicio de transporte. Sin embargo, se encontró una variación del 26,1 % al comparar estos registros con la validación en campo realizada durante los días típicos. Esta diferencia puede estar asociada con el aumento del 26 % en el parque automotor y del 35 % en la cantidad de vehículos nuevos registrados en los primeros seis meses de 2022 en

comparación con 2019 en la ciudad de Cali.

La gran cantidad de personas expuestas en la Terminal subraya la importancia de contar con medidas de seguridad adecuadas y planes de contingencia sólidos para hacer frente a eventos adversos, como inundaciones. Es fundamental proteger la seguridad y el bienestar de todas las personas que utilizan la Terminal mediante una gestión de riesgos eficiente.

En cuanto al valor de la exposición de la Terminal, se estima que el costo de construcción por metro cuadrado para el año 2022 sería de aproximadamente \$1.748.719,32, con un costo total de alrededor de \$46.201.164.434. Además, se identificó que la exposición de la Terminal frente a una inundación de magnitud Tr 500 años alcanza los \$5.232.842.622. Las pérdidas por un mes de inactividad representarían el 0.12 % del presupuesto anual de la ciudad de Cali para el 2022. Es fundamental tener en cuenta esta información para una gestión adecuada y de esta manera tomar decisiones informadas y garantizar una gestión efectiva de los recursos municipales para proteger a la comunidad en su totalidad.

El municipio necesita herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para poder obtener información sobre las inundaciones de manera más precisa. Actualmente, no cuentan con un sistema integrado que les permita conocer estas situaciones, aparte de las noticias que brindan los medios de comunicación y los registros que realizan las autoridades. Sin embargo, no existe un sistema que permita a los afectados reportar directamente las inundaciones que experimentan en el distrito. Es por ello que se crea FLOOD Cali como un plan piloto de geoportal que permite determinar la ubicación exacta de la parada de transporte público más cercana a una persona afectada por un evento de inundación.

En conclusión, la exposición a inundaciones representa un desafío significativo para la resiliencia urbana, pero a través de la implementación de medidas de mitigación y adaptación las comunidades pueden reducir su vulnerabilidad y aumentar su capacidad de respuesta frente a este fenómeno. Es esencial promover una planificación urbana sostenible, involucrar a los ciudadanos en la toma de decisiones y fomentar la cooperación entre los diferentes actores involucrados. Solo a través de un enfoque integral y colaborativo se podría construir ciudades más seguras y preparadas para hacer frente a las inundaciones en el futuro.

5.3 Perspectivas

Realizar estudios detallados y actualizados sobre la exposición de las infraestructuras municipales sería muy beneficioso. Esto proporcionaría un conocimiento preciso de cada infraestructura, permitiendo desarrollar estrategias de gestión del riesgo más efectivas. El objetivo sería identificar áreas de alto riesgo y establecer medidas específicas de mitigación y prevención para cada infraestructura, incluyendo mejoras, sistemas de alerta temprana y fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante emergencias. Mantener este conocimiento actualizado permitiría adaptar los planes de desarrollo y decisiones municipales según los nuevos riesgos y condiciones, asegurando una gestión continua y efectiva del riesgo. Realizar estudios detallados y análisis rigurosos es esencial para tomar decisiones informadas, implementar medidas preventivas adecuadas y proteger los activos y la seguridad de la comunidad.

Otra de las perspectivas frente a este tipo de estudios es fomentar la educación y concienciación sobre los procedimientos de emergencia, de modo que los usuarios estén preparados y sepan cómo actuar de manera segura ante un evento de tipo inundación.

Adicionalmente, en este estudio se realizó una pequeña encuesta virtual, mediante la herramienta Google Formulario, a las personas que utilizan el sistema (ver capítulo 6). Aunque no se pudo contar con una cantidad de encuestas considerable para incluirlas en los resultados de la metodología ya que el tamaño de la muestra fue de 118 personas, es importante destacar los resultados obtenidos, especialmente en relación a la pregunta 5: “En caso de que la Terminal Andrés Sanín se inundara y quedara sin servicio, ¿qué medio de transporte utilizaría?”, la mayoría de las respuestas indicaron que utilizarían el transporte ilegal conocido como “piratas”. Sin embargo, también se registraron otras respuestas que reflejan la preocupación de los encuestados. Por otra parte, algunas personas manifestaron que no sabrían qué hacer en esa situación porque consideran que el uso de un taxi es muy costoso. Otros mencionaron que tomarían un autobús urbano, aunque implicaría pagar doble pasaje. También hubo respuestas que indicaban que optarían por caminar, ya que no hay más opciones disponibles.

Es importante tener en cuenta que en la zona de estudio los estratos 1 y 2 son los predominantes. A esto se le suma la dificultad que implica para las personas con movilidad reducida desplazarse, ya que el sistema de transporte público de la ciudad es el único que cuenta con accesibilidad para personas en silla de ruedas.

Finalmente, algunos encuestados mencionaron que en los barrios más alejados solo funciona el transporte público oficial y si no se cuenta con este servicio en algunos barrios las personas no pueden desplazarse a sus lugares de trabajo. Además, se observó una respuesta recurrente que indica que algunas personas hacen transbordo con un solo pasaje, lo cual no ocurre con otros tipos de transporte, donde deben pagar múltiples pasajes para llegar a su destino.

Estos hallazgos revelan importantes aspectos a considerar en relación a la movilidad y el acceso a transporte público seguro y asequible en la ciudad, especialmente para las personas con discapacidad y aquellos que residen en áreas periféricas. Es fundamental tener en cuenta estas perspectivas al momento de diseñar políticas y estrategias de transporte que aborden las necesidades de la comunidad en su conjunto.

6. Anexos

6.1 Formato llevado a campo en la recolección de datos de la ocupación en la Terminal

Buses	Lleno	Medio lleno	Medio	Medio vacío	ZLO	Día hora
Articulado						Diciembre 5:00 pm
Patron						Diciembre 5:00 pm
Alimentador verde						Diciembre 5:00 pm

Figura 6.1: Formato llevado a la validación en campo ejemplo de un día

6.2 Vídeo guía del funcionamiento del Geoportal y Geovisor

url:https://drive.google.com/file/d/1X4kAQ-W00U2KEPlQdAgtw08z4tTEv07k/view?usp=drive_link

6.3 Encuesta realizada a usuarios de la Terminal

En este apartado se presentan los resultados de la encuesta realizada a los residentes del distrito de Aguablanca que utilizan la terminal del Mio Andrés Sanín. Se obtuvieron 118 respuestas. Esta encuesta tiene como objetivo recopilar información valiosa en 5 preguntas: ¿Utilizas la Terminal del MIO Andrés Sanín? ¿Con que frecuencia? En que Barrio Vives? ¿La mayoría de veces que utiliza el MIO hacia donde se dirige? Si se inundara la Terminal Andrés Sanín, y se quede sin servicio ¿Qué transporte usaría?. Las respuestas son presentadas en los gráficos a continuación 6.2, 6.4, 6.3, 6.5, 6.7 y 6.8.

¿Utilizas la Terminal del MIO Andrés Sanín?

118 respuestas

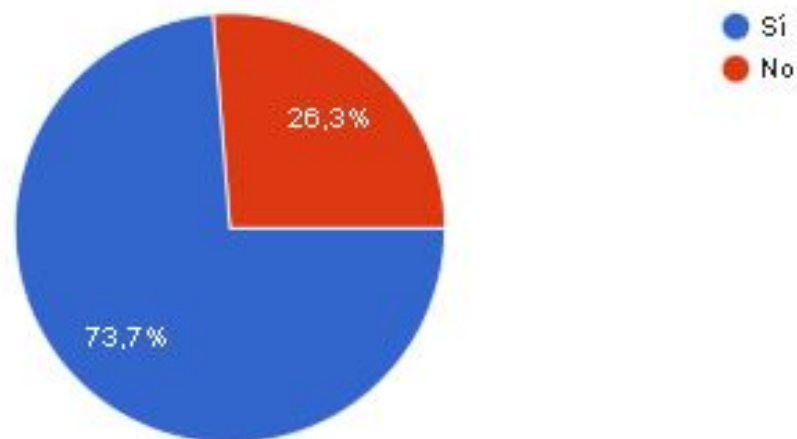


Figura 6.2: Resultados de respuesta 1: ¿Utilizas la Terminal del MIO Andrés Sanín?

¿Con que frecuencia?

118 respuestas

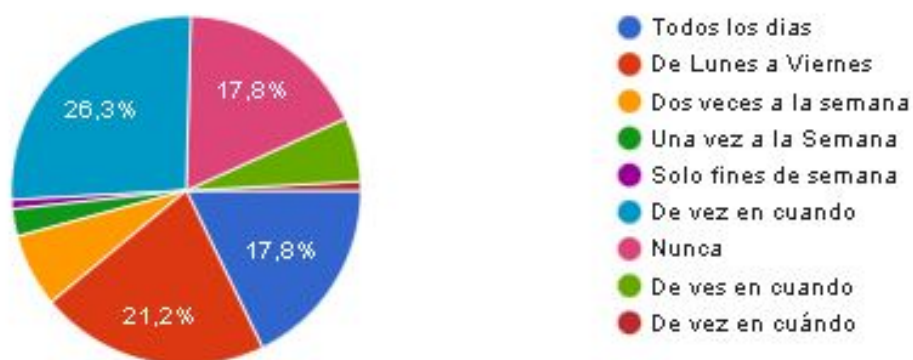


Figura 6.3: Resultados de respuesta 3 ¿Con que frecuencia?

En que Barrio Vives ?

118 respuestas

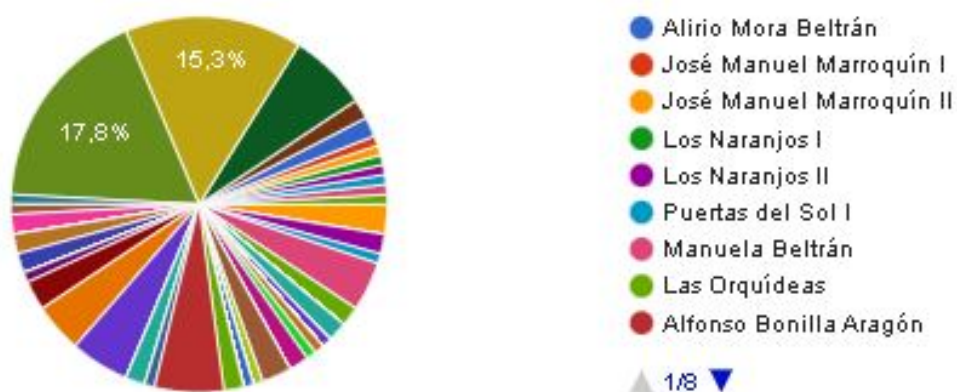


Figura 6.4: Resultados de respuesta 2 ¿En que Barrio Vives ?

¿La mayoría de veces que utiliza el MIO hacia donde se dirige?

118 respuestas

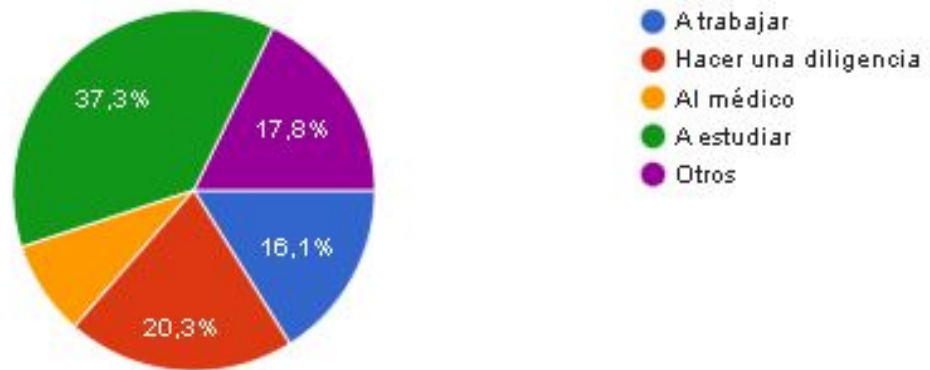


Figura 6.5: Resultados de respuesta 4: La mayoría de veces que utiliza el MIO ¿hacia donde se dirige?

Si se inundara la Terminal Andrés Sanín , y se quede sin servicio ¿Qué transporte usaría ?

Pirata

13 respuestas

Moto

10 respuestas

Taxi

6 respuestas

Figura 6.6: Resultados de respuesta 5: Si se inundara la Terminal Andrés Sanín y se quede sin servicio ¿Qué transporte usaría?

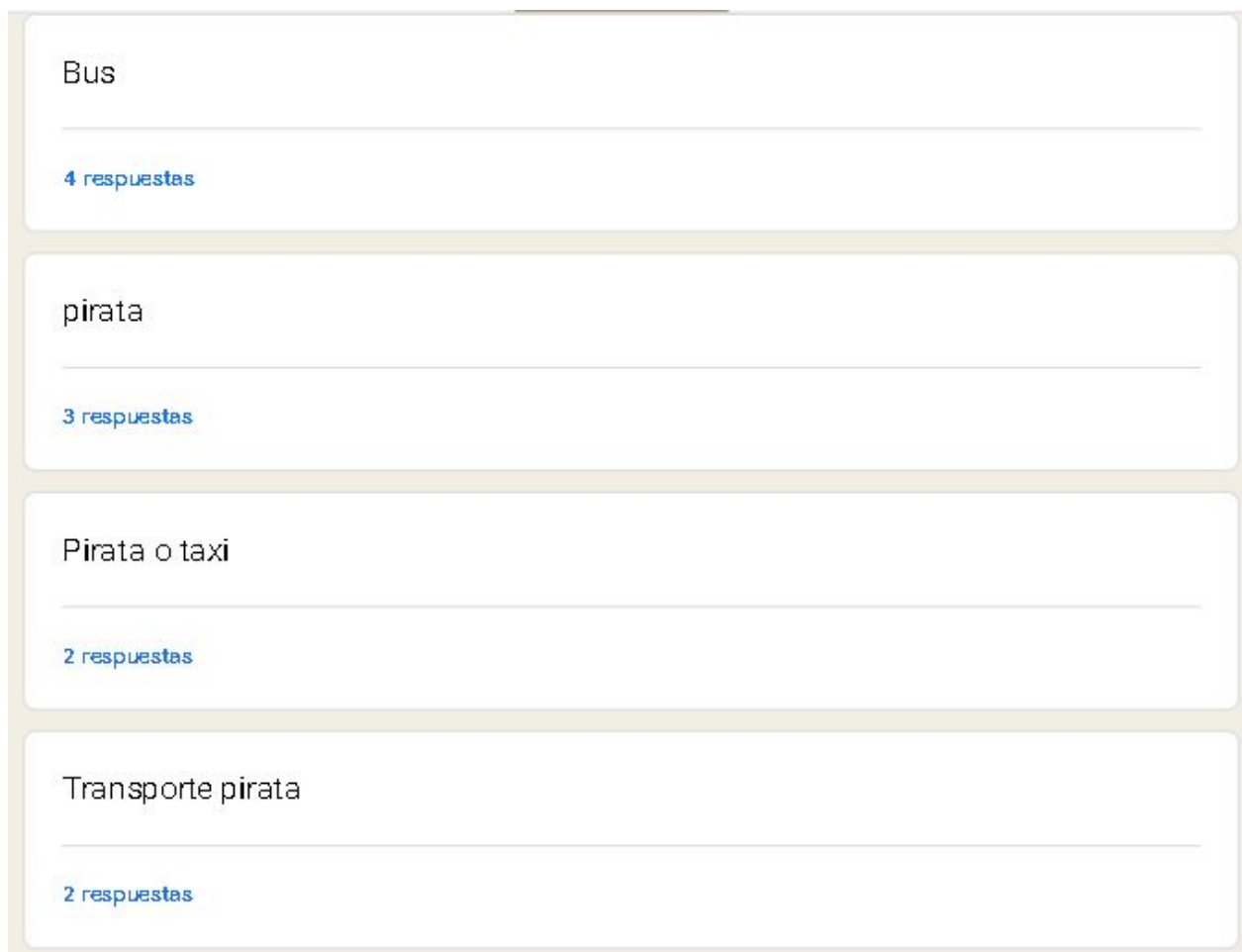


Figura 6.7: Resultados de respuesta 5: Si se inundara la Terminal Andrés Sanín, y se quede sin servicio ¿Qué transporte usaría?

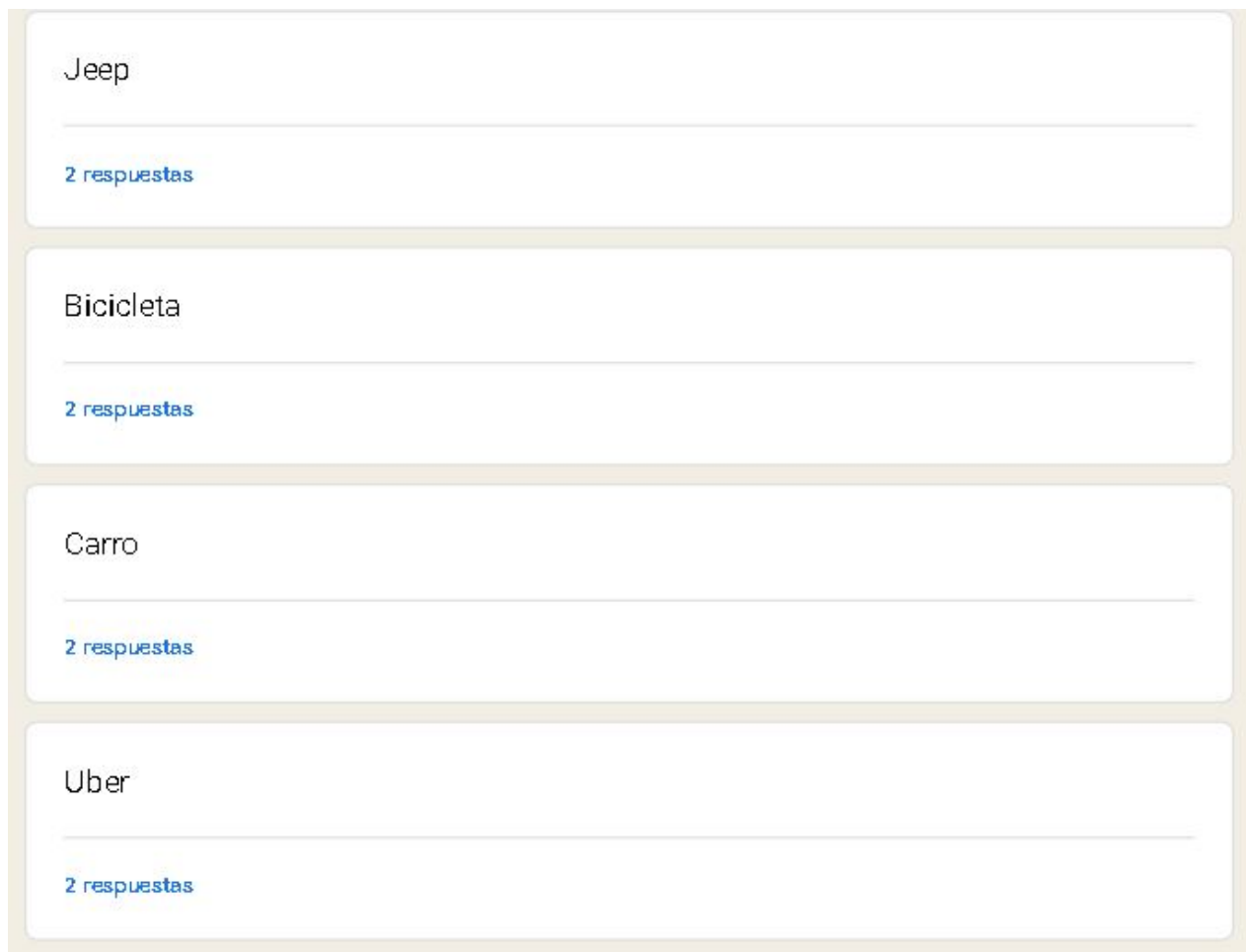


Figura 6.8: Resultados de respuesta 5: Si se inundara la Terminal Andrés Sanín, y se quede sin servicio ¿Qué transporte usaría?

Referencias

- AIS (2010). Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Alcaldía de Cali (2011). La Terminal de cabecera Andrés Sanín, una obra completa . *Recuperado de <https://cutt.ly/PwipnqxN>*.
- Alcaldía de Cali (2022). Terminal Aguablanca del MÍO, centro de conexión del oriente, avanza en un 92 %. . *Recuperado de <https://cutt.ly/QwipmYHa>*.
- Alcaldía de Cali - DAGMA (2010). Balance hídrico de las aguas subterráneas: Municipio de Santiago de Cali. Santiago de Cali, DAGMA.
- Alcaldía de Santiago de Cali (2017). Inundación río Cauca Puerto Nuevo. *Recuperado de <https://www.cali.gov.co/galeria/3948/inundacion-rio-cauca-puerto-nuevo/>*.
- Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett-Ortiz, V. J., Llaguno-Guilberto, O. J., and Albornoz-Góngora, P. M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5):33–55.
- Banco de la República de Colombia (2023). Boletín de indicadores económicos.
- Bernal, A. I. C., Suárez, J. E. B., and Delgado, C. D. (2016). Estimate of direct economic losses caused by floods. application of flood-damage curves in developing countries. *Investigaciones Geograficas*, 1(65):169.
- Bitrán, D. (1996). Impacto económico de los desastres naturales en la infraestructura de salud.
- BLU Radio (2017). Habitantes de puerto nuevo en cali, en alerta por altos niveles del río cauca.
- Burbano, W., Jiménez, N., and Velásquez, A. (2016). Estrategias de mitigación del riesgo ante los impactos de las inundaciones de 2010 2012 en la ciudad de Cali. *Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action*.

- Bustos López, J. F. (2020). Choques de realidad: la producción social de territorio en el distrito de aguablanca cali.
- Canon, C. (2022). *The hidden risk of conventional floodplain mapping: Diagnosis in Cali, Colombia*. PhD thesis, Dissertation, Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, 2022.
- CCPEMS (2020). ¿De que hablamos cuando nos referimos a desastre? *Recuperado de <https://cutt.ly/fF53Rze>*.
- CEPAL (1991). Manual para la estimación de los efectos socioeconómicos de los desastres naturales.
- CNPC & CENAPRED (2021). Inundaciones. *Recuperado de <https://cutt.ly/tF5J1uB>*.
- Congreso de la República de Colombia (2012). Ley 1523 de 2012.
- Coninx, Ingrid y Bachus, K. (2007). Integrating social vulnerability to floods in a climate change context. *Retrieved April*, 10:1–26.
- Consejo de Europa (2008). Estrategias de mitigación del riesgo ante los impactos de las inundaciones de 2010 2012 en la ciudad de Cali. *Diario Oficial de la Unión Europea*.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Universidad del Valle (2014). Geomorfología y morfo dinámica del río Cauca en su valle alto. Santiago de Cali.
- Corporación OSSO (2013). Patrones en la configuración de riesgos y condiciones de vulnerabilidad asociados con la ruptura de diques en Colombia.
- CVC (2004). De la cuenca del Tennessee a la cuenca del Alto Cauca. *Recuperado de <https://cutt.ly/lwhKLvnw>*.
- CVC y Univalle (2018). Convenio interadministrativo n° 070 de 2018 cvc-univalle municipio de zarzal.
- DANE (2018). Resultados censo nacional de población y vivienda 2018.
- de Pinto, G. I. G. (2012). El cambio de paradigma: de la atención de desastres a la gestión del riesgo. *Boletín Científico Sapiens Research*, 2(1):13–17.
- DesInventar (2012). Inventario historico de efectos de desastres del municipio de Cali en DesInventar. *Recuperado de <https://db.desinventar.org/DesInventar/profiletab.jsp>*.

- Du, J., Yin, K., Lacasse, S., and Nadim, F. (2014). Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: application to the metropolitan area of san salvador, el salvador. *Electron J Geotech Eng*, 19:1251–1264.
- Du, J., Yin, K., Nadim, F., and Lacasse, S. (2013). Quantitative vulnerability estimation for individual landslides. In *Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris*, pages 2181–2184.
- Echemendía Tocabens, B. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Revista cubana de higiene y epidemiología*, 49(3):470–481.
- El País (2016). Jarillon Amenaza silenciosa de Cali.
- El País (2010). El Cauca pasa factura. *Recuperado de <https://www.elpais.com.co/valle/el-cauca-pasa-la-factura.html>*.
- El País (2017). Más de 20 barrios de Cali afectados por las fuertes lluvias de este domingo. *Recuperado de <https://cutt.ly/EwipQWcj>*.
- El País (2019). Jarillón la amenaza silenciosa de Cali. *Recuperado de <https://www.elpais.com.co/especiales/jarillon-la-amenaza-silenciosa-de-cali/>*.
- El Tiempo (2022). Desdempleo en Cali, el más alto de las 5 principales ciudades del país.
- Elsheikh, R. F. A., Ouerghi, S., Elhag, A. R., et al. (2015). Flood risk map based on gis, and multi criteria techniques (case study terengganu malaysia). *Journal of Geographic Information System*, 7(04):348.
- Esri (2018). Cómo funciona Zona de influencia (cobertura). *Recuperado de <https://cutt.ly/JZqzZFR>*.
- Esri (2020). Comparar métodos de interpolación . *Recuperado de <https://cutt.ly/Lwd4SMW3>*.
- Esri (2021). Introducción a las herramientas SIG más habituales. *Recuperado de <https://cutt.ly/IL7ZKOr>*.
- Esri (2022). ¿Que son los SIG? *Recuperado de <https://cutt.ly/nF5CqFk>*.
- Estrella Villarreal, C. (2020). Caracterización de la exposición a la amenaza sísmica del área de urgencias de un hospital nivel 3 en la ciudad de Cali.
- Henao Martínez, L. M. (2011). *Aproximación a un escenario de riesgo frente al rompimiento del jarillón del Río Cauca en la ciudad de Cali [recurso electrónico]*. PhD thesis.

- Henao Martínez, L. M. (2016). Modelación de inundaciones por rotura de diques marginales en los ríos de planicie: caso de estudio: Río cauca al paso por la ciudad de cali.
- IDEAM (2022). Conceptos básicos del cambio climático. *Recuperado de* <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>.
- IDESC (2014). Infraestructura de datos espaciales. *Recuperado de* <https://idesc.cali.gov.co/geovisor.php>.
- IGN (2015). Instituto Geográfico Nacional. Bases Geográficas. *Recuperado de* <https://cutt.ly/4wd48I4T>.
- IPCC (2021). Cambio Climático 2021: Bases físicas. *Recuperado de* <https://cutt.ly/nwfUob6o>.
- Jiménez Pérez, N. (2015). *La política pública de vivienda de interés social y la configuración de riesgos por inundaciones en Cali durante la década de 1990*. PhD thesis.
- Lage, Antonio Flórez y Bejarano, M. S. (1997). Génesis y manifestaciones de las inundaciones en colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 6(1):60–110.
- Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M., and Lacasse, S. (2010). Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides*, 7:125–134.
- LISA Institute (2012). Infraestructuras criticas: definion, planes, riesgos, amenazas y lesgilacion. *Recuperado de* <https://cutt.ly/CwipQ9Xn>.
- Mancebo Quintana, S., Ortega Pérez, E., Valentín Criado, A. C., Martín Ramos, B., and Martín Fernández, L. (2008). Librosig: aprendiendo a manejar los sig en la gestión ambiental.
- MEF y GTZ (2007). Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo: Documento 1, Serie Sistema Nacional de Inversión Pública y la Gestión del Riesgo de Desastres. Lima.
- Meneses Hernandez, José Mauricio y Cardenas Velasco, J. (2011). *Diseño e implementación de un sistema de información geográfico (SIG) sobre software libre para la Secretaría de Planeación del municipio de Guadalajara de Buga [recurso electrónico]*. PhD thesis.
- Metro Cali (2019). Base de datos de metro cali.
- MetroCali (2022). Componentes de la infraestructura del SITM-MIO. *Recuperado de* <https://cutt.ly/1LSBBud>.

- Ministerio de las TIC (2021). Colombia superó los 209.000 teletrabajadores en 2020: Ministerio de las TIC.
- Mintransporte (2016). Manual para estudios de origen y destino de transporte de pasajeros y mixto en áreas municipales distritales y metropolitanas.
- Morales, M. S. (2012). *Manual de Desarrollo Web basado en ejercicios y supuestos prácticos*. Lulu. com.
- Noti Tuluá (2017). Inundaciones por fuertes precipitaciones en Cali. *Recuperado de <https://notitulua.com/2017/12/28/inundaciones-fuertes-precipitaciones-cali/>*.
- OLAP, G&H Y KTAM (1956). Desarrollo conjunto de energia y recursos hidraulicos en el valle del rio cauca.
- OSSO y Fondo Adaptación (2012). Diagnostico de Riesgo Jarillon de Aguablanca- Fondo Adaptacion. *Contrato de Consultoria No. 101 de 2012*, 2(1):1–191.
- Pérez, N. J. (2005). Elementos históricos y urbanos en la generación de desastres por inundaciones y deslizamientos en cali.
- Pérez Jiménez, N. (2015). La política pública de vivienda de interés social y la configuración de riesgos por inundaciones en cali durante la década de 1990.
- Prescott, P. (2015). *HTML 5*. Babelcube Inc.
- Ramírez Cortés, Fernando & Vargas, D. M. (2009). *Incorporando la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión territorial: guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos*. Comunidad Andina.
- Relator, P. (1938). Periódico relator abril y diciembre de 1938.
- Reyes Casseres, D. O. (2019). *Prácticas, saberes y ancestralidad de los pueblos afrocolombianos como aporte a la construcción del estado nación*. PhD thesis, Universidad de Cartagena.
- Rodríguez Sevillano, M. E. (2020). Zonificación de la amenaza ante inundaciones a partir de un método de evaluación multicriterio en la ciudad de santiago de cali, colombia. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 1(25):47–76.
- Romero, J. A. (2013). Estudios de campo de ingeniería de tránsito para determinar la oferta y la demanda de transporte público en el eje vial Tláhuac - Mixcoac.

- RUNT (2022). Balance del primer semestre de 2022 sector tránsito y transporte en colombia.
- Salcedo Hurtado, E. d. J., Barona Mendoza, J. J., Vélez Correa, J. A., Castaño Castaño, A. N., Ríos García, L. F., and Blandón Silva, J. C. (2020). Análisis del escenario sísmico en santiago de cali ante la ocurrencia de un terremoto similar al del 07 de junio de 1925.
- Sanahuja (1999). El cambio de paradigma: de la atención de desastres a la gestión del riesgo. *Boletín Científico Sapiens Research*, 2(1):13–17.
- Sañudo, M. F., Julieta Quiñones, A., Copete, J. D., Díaz, J. R., Vargas, N., and Cáceres, A. (2016). Extractivismo, conflictos y defensa del territorio: el caso del corregimiento de la toma (cauca, colombia). *Desafíos*, 28(2):367–409.
- Sedano Cruz, K., Carvajal Escobar, Y., and Ávila Díaz, Á. J. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en colombia. *Luna Azul*, 1(37):219–238.
- SGC, S. G. et al. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano-SGC.
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., and Cientificias, A. T. (2005). *Ciencias de la Tierra*, volume 1. Pearson Educación Madrid.
- UNGRD (2017). Terminología sobre gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes.
- UNISDR (2009). 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR)*, page p. 43.
- UNISDR (2016). Lineamientos y recomendaciones para la implementación del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Agrícola y Seguridad Alimentaria y Nutricional América Latina y el Caribe. *Recuperado de <https://cutt.ly/uFUWRzy>*.
- Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., and Kaynia, A. M. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, 102(3-4):251–256.
- Velasco, E. R. and López, G. I. (2016). Marco conceptual para investigaciones tsunamigénicas: caso litoral pacífico colombiano. *Boletín de Geología*, 38(4):79–106.
- Velásquez, Andrés y Jiménez, N. (2004). La gestión de riesgos en el ordenamiento territorial: inundaciones en cali, la cvc y el fenómeno enso. *Seminario Internacional Ambiental, CVC*, 50.

- Vera Rodríguez, J. M. and Albarracín Calderón, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2):109–136.
- Ward, P. J., De Moel, H., and Aerts, J. (2011). ¿Cómo se ven afectadas las estimaciones de riesgo de inundación por la elección de los períodos de retorno? *Riesgos naturales y ciencias del sistema terrestre*, pages 3181–3195.