

UNIVERSIDAD NACIONAL, COSTA RICA.  
SEDE REGIONAL CHOROTEGA, CAMPUS LIBERIA.  
INGENIERÍA HIDROLÓGICA.



PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN:

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN Y  
MITIGACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIONES EN  
ACUEDUCTOS, APLICACIÓN DE CASO ASADA BARRIO LIMÓN  
DE SANTA CRUZ, GUANACASTE, COSTA RICA”**

Como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Hidrológica

Equipo supervisor:

M.Sc. Erik Gerardo Orozco Orozco

Dr. Rolando Madriz Vargas

Autora

Sheirys Karina Ortega Noguera

504230667

Santa Cruz, Guanacaste.

Febrero, 2022.

## INTEGRANTES TRIBUNAL EXAMINADOR

*El proyecto final de graduación titulado “Propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos, aplicación de caso ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste Costa Rica” fue sometida a la consideración del tribunal examinador integrado por los siguientes profesionales:*

---

M.Sc. Doriam Chavarría López.

Representante de Decanatura, Sede Regional Chorotega.

---

M.Ed. Wagner Castro Castillo

Director académico Universidad Nacional, Campus Liberia.

---

Dr. Rolando Madriz Vargas

Coordinador de la carrera de Ingeniería Hidrológica.

---

M.Sc. Yuri Alvarado Rojas

Lector

---

M.Sc Adolfo Salinas Acosta

Lector

## **RESUMEN EJECUTIVO**

---

### **Tipo de modalidad**

Trabajo Final de Graduación (TFG) para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica.

---

### **Tema:**

Propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos, aplicación de caso ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

---

### **Resumen:**

El territorio costarricense se encuentra ubicado en una zona geográficamente influenciada por el impacto de fenómenos hidrometeorológicos, que inciden al desarrollo de lluvias intensas capaces de ocasionar eventos inundación. Hasta ahora, las afectaciones generadas por este tipo de eventos han crecido sustancialmente y con ello las repercusiones negativas a nivel social, económico, así como en infraestructuras utilizadas para proveer servicios básicos como son los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Pese al reconocimiento de esta problemática, en el país se presenta una falta de preparación en temas de gestión de riesgos por inundaciones principalmente en infraestructuras como son los sistemas de acueductos. Por tal razón, con el objetivo de aportar técnicamente con un insumo que permita en la implementación de acciones concertadas para enfrentar los impactos negativos de las inundaciones en este tipo de sistemas, el presente trabajo propone una metodología para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos.

El desarrollo de este trabajo se efectuó a través de la identificación teórica de los riesgos por inundaciones en acueductos, así como mediante el análisis de las condiciones físicas, de operación y localización de los sistemas que conforman el acueducto de la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz; esta información fue utilizada para determinar los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inundaciones presentes en el acueducto seleccionado como caso de estudio. Para ello, se efectuó una valoración de estas variables de acueducto con el análisis jerárquico establecido según la metodología de Thomas Saaty (1980).

Los resultados del presente trabajo muestran la distribución espacial de los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inundaciones para el acueducto de estudio analizado, dejando en evidencia las zonas identificadas como prioritarias de atención.

Esta investigación concluye con la propuesta de una línea metodológica para poder efectuar una evaluación de riesgos por inundaciones en infraestructuras de acueductos, así como en proponer vías de mitigación de los riesgos identificados.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

---

### **Modality type:**

Final Graduation Work to opt for the degree and title of Lic. Of Hydrological Engineering.

---

### **Theme:**

Methodological proposal for the evaluation and mitigation of risk due to flooding in aqueducts, case application ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

---

### **Abstract:**

The Costa Rican territory is located in an area geographically influenced by the impact of hydrometeorological phenomena, which affect the development of intense rains capable of causing flood events. Until now, the effects generated by this type of event have grown substantially and with it the negative repercussions at a social and economic level, as well as in infrastructures used to provide basic services such as drinking water supply systems.

Despite the recognition of this problem, in the country there is a lack of preparation in flood risk management issues, mainly in infrastructures such as aqueduct systems. For this reason, with the objective of technically contributing with an input that allows the implementation of concerted actions to face the negative impacts of floods in this type of system, this paper proposes a methodology for the evaluation and mitigation of flood risks. in aqueducts.

The development of this work was carried out through the theoretical identification of the risks due to flooding in aqueducts, as well as through the analysis of the physical conditions, operation and location of the systems that make up the aqueduct of the ASADA Barrio Limón de Santa Cruz; This information was used to determine the levels of threat, vulnerability and risk due to floods present in the aqueduct selected as a case study. For this, an assessment of these aqueduct variables was carried out with the hierarchical analysis established according to the methodology of Thomas Saaty (1980).

The results of this study show the spatial distribution of the levels of threat, vulnerability and risk of flooding for the aqueduct under study, revealing the areas identified as priorities for attention.

This research concludes with the proposal of a methodological line to be able to carry out an evaluation of risks due to flooding in aqueduct infrastructures, as well as proposing ways to mitigate the identified risks.

## AGRADECIMIENTOS

*Primeramente, quisiera externar mi más sincero agradecimiento a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida profesional.*

*A mi madre por su cuidado, amor y por todos los esfuerzos hechos para facilitarme los recursos necesarios para poder estudiar.*

*A mi amiga Paula Martínez, por alentarme y apoyarme durante esta etapa, así como durante cada uno de nuestros años de amistad.*

*A Martín Gutiérrez, por creer en mí, por apoyarme y brindarme sus palabras de aliento en los momentos más difíciles.*

*Agradezco a todos mis amigos Fabricio Sierra, Kendy Pérez, Gabriel Cordero, Alex Briceño, Raquel Ruíz y Katherine Álvarez, por estar siempre presentes y brindarme su incondicional apoyo.*

*A Erik Orozco por confiar en mi como estudiante y profesional; a quienes hoy son mis compañeros de trabajo por ayudarme cuando se me presentaron dificultades.*

*Finalmente, agradecer a mis familiares y a cada una de las personas que de una u otra forma me apoyaron al cumplimiento de mis metas.*

*¡Muchas gracias!*

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, por darme todo sin esperar nada a cambio.*

*A mi abuela Doris, por su educación, su apoyo y compañía.*

*A mi padre, por enseñarme a amar aún en la dificultad y en la distancia (QEPD).*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	xi
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Formulación y delimitación del problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Justificación del proyecto.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
<b>1.4 Alcances y Limitaciones.....</b>	<b>5</b>
1.4.1 Alcances.....	5
1.4.2 Limitaciones.....	5
<b>CAPÍTULO 2. CONTEXTO DEL PROYECTO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Antecedentes.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Delimitación del área de estudio.....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Localización geográfica.....	7
2.2.2 Marco demográfico.....	8
2.2.3 Actividades socioeconómicas.....	9
2.2.4 Caracterización climática.....	9
2.2.5 Zonas de vida de Holdridge.....	9
2.2.6 Zonas de vulnerabilidad.....	10
<b>CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Conceptos hidrológicos.....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Cuenca hidrográfica.....	12
3.1.2 Ciclo hidrológico.....	12
3.1.3 Precipitación.....	12
3.1.4 Escorrentía.....	13
<b>3.2 Características hidrometeorológicas.....</b>	<b>13</b>
3.2.1 Clima.....	13
3.2.2 Eventos hidrometeorológicos.....	13
3.2.3 Inundaciones.....	13

<b>3.3 Características de la cuenca hidrográfica</b> .....	14
3.3.1 Características de forma.....	14
<b>3.4 Caracterización hidráulica en acueductos</b> .....	16
3.4.1 Captación.....	16
3.4.2 Tanques de almacenamiento .....	16
3.4.3 Tuberías.....	16
<b>3.5 Generalidades para la evaluación de riesgos por inundaciones</b> .....	17
3.5.1 Amenaza.....	17
3.5.2 Desastre .....	17
3.5.3 Exposición.....	17
3.5.4 Vulnerabilidad.....	17
3.5.5 Riesgo.....	17
3.5.6 Evaluación del riesgo .....	18
3.5.7 Prevención del riesgo .....	18
3.5.8 Mitigación .....	18
3.5.9 Resiliencia .....	18
<b>CAPÍTULO 4. ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD</b> .....	19
<b>4.1 Estudio de prefactibilidad legal</b> .....	20
4.1.1 Marco legal.....	20
<b>4.2 Estudio de prefactibilidad ambiental</b> .....	21
<b>4.3 Estudio de prefactibilidad social</b> .....	22
<b>4.4 Estudio de prefactibilidad técnico-financiero</b> .....	24
4.4.1 Prefactibilidad técnica .....	24
4.4.2 Prefactibilidad financiera .....	24
4.4.3 Costos ahorrados .....	26
4.4.4 Flujo de caja .....	26
<b>4.4 Conclusión general</b> .....	28
<b>CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA</b> .....	29
<b>5.1 Tipo de investigación</b> .....	29
<b>5.2 Diseño de la investigación</b> .....	29
5.2.1 Etapa Teórica.....	30
5.2.2 Etapa Experimental .....	31
5.2.3 Etapa de caso de estudio: ASADA Barrio Limón.....	33

<b>5.3 Relación entre objetivos y diseño metodológico .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1 Resultados de la etapa teórica .....</b>	<b>42</b>
6.1.1 Riesgos por inundaciones en sistemas de acueductos .....	42
6.1.2 Resiliencia de los acueductos frente al impacto por inundaciones.....	44
<b>6.2 Resultados de la etapa experimental .....</b>	<b>46</b>
6.2.1 Generalidades del área de estudio .....	46
6.2.2 Caracterización física de la subcuenca de la ASADA Barrio Limón.....	47
6.2.3 Caracterización de los componentes de los sistemas del acueducto: ASADA Barrio Limón .....	49
<b>6.3 Resultados de la etapa caso de estudio: ASADA Barrio Limón de Santa Cruz. ....</b>	<b>54</b>
6.3.1 Percepción de inundaciones. ....	55
6.3.2 Análisis de los niveles de amenaza .....	57
6.3.3 Cálculo del nivel de amenaza.....	62
6.3.4 Estratificación de amenazas .....	63
6.3.5 Análisis de los niveles de vulnerabilidad .....	65
6.3.6 Cálculo del nivel de vulnerabilidad.....	69
6.3.7 Estratificación de los niveles de vulnerabilidad .....	69
6.3.8 Análisis de los niveles de riesgos .....	71
<b>6.4 Propuesta de medidas de mitigación de riesgos por inundación.....</b>	<b>73</b>
6.4.1 Aplicación de medidas estructurales .....	73
6.4.2 Aplicación de medidas no estructurales .....	75
<b>6.5 Propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos.....</b>	<b>76</b>
6.5.1 Etapa I: Delimitación de problemas por inundaciones a nivel de acueductos.....	79
6.5.2 Etapa II: Recopilación de información.....	79
6.5.3 Etapa III: Evaluación de la información.....	80
6.5.4 Etapa IV: Priorización de resultados y plan de acción .....	81
6.5.5 Etapa V: Definición de las vías de mitigación de riesgos .....	82
<b>6.6 Principales hallazgos del proyecto .....</b>	<b>83</b>
<b>6.7 Sobre los objetivos planteados .....</b>	<b>85</b>
6.7.1 Objetivo específico primero .....	85
6.7.2 Objetivo específico segundo .....	85
6.7.3 Objetivo específico tercero.....	86

6.7.4 Objetivo específico cuarto.....	86
<b>6.8 Sobre la metodología planteada .....</b>	<b>87</b>
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>7.1 Conclusiones .....</b>	<b>88</b>
<b>7.2 Recomendaciones .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resumen climático de la Subregión Occidental de la Península de Nicoya .....	9
<b>Tabla 2.</b> Clase de forma según factores de Horton.....	15
<b>Tabla 3.</b> Forma de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad.....	15
<b>Tabla 4.</b> Marco legal del proyecto.....	20
<b>Tabla 5.</b> Relación de las actividades de la Resolución N°2373-2016-SETENA y el proyecto.....	22
<b>Tabla 6.</b> Vinculación social del proyecto .....	22
<b>Tabla 7.</b> Herramientas utilizadas para la obtención y procesamiento de información .....	24
<b>Tabla 8.</b> Costos directos .....	25
<b>Tabla 9.</b> Costos indirectos .....	25
<b>Tabla 10.</b> Otros costos.....	25
<b>Tabla 11.</b> Costos ahorrados .....	26
<b>Tabla 12.</b> Flujo de caja del proyecto .....	27
<b>Tabla 13.</b> Ecuaciones utilizadas para la determinación de variables físicas.....	32
<b>Tabla 14.</b> Escala de subjetividad de valores de Saaty .....	35
<b>Tabla 15.</b> Valores de Índice Aleatorio.....	37
<b>Tabla 16.</b> Escala de semáforos empleados para la clasificación de niveles de amenaza y vulnerabilidad en los sistemas de acueductos .....	38
<b>Tabla 17.</b> Escala de semáforos empleados para la clasificación de niveles de riesgo.....	39
<b>Tabla 18.</b> Enfoque para el cumplimiento del primer objetivo de investigación.....	39
<b>Tabla 19.</b> Enfoque para el cumplimiento del segundo objetivo de investigación .....	40
<b>Tabla 20.</b> Enfoque para el cumplimiento del tercer objetivo de investigación .....	40
<b>Tabla 21.</b> Enfoque para el cumplimiento del cuarto objetivo de investigación .....	40
<b>Tabla 22.</b> Matriz de efectos adversos y grados de afectación provocadas por inundaciones en sistemas de acueductos .....	43

<b>Tabla 23.</b> Beneficios adquiridos en acueductos al contar con sistemas resilientes .....	46
<b>Tabla 24.</b> Parámetros morfométricos condicionantes de la subcuenca del río Diríá.....	48
<b>Tabla 25.</b> Parámetros morfométricos desencadenantes de la subcuenca del río Diríá .....	49
<b>Tabla 26.</b> Información de fuentes de aprovechamiento de la zona .....	49
<b>Tabla 27.</b> Información resumida del tanque de almacenamiento .....	51
<b>Tabla 28.</b> Matriz de comparación de pares para niveles de amenaza por condiciones del territorio. .....	57
<b>Tabla 29.</b> Matriz de normalización y niveles de importancia de amenazas por condiciones del territorio.....	58
<b>Tabla 30.</b> Matriz de valoración de consistencia de parámetros planteados para la estimación de amenazas por condiciones del territorio.....	58
<b>Tabla 31.</b> Pesos ponderados por descriptor - índice de compacidad.....	59
<b>Tabla 32.</b> Pesos ponderados por descriptor - longitud de cauce.....	59
<b>Tabla 33.</b> Pesos ponderados por descriptor - factor de forma .....	59
<b>Tabla 34.</b> Matriz de comparación de pares para el análisis de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras. ....	60
<b>Tabla 35.</b> Matriz de normalización y niveles de importancia de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras. ....	61
<b>Tabla 36.</b> Matriz de valoración de consistencia de parámetros planteados para la estimación de amenazas por susceptibilidad de infraestructura. ....	61
<b>Tabla 37.</b> Pesos ponderados para estimación de amenaza por descriptor – niveles de agua de inundación.....	62
<b>Tabla 38.</b> Pesos ponderados para estimación de amenaza por descriptor – cercanía al cauce del río .....	62
<b>Tabla 39.</b> Pesos ponderados para estimación de amenaza por descriptor – ubicación en zonas de inundación.....	62
<b>Tabla 40.</b> Valor de amenaza por condiciones del territorio.....	63
<b>Tabla 41.</b> Valor de amenaza por condiciones de infraestructura.....	63
<b>Tabla 42.</b> Estratificación de los niveles de amenazas.....	63
<b>Tabla 43.</b> Matriz de comparación de pares para el análisis de los niveles de vulnerabilidad. ....	65
<b>Tabla 44.</b> Matriz de normalización y niveles de importancia de los niveles de vulnerabilidad del acueducto.....	66
<b>Tabla 45.</b> Matriz de valoración de consistencia de parámetros para la estimación de vulnerabilidad del acueducto Barrio Limón. ....	67

<b>Tabla 46.</b> Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – disminución de la calidad del agua.....	67
<b>Tabla 47.</b> Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – interrupción del servicio de agua potable .....	68
<b>Tabla 48.</b> Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – daños en infraestructuras.....	68
<b>Tabla 49.</b> Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – resiliencia de infraestructuras.....	68
<b>Tabla 50.</b> Valor de vulnerabilidad del acueducto.....	69
<b>Tabla 51.</b> Estratificación de los niveles de vulnerabilidad.....	69
<b>Tabla 52.</b> Matriz de método simplificado para la determinación de niveles de riesgos.....	71
<b>Tabla 53.</b> Clasificación de los niveles de riesgo según valores establecidos por la matriz de método simplificado.....	72
<b>Tabla 54.</b> Información del sitio propuesto.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama de Ishikawa, causa y efecto para la delimitación del problema .....	2
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica del acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz.....	7
<b>Figura 3.</b> Ubicación geográfica de la cuenca a la que pertenece el acueducto de Barrio Limón.....	8
<b>Figura 4.</b> Mapa de amenazas para el cantón de Santa Cruz.....	11
<b>Figura 5.</b> La cuenca como un sistema hidrológico.....	12
<b>Figura 6.</b> Efecto de la forma de la cuenca en los hidrogramas de salida.....	15
<b>Figura 7.</b> Comparación de viabilidad del proyecto .....	19
<b>Figura 8.</b> Integración de enfoques a la investigación aplicada.....	29
<b>Figura 9.</b> Etapas de la investigación.....	30
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de proceso de análisis jerárquico.....	35
<b>Figura 11.</b> Relación entre objetivos y diseño metodológico.....	41
<b>Figura 12.</b> Combinación de estrategias para la gestión de riesgos.....	44
<b>Figura 13.</b> Mapa de ubicación general de la zona de estudio.....	47
<b>Figura 14.</b> Pozos de la ASADA Barrio Limón.....	50
<b>Figura 15.</b> Tanque de almacenamiento de la ASADA Barrio Limón.....	51
<b>Figura 16.</b> Vía de acceso terrestre hacia el tanque de almacenamiento en época de invierno.....	52
<b>Figura 17.</b> Localización de las tuberías de impulsión de la ASADA Barrio Limón.....	53
<b>Figura 18.</b> Localización de las tuberías de distribución de la ASADA Barrio Limón.....	54

<b>Figura 19.</b> Mapa de distribución de los niveles de amenazas por inundaciones en el acueducto Barrio Limón. ....	64
<b>Figura 20.</b> Mapa de distribución de los niveles de vulnerabilidad por inundaciones en el acueducto Barrio Limón. ....	70
<b>Figura 21.</b> Mapa de distribución de los niveles de riesgo por inundaciones en el acueducto Barrio Limón. ....	73
<b>Figura 22.</b> Mapa de ubicación del sitio propuesto para reubicación del sistema de almacenamiento. ....	74
<b>Figura 23.</b> Diagrama de propuesta metodológica para evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos. ....	75

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Percepción social sobre el comportamiento de la calidad de agua por eventos de inundaciones. ....	56
<b>Gráfico 2.</b> Percepción social sobre las pérdidas en infraestructuras por inundaciones. ....	56
<b>Gráfico 3.</b> Percepción social por problemas de comunicación con los sistemas del acueducto por inundaciones. ....	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Oficina ASADA Barrio Limón de Santa Cruz. ....	96
<b>Anexo 2.</b> Anclajes colocados para el cruce de tuberías por el cauce del río Diríá a la altura de la comunidad de Barrio Limón. ....	96
<b>Anexo 3.</b> Colocación de los anclajes para el cruce de tuberías de impulsión - distribución a través del río Diríá. ....	97
<b>Anexo 4.</b> Encuesta dirigida a los abonados del acueducto Barrio Limón para conocimiento de la percepción social sobre eventos de inundaciones. ....	98
<b>Anexo 5.</b> Matriz inversa de las sumas para evaluación de amenaza por condiciones del territorio .	99
<b>Anexo 6.</b> Matriz de priorización de resultados de amenazas por condiciones del territorio. ....	99
<b>Anexo 7.</b> Cálculo de índice de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones del territorio. ....	99
<b>Anexo 8.</b> Cálculo de relación de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones del territorio. ....	99
<b>Anexo 9.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor - índice de compacidad...	100

<b>Anexo 10.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor - índice de compacidad.....	100
<b>Anexo 11.</b> Matriz de priorización de resultados, descriptor - índice de compacidad .....	100
<b>Anexo 12.</b> Cálculo de índice de consistencia, descriptor - índice de compacidad.....	101
<b>Anexo 13.</b> Cálculo de relación de consistencia, descriptor - índice de compacidad.....	101
<b>Anexo 14.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – longitud del cauce .....	101
<b>Anexo 15.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – longitud del cauce.....	101
<b>Anexo 16.</b> Matriz de priorización de resultados, descriptor - longitud del cauce .....	102
<b>Anexo 17.</b> Cálculo de índice de consistencia, descriptor - longitud del cauce .....	102
<b>Anexo 18.</b> Cálculo de relación de consistencia, descriptor - longitud del cauce .....	102
<b>Anexo 19.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – factor de forma .....	102
<b>Anexo 20.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor - factor de forma.....	103
<b>Anexo 21.</b> Matriz de priorización de resultados, descriptor - factor de forma.....	103
<b>Anexo 22.</b> Cálculo de índice de consistencia, descriptor - longitud del cauce .....	103
<b>Anexo 23.</b> Cálculo de relación de consistencia, descriptor - factor de forma.....	103
<b>Anexo 24.</b> Matriz inversa de las sumas para evaluación de amenaza por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras. ....	104
<b>Anexo 25.</b> Matriz de priorización de resultados de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras.....	104
<b>Anexo 26.</b> Cálculo de índice de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras .....	104
<b>Anexo 27.</b> Cálculo de relación de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras .....	104
<b>Anexo 28.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – niveles de agua de inundación.....	105
<b>Anexo 29.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – niveles de agua de inundación. ....	105
<b>Anexo 30.</b> Matriz de priorización de resultados, descriptor – niveles de agua de inundación. ....	105
<b>Anexo 31.</b> Cálculo de índice de consistencia, descriptor – niveles de agua de inundación.....	106
<b>Anexo 32.</b> Cálculo de relación de consistencia, descriptor – niveles de agua de inundación.....	106
<b>Anexo 33.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río .....	106
<b>Anexo 34.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río .	106
<b>Anexo 35.</b> Matriz de priorización de resultados ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río .....	106

<b>Anexo 36.</b> Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río .....	107
<b>Anexo 37.</b> Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río .....	107
<b>Anexo 38.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación .....	107
<b>Anexo 39.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación .....	107
<b>Anexo 40.</b> Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación .....	108
<b>Anexo 41.</b> Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación .....	108
<b>Anexo 42.</b> Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación .....	108
<b>Anexo 43.</b> Matriz inversa de las sumas de parámetros para evaluación de vulnerabilidad .....	108
<b>Anexo 44.</b> Matriz de priorización de resultados de parámetros de vulnerabilidad .....	109
<b>Anexo 45.</b> Cálculo de índice de consistencia de parámetros de vulnerabilidad.....	109
<b>Anexo 46.</b> Cálculo de relación de consistencia de parámetros de vulnerabilidad .....	109
<b>Anexo 47.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable .....	109
<b>Anexo 48.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable .....	110
<b>Anexo 49.</b> Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable.....	111
<b>Anexo 50.</b> Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable .....	111
<b>Anexo 51.</b> Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable .....	111
<b>Anexo 52.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable .....	111
<b>Anexo 53.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable .....	112
<b>Anexo 54.</b> Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable.....	113

<b>Anexo 55.</b> Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable .....	113
<b>Anexo 56.</b> Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable .....	113
<b>Anexo 57.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras .....	113
<b>Anexo 58.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras	114
<b>Anexo 59.</b> Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras....	114
<b>Anexo 60.</b> Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras .....	114
<b>Anexo 61.</b> Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras .....	114
<b>Anexo 62.</b> Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras .....	115
<b>Anexo 63.</b> Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras .....	115
<b>Anexo 64.</b> Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras .....	116
<b>Anexo 65.</b> Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras .....	116
<b>Anexo 66.</b> Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor - resiliencia de infraestructuras .....	116

## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>AHP</b>	Proceso de Análisis Jerárquico
<b>ASADAS</b>	Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>CENEPRED</b>	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
<b>CNE</b>	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
<b>EHE</b>	Eventos Hidrometeorológicos Extremos
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadística y Censos
<b>PN1</b>	Subregión Occidental de la Península de Nicoya

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

El presente capítulo consta de cuatro apartados, estructurados delimitación de la problemática, justificación, objetivos, alcances y limitaciones en los que se fundamentan los principales aspectos que articulan la propuesta del proyecto.

## **1.1 Formulación y delimitación del problema**

En Costa Rica, la mayor parte de las comunidades cuenta con sistemas de acueductos para abastecer de agua potable a sus pobladores, sin embargo, gran porcentaje de este tipo de obras se encuentran expuestos a fenómenos naturales como son las inundaciones (Rivera & Suarez, 2018, p.22).

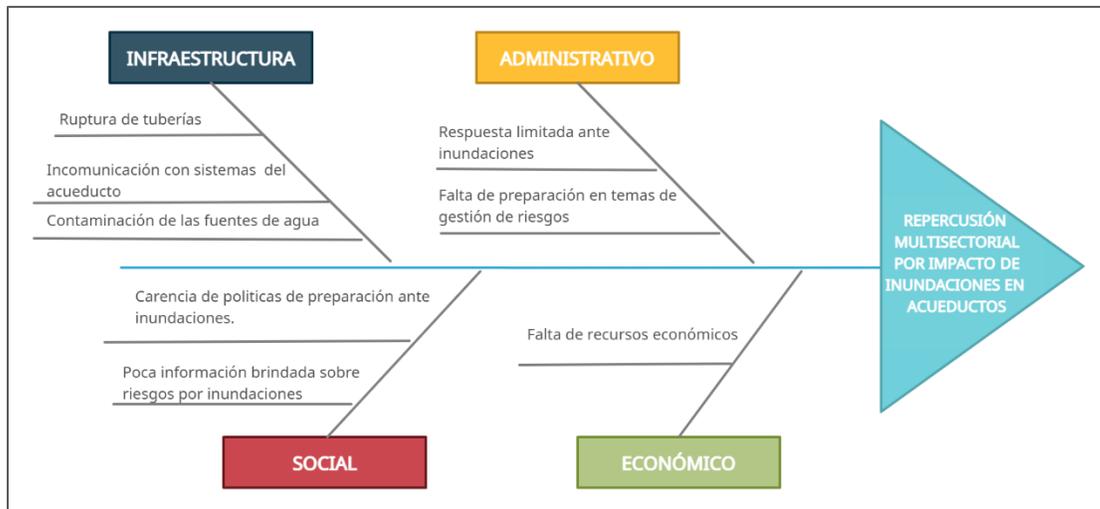
Por lo general, este tipo de infraestructuras han sido desarrolladas bajo poca o ninguna prevención ante los impactos que pueden generar eventos causantes de inundaciones. Por ejemplo, los efectos del huracán Otto en 2016 y la tormenta Nate en 2017, causaron innumerables daños en infraestructura, servicios, vías de comunicación y producción, dejando sin agua potable a más de 482 mil personas (Paniagua & Rodríguez, 2019, p.3), lo cual deja en evidencia la susceptibilidad que presentan los acueductos en el país.

Para entender de manera adecuada la problemática de las inundaciones en acueductos, el presente trabajo toma como caso de estudio la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste. Actualmente, esta ASADA ha tenido un crecimiento sustancial en cuanto a la prestación del servicio de agua potable en la zona, beneficiando cerca de un 8% del total del distrito de Santa Cruz.

No obstante, pese al porcentaje que representa este acueducto para la población de Santa Cruz, su desarrollo se ha cimentado bajo un escenario carente de planificación y prevención de riesgos ante eventos de inundaciones, lo cual ha contribuido a una serie de problemas que repercuten a nivel multisectorial en la comunidad de Barrio Limón.

El acueducto de Barrio Limón es impactado recurrentemente por las inundaciones ocasionadas debido al desbordamiento del río Diría a la altura de esta comunidad. Esta situación, ha derivado en afectaciones en los sistemas que componen este acueducto, así como a las actividades que se encuentran ligadas al correcto funcionamiento de los mismo.

En consideración a lo anterior, la problemática se delimita a partir de las principales debilidades que se presentan en el acueducto ante eventos las inundaciones, a partir del planteamiento de causa y efecto se acuerdo con el siguiente diagrama.



**Figura 1.** Diagrama de Ishikawa, causa y efecto para la delimitación del problema

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Bajo el escenario característico de esta ASADA los principales problemas se adjudican a que, durante eventos de inundaciones las fuentes de abastecimiento de agua potable tienden a algunos comportamientos poco frecuentes como lo es el aumento de la turbidez en el agua, lo cual afecta consecuentemente la calidad del servicio de abastecimiento.

Otra de las problemáticas identificadas se presenta en términos de comunicación con el único tanque de almacenamiento con el que dispone la ASADA puesto que, la única vía de acceso a dicho elemento se realiza cruzando el cauce fluvial del río Diríá. Asimismo, la tubería de impulsión, así como parte de la tubería de distribución que conecta al tanque con el acueducto cruza dicho cauce fluvial; por tanto, en época lluviosa, principalmente durante eventos extremos esta infraestructura queda incomunicada en su totalidad, imposibilitando el acceso para realizar las inspecciones de la red y las reparaciones requeridas.

Estas situaciones no afectan únicamente en términos de infraestructura el acueducto, sino que, además derivan problemas sociales, administrativos y económicos. Para ejemplificar, si durante un evento extremo alguno de los sistemas del acueducto sufre daños que ocasionen la interrupción del servicio de agua, los abonados presentarán algún tipo de molestia que, podría generar un desequilibrio en la administración de la ASADA. Además, la atención de estos sucesos, requieren en muchas ocasiones la inversión económica en arreglos de infraestructura que, resulta en muchas ocasiones afectadas en próximos eventos de inundaciones.

A partir de los hechos que se presentan con anterioridad, surge el interés de efectuar la presente investigación con el fin de convertir los resultados que se deriven del presente trabajo en una metodología para evaluación de riesgos por inundaciones en acueductos.

## **1.2 Justificación del proyecto**

Costa Rica, se encuentra ubicada en una zona geográficamente influenciada por fenómenos naturales como lo es América Central, por tal razón, el país es afectado con recurrencia por fenómenos hidrometeorológicos, tales como ciclones tropicales, frentes fríos, sistemas de baja presión, que provocan lluvias intensas capaces de ocasionar eventos de inundaciones y desbordamiento de ríos en diferentes partes del país (CONAGUA, 2011, p.1).

A la fecha, la frecuencia de fenómenos hidrometeorológicos causantes de inundaciones ha crecido sustancialmente y con ello también las repercusiones negativas en sectores sociales, económicos e infraestructuras de servicios básicos, como son los sistemas de abastecimiento de agua potable.

En general, la prestación del servicio de agua es realizada mediante sistemas compuestos por tuberías, tanques de almacenamiento, captaciones entre otros elementos que, por su naturaleza, tienden a presentar algún grado de vulnerabilidad asociado a riesgos por inundaciones. Por lo general, los efectos negativos que se producen durante eventos inundables se relacionan principalmente con daños por ruptura de tuberías de impulsión, conducción, distribución, contaminación de las fuentes de abastecimiento, así como inhabilitación del servicio de agua durante periodos prolongados.

Aunque se reconoce que en el territorio costarricense se presenta una alta incidencia de daños derivados de las inundaciones, la información histórica con que se dispone sobre las repercusiones por este tipo de eventos en acueductos, tiene la característica de estar dispersa, no sistematizada y en general, con un contenido de información muy reducida.

Aunado a lo anterior, las experiencias vividas en campo demuestran que diversas organizaciones de acueductos como, por ejemplo: ASADA Barrio Limón, ASADA San Pablo de Nandayure, ASADA Cuajiniquil de la Cruz, El Salto de Bijagua en Upala, entre otras, han mostrado carencia en la planificación de respuesta a la atención de desastres por inundaciones, así como carencia en la toma de medidas preventivas para futuros eventos de este tipo. Por tanto, aun reconociendo la imposibilidad de contar con sistemas que ofrezcan una seguridad del cien por ciento ante los desastres, es imprescindible que las instituciones encargadas de brindar el servicio de agua potable sean capaces de resolver de la mejor manera y en el menor tiempo posible, las dificultades que se presenten durante y después del impacto de algunas de las amenazas indicadas (Organización Panamericana de la Salud, 2004, p.2).

Debido a lo mencionado con anterioridad, la justificación de la realización del presente proyecto se resume en los siguientes puntos:

- Actualmente, el país no cuenta con metodologías específicas para la evaluación de riesgo por inundaciones en acueductos.
- La elaboración de una propuesta metodológica para evaluación de riesgos por inundaciones en acueductos generará un insumo base que permitirá a las instituciones responsables de la gestión de los sistemas de acueductos, tener un conocimiento en base a sus vulnerabilidades ante inundaciones.
- Se brinda a los gestores de los acueductos un instrumento que sirva de guía para la prevención de daños ante eventos extremos utilizando como insumo experiencias y registros de eventos extremos.
- La propuesta metodológica brindará a los acueductos herramientas para dar una respuesta rápida, que minimice las pérdidas de sus activos y el tiempo de interrupción en los servicios.
- Los resultados de esta investigación serán una base para la elaboración de futuras guías, que involucren la evaluación de riesgos en acueductos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer una metodología para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos mediante la aplicación de caso: ASADA de Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica, con el fin de orientar los procedimientos que favorezcan en la toma de decisiones para la atención de riesgos por inundaciones.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Realizar una recopilación de información de registro histórico de riesgos por inundaciones mediante la base de datos del gobierno local, para caracterizar las condiciones zona de la cuenca a la que pertenece el acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz.
2. Efectuar una caracterización de los sistemas que componen el acueducto de la ASADA Barrio Limón mediante un levantamiento de campo, con el propósito de identificar las infraestructuras con mayor riesgo por inundaciones.
3. Elaborar una metodología a partir de la integración de investigaciones previas acerca de mitigación de riesgos por inundaciones, con el fin de establecer líneas de decisión sobre la operación actual y futura en sistemas de acueductos.

4. Indicar las medidas de mitigación de riesgos por inundación en la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz mediante la aplicación de la metodología desarrollada, para reducir los riesgos por inundación.

## **1.4 Alcances y Limitaciones**

### 1.4.1 Alcances

- El análisis permite generar cartografía de los sistemas del acueducto de la ASADA de Barrio Limón de Santa Cruz.
- Mediante este trabajo se logra la identificación de zonas vulnerables de la infraestructura del acueducto en estudio.
- Con la realización del presente proyecto se genera un insumo base para la derivación de metodologías futuras entorno a la gestión de riesgos por inundaciones en acueductos

### 1.4.2 Limitaciones

- La cantidad de información a nivel país acerca de repercusiones por inundaciones en acueductos es altamente limitada.
- Existen pocas herramientas relacionadas con evaluaciones de riesgos por fenómenos inundables en acueductos.
- Carencia de información histórica de las inundaciones para el área de estudio seleccionada.
- El estado de emergencia en el país debido al virus SARC-CoV-19, limitó la obtención de información de campo.
- No se incluyen modelos en una o dos direcciones con ningún software para el cauce del río, la recopilación de información de inundaciones será cualitativa.
- No se incluye análisis de registros históricos de la información de estaciones meteorológicas.

Debido a lo expuesto con anterioridad, en el próximo capítulo se detallará el contexto dentro del que se desarrolla el proyecto.

## **CAPÍTULO 2. CONTEXTO DEL PROYECTO**

Este capítulo, tiene el propósito de brindar una contextualización del impacto por inundaciones, mediante una breve descripción de la información que antecede la problemática por estos eventos, desde un abordaje de escala global hasta aterrizar hasta el punto focal del de la zona en la que se desarrolla el caso de estudio del proyecto.

Por lo tanto, se contempla a continuación cuatro apartados considerados relevantes para el abordaje del estudio. Estos apartados se encuentran compuestos por antecedentes, delimitación del área de

estudio donde se contempla: localización geográfica, características biofísicas, climáticas y zonas de vulnerabilidad a la que pertenece el acueducto en estudio.

## **2.1 Antecedentes**

Durante las últimas décadas, la incidencia de eventos hidrometeorológicos causante de inundaciones ha ido en ascenso constante, además la problemática que precede es cada vez más grave, generando gran cantidad de pérdidas de recursos, infraestructuras, vulnerabilidad social e incluso un retroceso en el desarrollo de los países (Jiménez, 2007, p.3).

América Latina es una de las regiones donde, según estimaciones de la UNESCO (2002), los desastres que se presentan en el orbe relacionado con el agua corresponden en un 50% a inundaciones, siendo a su vez el problema de mayor riesgo en la región con un 41.7% de ocurrencia (Orozco, 2018, p.5). La tendencia en el impacto de este tipo de desastres se explica en relación de causalidad entre los modelos de crecimiento de las poblaciones y los procesos de generación de riesgos, en los que se reconoce que factores implícitos como la falta de políticas para la planeación del desarrollo ha cimentado las bases de la vulnerabilidad en los países latinoamericanos.

Aunado a lo anterior, diversas organizaciones internacionales consideran que la variabilidad climática es otro de los factores que han contribuido en la frecuencia con que se producen los eventos de inundaciones y que en muchas ocasiones originan afectaciones negativas, especialmente en aquellas zonas que ya están expuestas a consecuencias relacionadas con el clima (Ibarra, 2016, p.7).

En Costa Rica, la historia de los eventos hidrometeorológicos lluviosos ha ocasionado en la última década, “una amplia lista de emergencias, debido al afloramiento de inundaciones que han supuesto severas implicaciones sociales y económicas a lo largo y ancho del país” (Castillo, 2021, p.2). Además, datos históricos revelan que el impacto por estos eventos es cada vez más complejo debido a las condiciones sociales, grados de exposición y fragilidad de algunos sectores sociales.

Un claro ejemplo en los últimos años ha sido el impacto generado por el huracán Otto en 2016 y la tormenta Nate 2017, cuyos efectos provocaron condiciones de un temporal severo con lluvias y vientos en todo el territorio nacional, ocasionando eventos de inundaciones en diferentes partes del país. Ambos fenómenos hidrometeorológicos, afectaron fuertemente el Pacífico Sur y Norte, donde las repercusiones causaron innumerables daños dejando sin agua potable a miles de personas (Paniagua & Rodríguez, 2019, p.3).

Entre las comunidades impactadas por el huracán Otto en 2016 y la tormenta Nate 2017 se encuentra Barrio Limón, ubicado en el cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste, donde debido a las

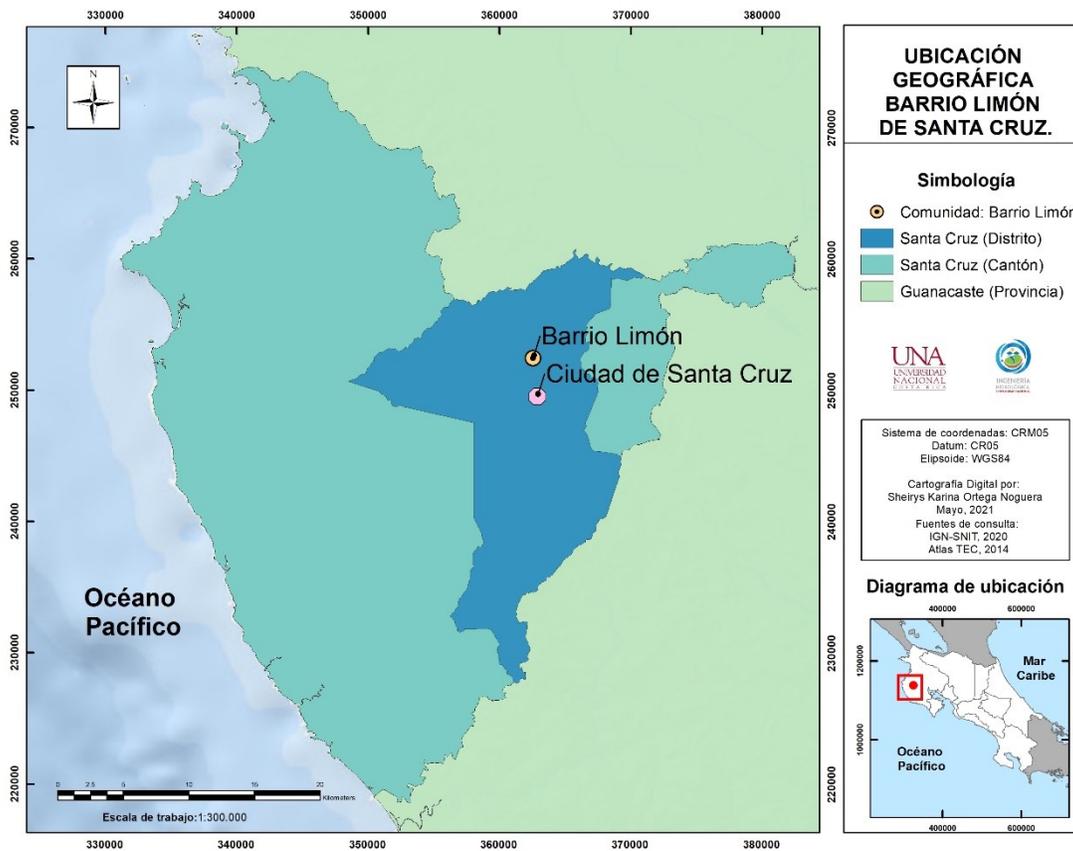
fuerres lluvias, el río Diríá ubicado en la zona, experimentó una gran crecida que repercutió en el sistema de agua potable de la población. Esta situación afectó principalmente aspectos como accesibilidad al tanque de almacenamiento, por otro lado, se pudo apreciar una disminución de la calidad en el servicio de agua, tal como indica (Ortega 2021, per. comm., 9 may) puesto que, durante el impacto del evento fue posible evidenciar un alto nivel de turbiedad en el agua de consumo durante los días de afectación por inundaciones.

Por lo anterior, con el objetivo de esclarecer el escenario del proyecto se presenta a continuación la delimitación del área en el que se desarrollará el proyecto.

## 2.2 Delimitación del área de estudio

### 2.2.1 Localización geográfica

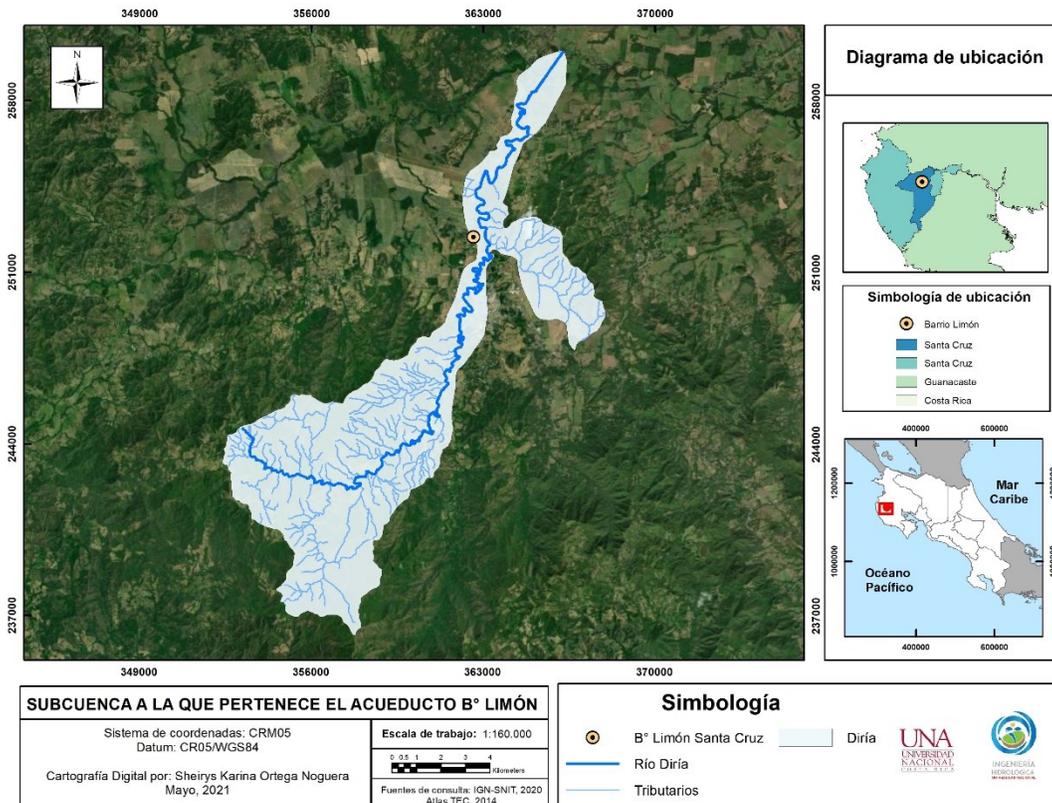
El acueducto de Barrio Limón se ubica según la división territorial de Costa Rica, ubica en la provincia de Guanacaste (N°5), cantón de Santa Cruz (N°3), distrito de Santa Cruz (N°1), tal como se puntualiza en la Figura 2.



**Figura 2.** Ubicación geográfica del acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Así mismo, de acuerdo con las hojas cartográficas escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), este acueducto se encuentra ubicado en la hoja cartográfica Diríá, subcuenca Diríá. Dicha subcuenca del río Diríá tiene un área aproximada de 90.23 km<sup>2</sup> y un perímetro de 80.16 km. Además, el mismo presenta un cauce principal el cual nace en el Parque Nacional Diríá y desemboca en el Río Tempisque.



**Figura 3.** Ubicación geográfica de la subcuenca a la que pertenece el acueducto de Barrio Limón.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 2.2.2 Marco demográfico

Actualmente, Barrio Limón corresponde a un 8 % del total del distrito de Santa Cruz, con una población estimada de 2040 habitantes para el año 2021. No obstante, según el crecimiento poblacional demostrado por Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), (2018) se espera que dentro de 20 años (2041) Barrio Limón cuente con una población aproximada de 2682 habitantes.

### 2.2.3 Actividades socioeconómicas

Las actividades productivas que se dan en la zona de estudio son orientadas principalmente en torno a las practicas económicas terciarias<sup>1</sup>, mediante la implementación de servicios de enseñanza de educación básica, servicios sociales, de salud y comunitarios.

### 2.2.4 Caracterización climática

De acuerdo con las regiones geográfico-climáticas del país, la zona de estudio pertenece a la Región del Pacífico Norte, Subregión Occidental de la Península de Nicoya (PN1). Esta subregión, se encuentra influenciada por el régimen de precipitación del Pacífico (Solano & Villalobos, 2000, p.4), el cual se caracteriza por la presencia de un período seco y lluvioso bien definido.

Así mismo, dentro de las principales características climáticas indicadas por Villalobos y Solano (2000) para esta subregión, se destacan las siguientes:

**Tabla 1.** Resumen climático de la Subregión Occidental de la Península de Nicoya

<b>Subregión</b>	<b>Precipitación media anual (mm)</b>	<b>Temperatura máxima media anual (°C)</b>	<b>Temperatura mínima media anual (°C)</b>	<b>Temperatura media anual (°C)</b>	<b>Promedio de días con lluvia</b>	<b>Duración del periodo seco (meses)</b>
<b>PN1</b>	2385	30	23	25 a 30 °C	99	4

Fuente: Adaptado de Solano y Villalobos, 2000.

En ese sentido, las condiciones características de esta subregión aunados a los impactos por eventos hidrometeorológicos, han dado lugar a eventos históricos por inundaciones, algunos de los eventos históricos por inundaciones que han tenido impacto en PN1 según Vallejos-Vázquez et al., (2012) se destacan: Huracán Gilbert del 9 de septiembre de 1988, Tormenta Tropical Marco del 22 de noviembre de 1996, Tormenta Tropical Alma del 27 al 28 de mayo de 2008, Huracán Otto 21 de noviembre de 2016 y Tormenta Nate del 4 al 9 de octubre de 2017.

### 2.2.5 Zonas de vida de Holdridge

De acuerdo con (Fournier, 2015, p.15), en Ganacaste predomina la zona de vida de Bosque Tropical Seco, respecto del cual se reconocen dos variables fundamentales de esta zona de vida, el bosque Seco y un Bosque Seco de transición a Bosque Húmedo.

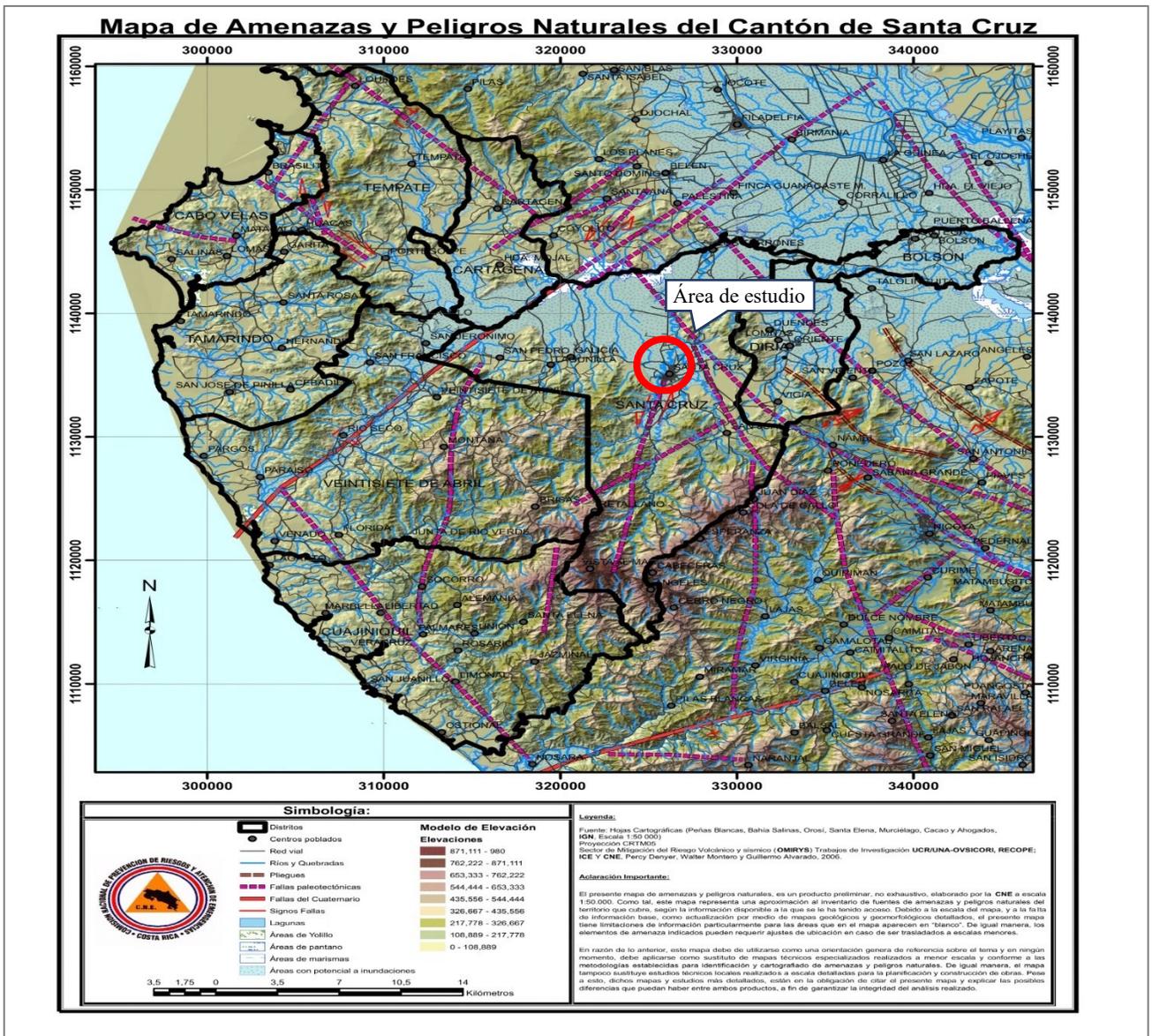
<sup>1</sup> **Terciarias:** Sector de la economía compuesto por actividades proveedoras de servicios (Roark, et al., 2013).

Según las características climáticas de la zona de estudio, esta se define como Bosque Seco de transición a Húmedo. Además (Fournier, 2015, p.15) destaca que esta zona se extiende desde la frontera con Nicaragua hasta el Río Seco en la cercanía de la población de los Pochotes, asimismo, Filadelfia, Palmira, Belén, Palestina y sus alrededores muestran el ambiente de la zona.

#### 2.2.6 Zonas de vulnerabilidad

El acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz, según la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), se encuentra ubicado dentro de las zonas más vulnerables a sufrir el impacto de las inundaciones (Figura 4). Esta condición, se adjudica a que el cantón al que pertenece este acueducto posee una red fluvial bien definida, la cual cuenta con un grupo de ríos y quebradas que se pueden considerar el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas (CNE, 2006, p. 2).

Además, es importante indicar que, según información histórica detallada por CNE, (2006) las inundaciones que impactan la comunidad de Barrio Limón se presentan debido al desbordamiento del Río Diríá.



**Figura 4.** Mapa de amenazas para el cantón de Santa Cruz.

Fuente: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), 2006.

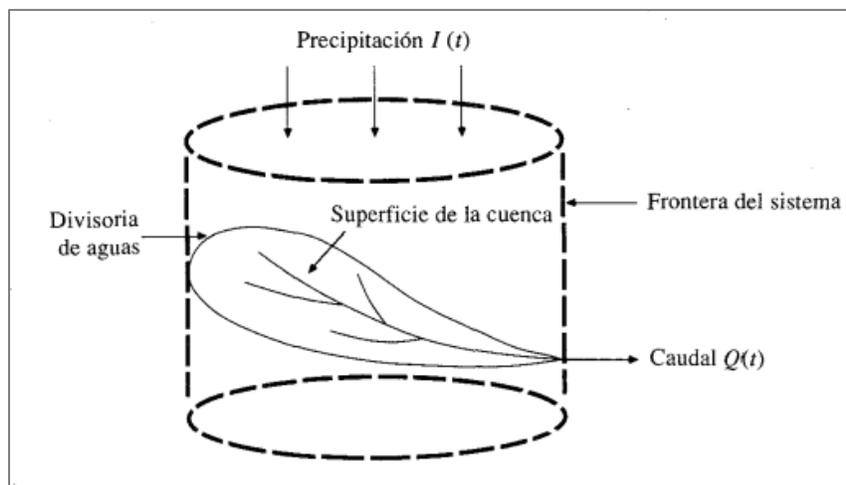
## CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

Este capítulo constituye la base teórica que cimentan el tópico de estudio y nos acerca, a lo que posteriormente será el desarrollo de la investigación. La composición estructural del presente capítulo se describe en los siguientes cuatro apartados principales.

### 3.1 Conceptos hidrológicos

#### 3.1.1 Cuenca hidrográfica

Por analogía, una cuenca hidrográfica es la unidad básica de un análisis hidrológico, esta puede definirse como “una estructura o volumen en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas, que operan entre ellas internamente y las produce como salidas” (Chow, 1994, p. 8).



**Figura 5.** La cuenca como un sistema hidrológico.

Fuente: (Chow, 1994, p.8)

#### 3.1.2 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el foco central de estudios de hidrología; este ciclo, describe los procesos de almacenaje y movimiento del agua en una cuenca hidrográfica (Ordoñez, 2011, p.10).

Este concepto lleva consigo el proceso en el que ocurre el movimiento del agua en sus diferentes estados desde un lugar a otro, por tanto, Chow (1994, p. 2) refiere a este proceso como un ciclo sin principio ni fin, en el que las interacciones del agua ocurren de forma continua.

#### 3.1.3 Precipitación

Generalmente, se denomina precipitación a “toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra en forma líquida o sólida” (Ordoñez, 2011, p.11). Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica,

la precipitación, constituye principal entrada del agua en un sistema o cuenca hidrográfica (Musy, 2001).

*a. Duración de las precipitaciones*

La duración de las precipitaciones hace referencia al tiempo, en el que un volumen de agua cae sobre un área determinada (Vide, 1998, p.11). En múltiples casos, la duración de la precipitación tiene una mayor probabilidad de incidencia a la formación de inundaciones que la cantidad de lluvia caída (Uriarte, 2006, p.21).

*b. Intensidad de precipitación*

Como laude Uriarte, (2006) por intensidad de precipitación se entiende a la cantidad de precipitación que cae sobre un área determinada en un tiempo dado.

### 3.1.4 Escorrentía

Este elemento se define como la parte del agua de una precipitación que no se infiltra y fluye libremente sobre la superficie de un terreno (Gaspari et al., 2006, p.22).

En términos generales, la escorrentía surge como resultado de la interacción entre diversos factores tales como: precipitación, uso y relieve del suelo (Paz, 2004, p.3), dando por lugar a uno de los principales elementos, que inciden en la formación de inundaciones.

## **3.2 Características hidrometeorológicas**

### 3.2.1 Clima

De acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), se define como clima, a las condiciones meteorológicas estadísticas representativas de un lugar determinado.

### 3.2.2 Eventos hidrometeorológicos

Los eventos hidrometeorológicos, son fenómenos que se originan producto de las interacciones de la atmósfera en un momento y sitio determinado (Pérez- Briceño, et al., 2016, p.3).

*a. Eventos hidrometeorológicos extremos (EHE)*

Según el (Instituto Meteorológico Nacional, 2020, p.15) se denominan eventos hidrometeorológicos extremos, a aquellos eventos de precipitación que sobrepasa los valores umbrales ya sea el déficit o superávit de la variable climática y que, además, generan una alta magnitud de impacto.

### 3.2.3 Inundaciones

Según el glosario internacional de hidrología de la UNESCO (2012, p.24), el término inundación alude al aumento del nivel del agua sobre una superficie o cauce fluvial de referencia, el cual puede ocasionar perdidas, ambientales, económicas y de infraestructura.

### 3.3 Características de la cuenca hidrográfica

La caracterización de la cuenca se realiza en virtud de cuantificar las variables que la tipifican, en aras de conocer las condiciones características que pueden incidir sobre los recursos naturales y económicos en dichas cuencas (Zambrana, 2008, p.3). Por tanto, para entender la importancia de las cuencas hidrográficas en los estudios de hidrología, es importante conocer la relación entre los conceptos de espacio y territorio de estas unidades.

#### 3.3.1 Características de forma

Las principales características de una cuenca hidrográfica según Cardona (2016) se describen a continuación:

##### *a. Área*

Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido-directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en km<sup>2</sup>.

“Probablemente este sea el factor más importante en la relación escorrentía-características morfológicas” (Ibáñez-Asensio, et al., 2011, p.5).

##### *b. Perímetro de la cuenca*

El perímetro de la cuenca (P), es la longitud sobre un plano horizontal que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en kilómetros, por consistencia para cálculos posteriores.

##### *c. Factor de forma de Horton*

El factor de forma es un parámetro que relaciona las dos variables anteriores para definir la forma de la cuenca. Este parámetro se calcula de la siguiente manera:

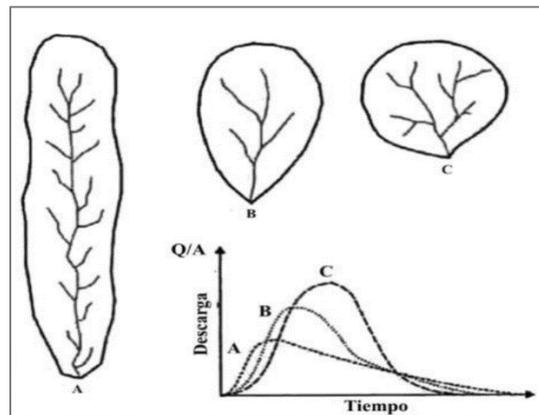
$$Kf = \frac{A}{(L^2)} \text{ (Ecuación 1)}$$

Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

**Tabla 2.** Clase de forma según factores de Horton

Rangos Kf	Clase de forma	Tipo de forma según hidrograma de salida
0.01 – 0.18	Muy poco achatada	A
0.19 – 0.36	Ligeramente achatada	B
0.37 – 0.54	Moderadamente achatada	C

Fuente: (Villón, 2002)



**Figura 6.** Efecto de la forma de la cuenca en los hidrogramas de salida.

Fuente: (Cardona, 2013).

*d. Índice de compacidad*

El índice de compacidad ( $I_c$ ), es un parámetro que relaciona el efecto de la forma de la cuenca con el patrón de la escorrentía. Se define como el cociente adimensional del perímetro de la cuenca ( $P$ ) y el perímetro de un círculo ( $P_c$ ) que tenga una superficie igual a la de la cuenca:

$$I_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}} \text{ (Ecuación 2)}$$

El valor que toma esta expresión es siempre mayor que la unidad y crece con la irregularidad de la forma de la cuenca, para este índice se establece la siguiente clasificación:

**Tabla 3.** Forma de la cuenca de acuerdo con el índice de compacidad

Clase de forma	Índice de compacidad ( $I_c$ )	Forma de la cuenca
Clase I	$1 < I_c < 1.25$	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	$1,25 < I_c < 1.50$	Oval – redonda a oval oblonga
Clase III	1.50 o más de 2	Oval oblonga – rectangular oblonga

Fuente: (Cardona, 2016, p.4).

#### *e. Pendiente de la cuenca*

La pendiente de la cuenca se refiere al porcentaje de inclinación que se presenta producto del cambio de altura en una cuenca (Quijano, 2014, p.18). En términos hidrológicos, este parámetro cumple un papel importante, puesto que influye directamente en la variabilidad del parámetro de escurrimiento situación que tiende a aumentar la probabilidad de ocurrencia de inundaciones (Romero-Cruz, et al., 2015, p.3).

### **3.4 Caracterización hidráulica en acueductos**

Los sistemas de abastecimiento de agua de consumo humano, consiste en múltiples sistemas de obras ingenieriles interconectadas que permiten dirigir el recurso hídrico desde la toma o captación, hasta los puntos de consumo o usuario (Angarita & Meléndez, 2009, p.66). Dentro de este contexto se pueden mencionar los siguientes elementos:

#### **3.4.1 Captación**

Este concepto alude a todas aquellas obras de infraestructura hidráulicas, utilizadas para captar el agua con que las que se va a abastecer a una determinada población (Rivera & Suarez, 2018, p.33).

#### **3.4.2 Tanques de almacenamiento**

En sistemas de agua potable, estas estructuras son utilizados para el almacenaje de los volúmenes de agua requeridos para satisfacer la demanda de la población. En ocasiones, cumplen una doble función puesto que, se utilizan para la regular los niveles de presión en las tuberías de distribución en aras de garantizar un servicio eficiente (García, 2019, p.21).

#### **3.4.3 Tuberías**

##### *a. Tubería de impulsión*

Es el tramo de tubería u obra hidráulica que transporta el agua desde fuentes de agua subterráneas (pozos), hacia los tanques de almacenamiento o u otro tipo de infraestructura utilizada para la contención de agua en un acueducto (García, 2019, p.28).

##### *b. Tubería de conducción*

Se conoce como tubería de conducción a las obras hidráulicas encargadas de conducir el agua desde la toma o captación, hasta un punto en específico como lo es un tanque de almacenamiento (Jiménez, 2013, p.89).

*c. Tubería de distribución*

La tubería de distribución hace referencia al conjunto de tuberías y estructuras hidráulicas que transportan el agua desde el tanque de almacenamiento hasta los lugares de suministro (Rivera & Suarez, 2018, p.36).

### **3.5 Generalidades para la evaluación de riesgos por inundaciones**

La evaluación del riesgo ante desastres naturales como las inundaciones, requiere de la interpretación de conceptos claves de los cuales UNISDR (2016) menciona los siguientes:

#### 3.5.1 Amenaza

Se conoce como amenaza a cualquier condición peligrosa que pueda ocasionar un impacto negativo en propiedades, salud humana, medios de sustento, así como servicios sociales, económicos o ambientales (Arteaga & Ordóñez, 2019, p.14).

*a. Amenaza hidrometeorológica.*

Un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos en la salud, al igual que afectaciones al ambiente, servicios sociales, económicos o medios de sustento (Instituto Meteorológico Nacional, 2020).

#### 3.5.2 Desastre

Suceso que causa destrucción de infraestructuras, medio natural, así como pérdidas económicas y alteración del funcionamiento “normal” de un sitio (Paniagua & Rodríguez, 2019, p.6).

#### 3.5.3 Exposición

Se conoce como exposición a las condiciones que ubican al ser humano y sus medios, dentro de una zona con una alta probabilidad de impacto ante un peligro. Comúnmente, los niveles de exposición tienden a relacionarse por ausencia de políticas de planificación, así como a los procesos de crecimiento demográfico desordenado (Martínez, 2017, p.28).

#### 3.5.4 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad está referida al nivel de exposición ante una amenaza que se presenta en un medio, población o servicio, debido de las características o circunstancias propias de un lugar (UNISDR, 2016, p.35).

#### 3.5.5 Riesgo

Es posible entender este concepto, como la probabilidad con que pueda ocurrir un evento y su relación con consecuencias negativas (UNISDR, 2016, p.29), en los casos más simples, un riesgo se puede representar como:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \text{ (Ecuación 3)}$$

#### 3.5.6 Evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo alude a los procesos utilizados para identificar y determinar las posibles amenazas, vulnerabilidades de un medio y su entorno, con la finalidad de desarrollar e implementar medidas de prevención, mitigación o reducción de riesgos para reducir la probabilidad de daños ante el impacto de un determinado evento (Paniagua & Rodríguez, 2019, p.6).

#### 3.5.7 Prevención del riesgo

Se puede definir a este concepto como las medidas y/o acciones tomadas de manera anticipada, con el objetivo de evitar los impactos adversos ocasionados por un desastre (Inca-Carrillo, 2013, p.46).

#### 3.5.8 Mitigación

Tal como alude UNISDR (2016, p.21), la mitigación se refiere a las estrategias implementadas para disminuir los impactos adversos producidos por una amenaza o desastre.

#### 3.5.9 Resiliencia

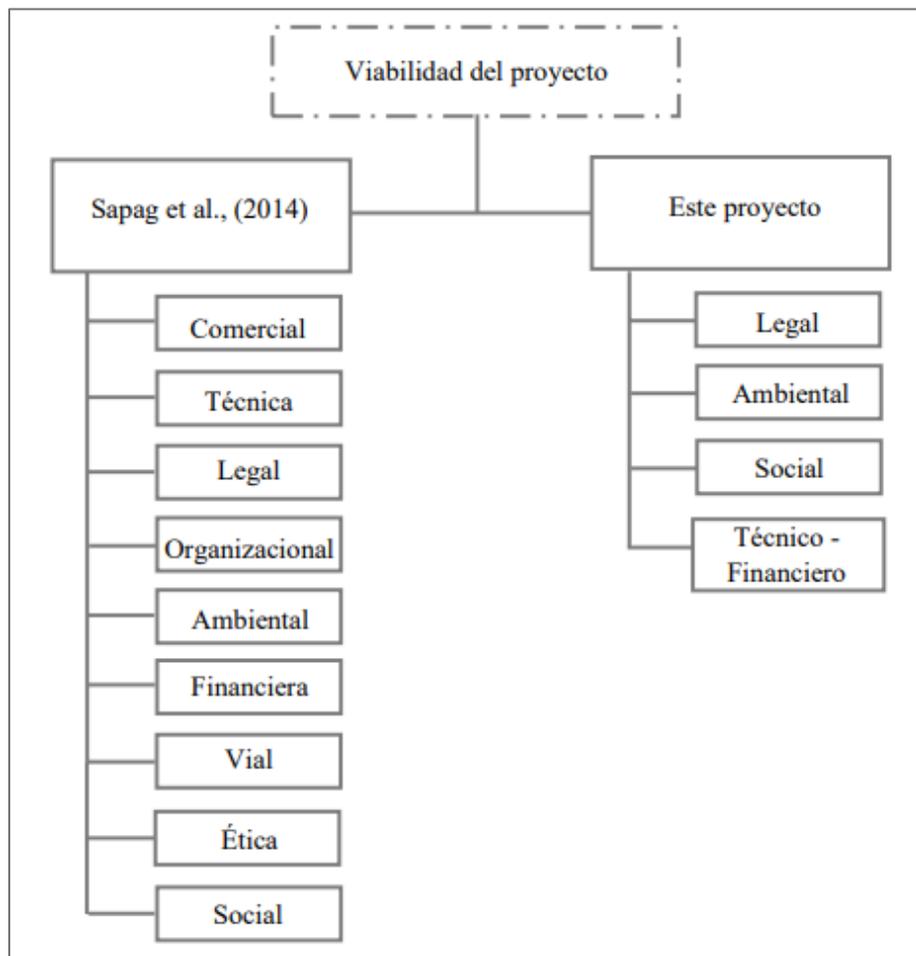
La resiliencia, está referida a la capacidad de recuperación del ser humano y el medio con el que interactúa, para solventar el impacto producido ante la ocurrencia de una amenaza (Martínez, 2017 p.125).

## CAPÍTULO 4. ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD

En este capítulo se detalla el análisis de la viabilidad para la realización del proyecto, para ello, se toma como referencia la metodología propuesta por Sapag, et al., (2014) en el libro de “Preparación y evaluación de proyectos”, sexta edición.

De acuerdo con Sapag, et al., (2014, p. 25), la realización de un proyecto “debe de responder a un estudio previo de las ventajas y desventajas asociadas a su implementación”, mediante el desarrollo de un análisis multivariado dentro del que se contemplan: viabilidad comercial, técnica, legal, organizacional, de impacto ambiental, financiera, vial, ética y social.

No obstante, se identifica que en respuesta a la naturaleza de este proyecto la viabilidad responde al análisis legal, ambiental, social y técnico-financiero.



**Figura 7.** Comparación de viabilidad del proyecto

Fuente: Elaboración propia, 2021.

#### 4.1 Estudio de prefactibilidad legal

Para garantizar la legalidad de ejecución del presente proyecto, se realiza una revisión documental exhaustiva del marco regulatorio legal de Costa Rica, y su vinculación con la gestión de riesgos por inundaciones, en aras de identificar los principales lineamientos legales, que sustentan la ejecución de este tipo de proyectos.

##### 4.1.1 Marco legal

El marco legal aplicable de este proyecto se fundamenta bajo la estructuración jerárquica de leyes propuestas por Hans Kelsen, “donde el primer escalón de jerarquía legal es lo que estipula la Constitución Política, seguido de Tratados y Convenios Internacionales, Leyes, Decretos, Reglamentos y Normas” (Castillo, 2021, p.21).

En ese sentido, la principal documentación que respalda el orden jerárquico mencionado con anterioridad se presenta a continuación:

**Tabla 4.** Marco legal del proyecto

<b>Ordenamiento Jerárquico</b>	<b>Artículo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Constitución Política de Costa Rica</b>	50	Establece que toda persona tiene el derecho humano, básico e irrenunciable de acceso al agua potable. Por tal razón, este estudio pretende evaluar el impacto por inundaciones en acueductos, con el fin de minimizar riesgos que puedan suponer una afectación en el acceso al agua potable de las poblaciones.
<b>Ley Nacional y Prevención del Riesgo N°8488</b>	8	Detalla la inclusión de criterios de prevención y mitigación de riesgos, en diferentes órganos o entes del estado, en aras de promover estrategias que permitan la gestión de riesgos.
<b>Ley Nacional y Prevención del Riesgo N°8488</b>	14	Este artículo destaca a CNE como la entidad rectora de las evaluaciones y mitigación de riesgos. No obstante, según el inciso f de la presente ley, se permite el desarrollo de investigaciones entre otros tipos de estudios, orientados a la prevención y mitigación de desastres, así como los preparativos para enfrentarlos.
<b>Ley General de la Salud N°5395</b>	267	Menciona que cualquier sistema de abastecimiento de agua potable debe de garantizar el suministro de este recurso de forma continua.

<b>Ley de Planificación Urbana N°4240</b>	1	Promueve el análisis integral para la formulación de planes necesarios para garantizar la seguridad, comodidad y bienestar de las comunidades.
<b>Decreto Ejecutivo N° 32529-S-MINAE</b>	1	El inciso 2 de este decreto, reglamenta que las ASADAS son responsables de la construcción, mantenimiento, reposición y sostenimiento de las obras de infraestructuras utilizadas para el aprovechamiento del recurso hídrico.
<b>Decreto Ejecutivo N° 32529-S-MINAE</b>	1	Según el inciso 21, las ASADAS deben de realizar con frecuencia acciones que prevengan daños, en los sistemas de acueductos con el fin de minimizar costos de reparación e interrupciones en el servicio de agua potable.

Fuente: Adaptado de (Castillo, 2021, p.16).

Con base a los fundamentos establecidos en la Tabla 4, se concluye que existe una viabilidad legal para el desarrollo del proyecto en cuestión puesto que, no se encuentran lineamientos que impidan la realización del mismo.

#### **4.2 Estudio de prefactibilidad ambiental**

Para analizar la viabilidad ambiental de este proyecto, se toma como referencia el reglamento de Evaluaciones de Impacto Ambiental estipulado por SETENA, en el que se enlistan los estudios, proyectos u obras de forma taxativa, según el estándar internacional del sistema de Clasificación Industrial Uniforme de todas las actividades productivas (Feoli-Peña, 2005, p.31).

En fundamento a lo anterior, SETENA categoriza a los impactos ambientales como:

**a) Categoría A:** Comprende las actividades, obras o proyectos considerados de “Alto Impacto Ambiental Potencial”, en función de los potenciales efectos ambientales en que se desarrolla una actividad.

**b) Categoría B:** Corresponde a las actividades, obras o proyectos, en el que los potenciales efectos al ambiente son considerados como “Moderado Impacto Ambiental Potencial”. Dentro de esta categoría, se puede encontrar a su vez dos subdivisiones la cuales corresponden:

- **Subcategoría B<sub>1</sub>:** Moderado – Alto Impacto Ambiental Potencial

- **Subcategoría B<sub>2</sub>:** Moderado – Bajo Impacto Ambiental Potencial

**b) Categoría C:** Corresponde a las actividades, obras o proyectos, en el que las dimensiones de los potenciales efectos al ambiente permiten categorizarlos como “Bajo Impacto Ambiental Potencial”.

Aunado a lo anterior, La Comisión Plenaria dicta en el Artículo N°5 de la Resolución N°2373-2016-SETENA como “Proyecto de Muy Bajo Impacto”, a las siguientes actividades relacionadas con el desarrollo del presente estudio:

**Tabla 5.** Relación de las actividades de la Resolución N°2373-2016-SETENA y el proyecto

<b>Actividad</b>	<b>Descripción SETENA</b>	<b>Adaptación al proyecto</b>
2	Operación y mantenimiento de captaciones de agua y casetas de bombeo y su equipo en sistemas de distribución de agua existentes.	Este proyecto pretende que la herramienta de evaluación de riesgos por inundaciones permita mejorar las condiciones de operación y mantenimiento en los sistemas de acueductos.
33	Reparación, rehabilitación, mantenimiento en la red sanitaria, red de acueducto y red de aguas pluviales, ya existentes, que no implique aumento en la cobertura del área del proyecto.	Se prevé que el desarrollo de este estudio contribuya a la optimización de los servicios de reparación, rehabilitación y mantenimiento de las redes de acueductos.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se ubica a este proyecto dentro de la Resolución N°2373-2016-SETENA, por tanto, se puede afirmar que su desarrollo no está obligado a realizar estudio de impacto ambiental, con el fin de obtener la viabilidad ambiental, puesto que se considera como un proyecto de “Muy Bajo Impacto Ambiental”. A razón de lo anterior, se concluye que el estudio en cuestión es factible ambientalmente.

#### 4.3 Estudio de prefactibilidad social

En este apartado, se expone la vinculación de todos los actores sociales cuyas actividades se relacionan por múltiples circunstancias de manera directa e indirecta ante la ejecución del proyecto (Sobrero, 2009, p.18). A razón de lo anterior, se identifican los siguientes actores sociales:

**Tabla 6.** Vinculación social del proyecto

<b>Relación con el proyecto</b>	<b>Actores sociales</b>
<b>Directa</b>	1. Administración de ASADA Barrio Limón 2. Abonados
<b>Indirecta</b>	1. Municipalidad de Santa Cruz 2. AyA

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como beneficiarios directos, se reconoce en primera instancia a la administración de la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz puesto que se prevé, que los insumos generados mediante la ejecución

del presente trabajo permitirán a esta institución mejorar su capacidad de respuesta ante la atención de riesgos por inundaciones en el acueducto. Asimismo, se espera que todos los abonados que conforman esta ASADA obtengan un beneficio directo, mediante una prestación del servicio de agua potable de mayor calidad.

Por otro lado, los beneficiarios indirectos corresponden a las instituciones responsables de promover el desarrollo de organizaciones como son las ASADAS.

Por tal razón, para conocer la percepción social ante el tema propuesto, se realiza una recopilación de información a partir de la aplicación de encuestas la cual constó de tres preguntas y fue realizada vía telefónica y por correo electrónico. Para su desarrollo, se seleccionó como criterio de selección de muestreo, la percepción de un actor social representativo de cada beneficiario directo e indirecto del proyecto.

Para llevar a cabo este análisis, las preguntas de recopilación de información realizadas fueron las siguientes:

1. ¿Considera usted que es necesaria el desarrollo de una “Propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos”?
2. ¿Consideran que la propuesta planteada puede traer algún beneficio a la comunidad?
3. ¿Existe alguna posición negativa que pueda usted argumentar para que este proyecto no se lleve a cabo?

Se destaca que la percepción de los actores sociales ante el primer interrogante revela el interés por contar con información que sea de utilidad, para poder atender de la mejor manera las dificultades que se presenten durante y después del impacto de las inundaciones en sistemas de acueductos; principalmente fundamentados en el hecho de que existe una carencia de información que guíe ante la atención de estos eventos en el país.

En relación con la segunda interrogante, cada uno de los actores sociales consideran que este proyecto puede beneficiar positivamente a la comunidad donde se desarrolla el estudio. De igual manera, Liany Alfaro trabajadora del AyA para la Oficina Regional de Acueductos Comunales de la región chorotega (ORAC) alude a que “partiendo de la gran necesidad de abordaje ante temas de atención de emergencias por inundaciones, se consideran valiosas y beneficiosas todas aquellas iniciativas que se puedan desarrollar entorno a este trabajo”.

En cuanto a la tercer y última interrogante, la totalidad de los entrevistados consideran que no existen argumentos para considerar una posición negativa que impidan el desarrollo de este proyecto.

En base a las consideraciones descritas anteriormente, se concluye que el proyecto cuenta con factibilidad social, ya que no existe ningún argumento por parte actores sociales que impida la continuidad del trabajo en cuestión.

#### 4.4 Estudio de prefactibilidad técnico-financiero

Esta sección se compone del análisis conjunto del estudio técnico y financiero, ya que se considera que ambos aspectos, componen la inversión total requerida para el desarrollo del estudio. En ese sentido, el mismo se detalla a continuación:

##### 4.4.1 Prefactibilidad técnica

Para garantizar la viabilidad técnica de ejecución del proyecto, se evalúa el monto de la inversión de las herramientas tecnológicas utilizadas, así como los recursos y materiales necesarios para la obtención y procesamiento de información necesaria para este estudio. De forma sistematizada, en la Tabla 7 se muestran dichas herramientas y el balance de costos de inversión.

**Tabla 7.** Herramientas utilizadas para la obtención y procesamiento de información

Herramienta	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Microsoft Excel 2019	6	₡ 3,700.00	₡ 22,200.00
Software de sistemas de información geográfica (ArcGIS estudiante y QGIS)	1	₡ -	₡ -
Equipo GPS	1	₡ 185,000.00	₡ 185,000.00
Computadora	1	₡ 320.00.00	₡ 320,000.00
<b>TOTAL</b>			₡ 527,200.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

##### 4.4.2 Prefactibilidad financiera

Los estudios financieros, permiten abordar un escenario analítico para la determinación de la rentabilidad de un proyecto, mediante la sistematización de información de carácter monetario (Sapag et al., 2014, p.34).

En razón de lo anterior, este apartado evalúa la rentabilidad del presente estudio, mediante la integración de los costos directos e indirectos generados por las actividades realizadas para el desarrollo del proyecto.

a. Costos de inversión

Las inversiones son uno de los puntos primordiales, en relación con la evaluación de un proyecto; ya que pueden llegar a representar grandes desembolsos para la puesta en marcha de un proyecto. Se detalla a continuación la inversión inicial para el desarrollo de este proyecto:

i. *Costos directos*

**Tabla 8.** Costos directos

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Levantamiento de infraestructura del acueducto	1	€ 1 000,000.00	€ 1 000,000.00
Transporte y Alimentación (Giras)	9	€ 7,000.00	€ 63,000.00
<b>TOTAL</b>			€ 1 063,000.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

ii. *Costos indirectos*

Los costos indirectos son aquellas inversiones que se relacionan con las tareas previstas para la ejecución del proyecto. A efectos de este estudio, se estiman los siguientes costos indirectos.

**Tabla 9.** Costos indirectos

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Alquiler equipo de precisión	1	€ 50,000.00	€ 50,000.00
Servicio telefónico	1	€ 24,000.00	€ 24,000.00
Servicio de internet	1	€ 20,000.00	€ 20,000.00
<b>TOTAL</b>			€ 94,000.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 10.** Otros costos

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Servicios profesionales donados	1	€ 565,120.00	€ 565,120.00
Subtotal		€ 2,249,320.00	
Imprevistos	3%	----	€ 67,479.60
IVA	13 %	----	€ 301,183.95
<b>TOTAL</b>			€ 2,617,983.55

Fuente: Elaboración propia, 2021.

#### b. Inversión

A partir de los costos de prefactibilidad técnica y prefactibilidad financiera detallados en los apartados 4.4.1 y 4.4.2, se estima que el monto e inversión total requerido para el desarrollo del proyecto es de ₡ 2,617,983.55 colones

#### 4.4.3 Costos ahorrados

A continuación, se muestra en la siguiente tabla una estimación de los montos de inversión realizados por la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, para subsanar pérdidas ocasionadas por el impacto de eventos extremos de inundaciones.

**Tabla 11.** Costos ahorrados

Descripción	Metrado/ Unidad	Cantidad / Metrado	Costo unitario	Costo total
Reposición de tubería de impulsión (100 mm)	65	11	₡ 75,200.00	₡ 827,200.00
Reposición de tubería de distribución (150 mm)	65	11	₡ 166,600.00	₡1,832,600.00
Rehabilitación tanque de almacenamiento	1	56	₡ 40,000.00	₡2,240,000.00
Potabilización del agua	1	1	₡ 200,000.00	₡ 200,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>₡5,099,800.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

#### 4.4.4 Flujo de caja

Se estima que la ejecución del proyecto se realice en un periodo de 5 meses, para dicho periodo la inversión total de ₡ 2,617,983.55, será financiada un 75% por la empresa Grupo Empresarial El Encanto OC S.A y en un 25% por la autora.

En ese sentido, se contemplan que para el “mes cero” el ingreso será el monto total de inversión requerido para iniciar la ejecución del proyecto. Posteriormente, para el periodo de 5 meses (“mes 1” a “mes 5”) se proyecta una deducción de costos fijos<sup>2</sup> especificados en apartados anteriores. Por lo anterior, se en la Tabla 12, se presenta a detalle el ingreso y deducciones del proyecto para el período de ejecución.

<sup>2</sup> Costos fijos: Costos que permanecerán constantes durante el desarrollo de un proyecto (Sapag et al., 2014).

**Tabla 12.** Flujo de caja del proyecto

<b>Flujo de caja</b>						
<b>Rubro</b>	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
<b>Flujo del mes</b>	0	€ 397,463.55	€ 379,763.55	€ 376,063.55	€ 372,363.55	€ -
<b>Ingreso</b>	€ 2,617,983.55					
<b>Herramientas</b>						
Microsoft Excel 2019		€ 3,700.00	€ 3,700.00	€ 3,700.00	€ 3,700.00	€ 7,400.00
Software de sistemas de información geográfica (QGIS)	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Equipo GPS		€ 185,000.00				
Computadora		€ 320,000.00				
<b>Costos directos</b>						
Levantamiento de infraestructura del acueducto		€ 1,000,000.00				
Transporte y Alimentación (Giras)		€ 38,500.00	€ 38,500.00			
<b>Costos indirectos</b>						
Alquiler equipo de precisión		€ 50,000.00				
Servicio telefónico		€ 24,000.00				
Servicio de internet		€ 20,000.00				
<b>Otros</b>						
Servicios profesionales donados		€ 565,120.00				
Imprevistos						€ 67,479.60
IVA						€ 301,183.95
<b>Total de gastos</b>		€ 2,206,320.00	€ 42,200.00	€ 3,700.00	€ 3,700.00	€ 372,363.55

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Por otra parte, es importante mencionar que los indicadores de Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) no son evaluados para el análisis de la rentabilidad del proyecto, puesto que se estima, que la recuperación de la inversión se asocia directamente con los costos evitados, mismos

que se encuentran definidos por el impacto de un evento de inundación de gran magnitud cuyo periodo de recurrencia es desconocido.

De acuerdo con el análisis proporcionado se concluye el estudio presenta viabilidad técnica - financiera puesto que, los gastos son cubiertos en su totalidad.

#### **4.4 Conclusión general**

A partir del análisis de la viabilidad legal, ambiental, social y técnico-financiero descritas en el presente capítulo, se concluye que el proyecto es viable en cada una de dichas áreas evaluadas, por lo anterior, es posible continuar con el desarrollo de este.

Fundamentado en la viabilidad de ejecución del proyecto, se presenta en el capítulo siguiente la metodología propuesta para el cumplimiento de los objetivos del trabajo en cuestión.

## CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

En este capítulo se detallan los aspectos referentes al tipo de investigación empleada, técnicas de recolección de información y aspectos metodológicos utilizados, para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos del trabajo en cuestión.

### 5.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que se centra en la implementación de diversas estrategias que permitan responder ante una problemática; en este caso se busca aplicar los conocimientos adquiridos, con la finalidad de plantear una propuesta metodológica, para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos.

Así mismo, esta investigación integra un enfoque cualitativo, puesto que realiza un análisis de datos no cuantificables obtenidos a través de la aplicación de entrevistas, tal como se desarrolla en el capítulo IV, así como en la búsqueda de información teórica inicial para la realización de este estudio. A su vez, se relaciona de forma cuantitativa ya que se evalúan variables propias de un estudio de riesgos, como lo son valores de vulnerabilidad, amenaza, entre otros.

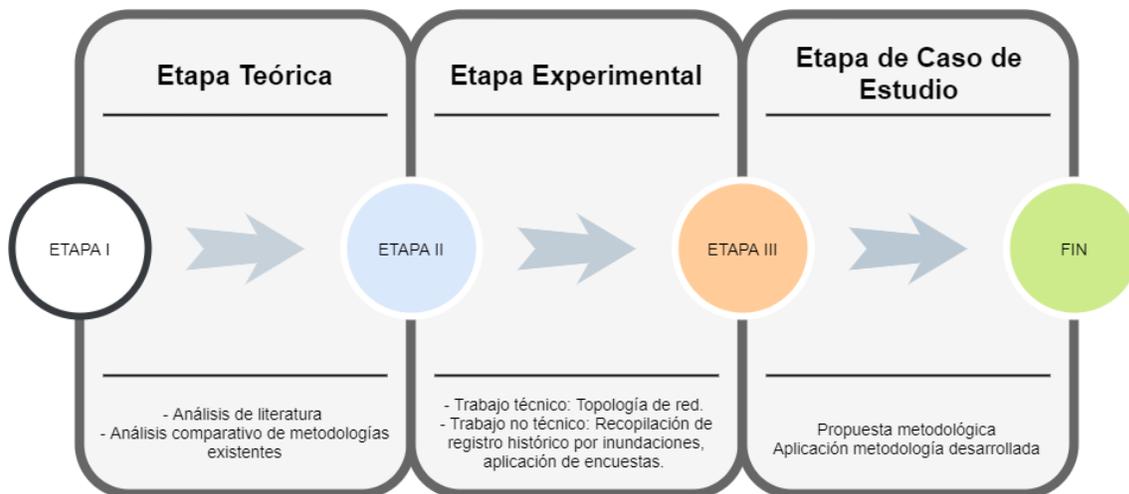


**Figura 8.** Integración de enfoques a la investigación aplicada.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 5.2 Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación cuenta con un procedimiento metodológico dividido en tres etapas principales, tal como se muestran en la siguiente figura.



**Figura 9.** Etapas de la investigación.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 5.2.1 Etapa Teórica

Esta primera etapa consiste en la evaluación teórica inicial del trabajo, para ello se realiza una revisión de artículos científicos, manuales, tesis, entre otros tipos de literatura con contenido relevante, vinculado a la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones.

Además, dentro de esta etapa se realiza una revisión comparativa de guías metodológicas internacionales, empleadas para el análisis de vulnerabilidad y reducción de riesgos por desastres naturales. Esta revisión permitió identificar estrategias y elementos comunes utilizados entre las guías congruentes con los objetivos del presente trabajo.

#### 5.2.1.1 Estrategia de búsqueda

Se seleccionaron diversas fuentes de documentación confiables dentro de las que se destacan revistas científicas tales como SciELO, Redalyc; así como repositorios universitarios del país: Universidad Nacional Costa Rica, Instituto Tecnológico Nacional, Universidad de Costa Rica y de centros especializados para la evaluación de riesgos y desastres como lo es el CENEPRED.

A partir de lo anterior, la delimitación de la información se efectuó mediante la utilización palabras claves como: “riesgos por inundaciones”, “evaluación de riesgos”, “mitigación de riesgos” y “reducción de riesgos”, mismas que se utilizan como base para la formulación de múltiples combinados de palabras.

### 5.2.2 Etapa Experimental

El esquema estructural de esta segunda etapa está conformada a partir de la realización de trabajo técnico<sup>3</sup> y trabajo no técnico. Para ello, en coordinación con la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, se efectúan diversos trabajos de campo en aras de evaluar la infraestructura del acueducto, así como los niveles del riesgo que componen al mismo.

En ese sentido, los pasos a desarrollar en esta etapa se describen a mayor detalle a continuación:

a. Trabajo técnico

i. *Levantamiento de infraestructura*

Para caracterizar las condiciones de los sistemas que componen el acueducto, se realiza mediante trabajo de campo, la evaluación de la topología de red de la ASADA a fin de obtener a detalle el trazado de la red, así como “la forma en que esta conectados los diferentes elementos que la componen” (Pérez-Coto, 2016, p.29).

b. Trabajo no técnico

i. *Revisión de registro histórico*

Se solicitó a la ASADA Barrio Limón, así como a la Municipalidad de Santa Cruz información de registro histórico sobre el impacto eventos hidrometeorológicos e inundaciones que han influenciado directamente en la zona de estudio.

ii. *Variables físicas de la investigación*

Se efectúa un análisis de las variables físicas que inciden en la respuesta de una cuenca ante eventos de precipitaciones. Para ello, se evaluaron factores condicionantes<sup>4</sup> tales como, área de la cuenca, perímetro de la cuenca, longitud del cauce principal, así como factores desencadenantes<sup>5</sup> como factor de forma, índice de compacidad, entre otros valores determinados mediante de la utilización de diversas ecuaciones matemáticas, tal como se puntualiza en la siguiente tabla.

---

<sup>3</sup> **Trabajo técnico:** Alude a los procedimientos realizados por medio de la ejecución práctica, orientadas a la recolección de información (Rojas-Crotte, 2011).

<sup>4</sup> **Factores condicionantes:** “Son factores propios del ámbito geográfico de estudio, el cual contribuye de manera favorable o no al desarrollo de un fenómeno de origen natural” (CENEPRED, 2014, p.11).

<sup>5</sup> **Factores desencadenantes:** “Son factores que desencadenan eventos o sucesos asociados que pueden generar peligros en un ámbito geográfico” (CENEPRED, 2014, p.12).

**Tabla 13.** Ecuaciones utilizadas para la determinación de variables físicas

Variable	Ecuación
Área (A)	La determinación de estas tres variables se realiza por medio del uso del software QGIS 3.10.10.
Perímetro de la cuenca (P)	
Longitud del cauce principal (L)	
Factor de forma	$Kf = B/L$ <p>B = Ancho medio de la cuenca (km) L = Longitud del cauce principal (km)</p>
Índice de compacidad	$Ic = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$ <p>P = Perímetro de cuenca (km) A = Área de la cuenca km</p>

Fuente: (Monslave, 1995) & (Castillo, 2021).

iii. Encuestas

Se utilizaron encuestas estructuradas<sup>6</sup> para obtener información de manera sistemática y ordenada, acerca de la percepción social sobre el riesgo por inundaciones en acueductos. Por tal razón, se desarrolló un cuestionario adaptado al tipo de información que se desea recoger (Hernández, et al., 2014), así como la programación de visitas a la ASADA, con el fin de asegurar la transparencia del proceso de recolección de datos.

- Selección de la muestra

El criterio muestral seleccionado para la realización de las encuestas se realiza a partir de un muestreo no probabilístico, este tipo de muestreo, se caracteriza porque las muestras pueden realizarse de manera arbitraria, basada en supuestos generales, así como criterios del investigador (Pimienta, 2000, p.265).

Un muestreo no probabilístico, puede subdividirse en distintas técnicas de recolección de información como pueden ser: por conveniencia, intencionados por cuotas, entre otros. En ese sentido, con la finalidad de valorar la percepción de los actores sociales involucrados en la realización de este proyecto, se utiliza el muestreo intencional como estrategia de obtención de datos, puesto que permite seleccionar muestras “aleatorias y representativas que permita hacer generalizaciones desde la muestra a una población mayor” (Pimienta, 2000, p.265).

<sup>6</sup> **Encuesta estructurada:** “Las preguntas se fijan de antemano, con un determinado orden y contiene un conjunto de categorías u opciones para que el sujeto elija. Se aplica en forma rígida a todos los sujetos del estudio”. (Díaz-Bravo, et al., p.2, 2013)

### 5.2.3 Etapa de caso de estudio: ASADA Barrio Limón

#### 5.2.3.1 Caso de estudio ASADA Barrio Limón

Tal como se plasma en el apartado 1.1, el presente trabajo toma como caso de estudio el acueducto de la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz.

La ASADA Barrio Limón es un acueducto que ha crecido sustancialmente en los últimos años de modo que, cerca de un 8% del total del distrito de Santa Cruz es abastecida de agua potable por este acueducto. Sin embargo, pese a su crecimiento como organización, esta ASADA se ha cimentado bajo un escenario carente de planificación y desarrollo organizativo en temas de prevención de riesgos, lo que ha contribuido a que eventos naturales como son las inundaciones, puedan generar daños y/o problemas que repercuten directamente en la comunidad de Barrio Limón.

En general, el acueducto de Barrio Limón es afectado por las inundaciones generadas por el desbordamiento del río Diríá a la altura de esta comunidad. Esta situación, ha contribuido al desarrollo de problemas en los sistemas que componen este acueducto; para ejemplificar durante la época de invierno este acueducto pierde la comunicación terrestre con el único elemento de almacenamiento de agua potable con el que dispone la ASADA aunado a ello, las inundaciones en el lugar han intensificado esta problemática, imposibilitando la atención y mantenimiento a este elemento del acueducto.

Otra de las problemáticas que se presentan se atribuyen a la pérdida de infraestructura en tuberías de impulsión y distribución las cuales conectan el tanque de almacenamiento con los demás elementos del sistema de abastecimiento de agua potable. Así mismo, parte de la percepción del lugar destaca que, el aumento de los niveles de turbiedad en agua de consumo durante las inundaciones es otro de los problemas que se presentan a causa de este tipo de eventos.

A grandes rasgos, es posible mencionar que, las problemáticas anteriormente descritas no solo afectan parte de la infraestructura que compone el acueducto, sino que, además contribuye a la vulnerabilidad de prestación del servicio, así como en el desarrollo mismo de organización de la ASADA Barrio Limón.

#### 5.2.3.2 Análisis jerárquico

Para la evaluación del caso de estudio<sup>7</sup> ASADA Barrio Limón, se integra como base fundamental la aplicación del método de análisis jerárquico propuesto por Thomas Saaty (1980) en conjunto con la

---

<sup>7</sup> **Caso de estudio:** “Es el estudio de la particularidad y de la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias importantes” (Stake, 1998).

herramienta técnica guía para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales realizada por CENEPRED (2014).

Ambas estrategias empleadas fueron seleccionadas bajo criterio del autor puesto que, de acuerdo con las investigaciones realizadas durante la formulación de este proyecto, existe limitada información acerca de métodos que permitan la evaluación de riesgos por desastres naturales como son las inundaciones. Aunado a lo anterior, las pocas investigaciones en torno a esta problemática integra el análisis jerárquico en conjunto con alguna herramienta técnica con el fin de complementarlas y obtener los mejores resultados posibles.

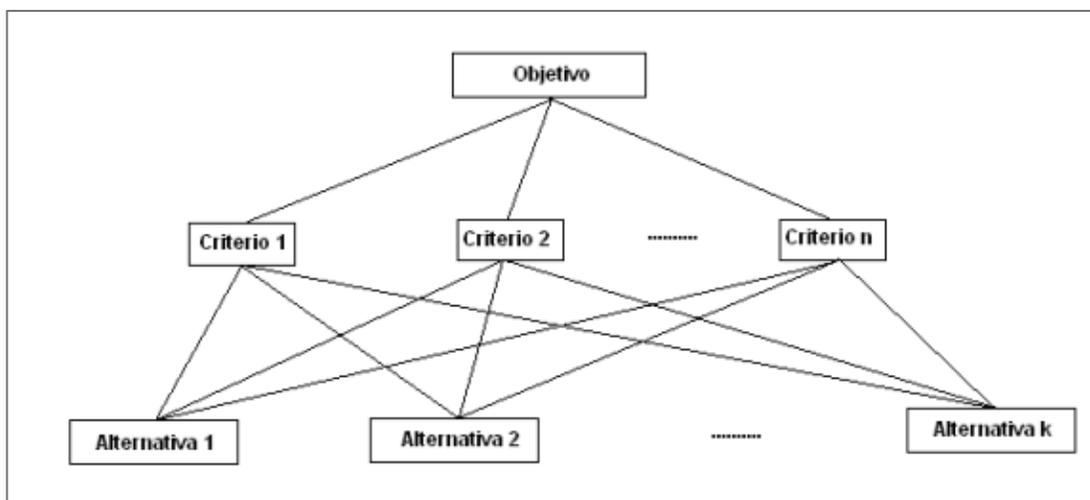
#### *5.2.3.1 Análisis jerárquico*

De acuerdo con (García & Fernández, 2010, p.62), el proceso analítico jerárquico conocido como AHP por su acrónimo en inglés, está diseñado para integrar un análisis multicriterio (Figura 10), “mediante la construcción de un modelo que permite de manera eficiente organizar la información respecto de un problema, descomponerla y analizarla por partes (subproblemas) para finalmente unir todas las soluciones en una conclusión” (Saaty, et al., 1980).

En ese sentido, tal como alude (Martínez, 2017), el proceso de análisis jerárquico de Saaty está fundamentado en:

- La estructuración de un modelo que representa un problema a través de la identificación de criterios evaluativos propuestos por el investigador.
- Priorización de elementos del modelo jerárquico.
- Evaluación de los elementos mediante grados de importancia.
- Análisis de sensibilidad de resultados.

Para efectos del presente trabajo, la construcción de este modelo se realiza a partir de todas las partes implicadas en las afectaciones de los acueductos ante una eventual inundación.



**Figura 10.** Ejemplo de proceso de análisis jerárquico.

Fuente: (García & Fernández, 2010, p.63).

a. Paso 1: Valoración de la información

La valoración de la información se realiza mediante una comparación subjetiva entre cada uno de los criterios que componen los niveles jerárquicos a evaluar. Para ello, se emplea como base parámetros descriptores cualitativos estipulados por la guía para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales de CENEPRED (2014).

En tal sentido, la comparación subjetiva se efectúa de acuerdo con el análisis de escala verbal de 1-9 sugerido por Thomas Saaty (1980), puesto que dicho análisis permite al decisor incorporar subjetividad, experiencia e intuición en el análisis. A razón de lo anterior, la escala verbal de AHP se justifica teóricamente a continuación:

**Tabla 14.** Escala de subjetividad de valores de Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1/3	Ligeramente menos importante	El primer elemento se considera ligeramente menos importante que el segundo
1/5	Menos importante	El primer elemento se considera menos importante que el segundo
1/7	Muchos menos importante que	El primer elemento comparado se considera mucho menos importante que el segundo

<b>1</b>	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o al criterio
<b>3</b>	Levemente más importante un elemento frente al otro	El juicio y la experiencia previa favorecen levemente a un elemento frente a otro
<b>5</b>	Notablemente más importante un elemento frente al otro	El juicio y la experiencia favorecen notablemente un elemento frente a otro
<b>7</b>	Fuertemente más importante un elemento frente al otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación esta probada en la práctica
<b>9</b>	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible
<b>2,4,6,8</b>	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Cuando es necesario expresarlo

Fuente: (García & Fernández, 2010, p.64).

Las comparaciones realizadas pueden representarse mediante valores numéricos establecidos según tabla de subjetividad verbal de Saaty (1980). Este metodo propone que la escala seleccionada se efectue en gran proporción valores según criterio del decisor.

b. Paso 2: Matriz de normalización

Una vez obtenidos los valores de subjetividad, se realiza una matriz de normalización de los niveles de jerarquización analizados. La matriz permite obtener valores ponderados en escala de 0 – 1, los mismos se obtienen mediante la multiplicación del valor inverso de las sumas totales por cada uno de los elementos de su columna correspondiente (Martínez, 2017, p.50).

c. Vector de priorización

La priorización de los resultados, se determina mediante el promedio de cada fila y columna; como resultado, la suma de cada valor de fila y cada columna debe de ser igual a una unidad.

Destacar que el vector de priorización indica la importancia o “peso” de cada parametro en evaluación (Derezin-Shulla, 2019, p.54), mismo que se compara con descriptores establecidos por Martínez, (2017).

d. Paso 4. Relación de consistencia

Se evalua la relación del coeficiente de consistencia (RC) el cual debe de ser menor al 10% ( $RC < 0.1$ ), puesto que establece que los criterios utilizados en los distintos niveles de jerarquización son los más adecuados.

El coeficiente de consistencia esta dado por:

$$RC = \frac{IC}{IA} \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

RC = Relación de consistencia

IC = Índice de consistencia

IA = Índice aleatorio

*i. Índice de consistencia*

Este índice se obtiene a partir de la división de la diferencia de  $\lambda$  máx y el número de datos utilizados en la matriz, entre el número de datos de la matriz menos uno. De forma que se expresa como:

$$IC = \frac{\lambda \text{ máx} - n}{n - 1} \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde:

$\lambda$  máx = valor de priorización ponderado de la matriz

- Determinación  $\lambda$  max

Esta variable se determina mediante la división de los valores del vector de suma ponderada y el vector de priorización.

$$\lambda \text{ máx} = \frac{\lambda}{\text{Vector de priorización}} \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde:  $\lambda$ : Es el vector de suma ponderada

*ii. Índice Aleatorio*

“Los valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes “n”, obtenidos mediante la simulación de 100,000 matrices, son” (Martínez, 2017, p.52):

**Tabla 15.** Valores de Índice Aleatorio

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Fuente: (Martínez, 2017, p.52):

*5.2.3.2 Análisis de vulnerabilidad.*

a. Análisis de los sistemas del acueducto expuesto a inundaciones

Para realizar el análisis de los sistemas del acueducto, se efectúa una evaluación en campo para identificar de cada uno de los elementos que se encuentran expuestos a sufrir daños derivados del impacto de inundaciones. Seguido, se definen parámetros de evaluación, así como sus ponderaciones

correspondientes de acuerdo con el proceso de análisis jerárquico planteado con anterioridad (apartado 5.2.3.1).

a. Niveles de vulnerabilidad.

Las escalas de los niveles de vulnerabilidad del acueducto se obtendrán durante el desarrollo de este trabajo. Las mismas se fundamentarán de acuerdo con los resultados de ponderación final obtenidos mediante la aplicación del análisis de jerarquización.

5.2.3.3 Evaluación de amenaza

Para determinar los niveles de amenaza, se realiza una identificación de los escenarios en campo, de las probables áreas de influencia de las inundaciones, así como los elementos expuestos dentro de las zonas bajo amenaza identificadas.

Al igual que para la evaluación de vulnerabilidad, el escenario de amenaza se delimita a partir de la aplicación del proceso de análisis jerárquico, con el que se definirán las escalas de amenazas presentadas en el acueducto.

b. Evaluación de riesgo

Para efectuar la evaluación de riesgo, se toma como referencia las áreas bajo amenaza y vulnerabilidad previamente identificadas. A partir del resultado, se le asigna un valor de riesgo en base al producto de amenaza por vulnerabilidad, tal como se expresa a continuación.

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Una vez obtenidos valores de riesgo, se establece un umbral significativo “que permita definir cuáles son las zonas que presentan impactos con mayor significación” (CENEPRED, 2015).

c. Matrices de análisis

Definidas las escalas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo propias del acueducto, se comparan los valores con una matriz de análisis definida por CENEPRED (2015), en la que se evalúa si el nivel de amenaza, vulnerabilidad o riesgo determinado es bajo, medio, alto o muy alto.

**Tabla 16.** Escala de semáforos empleados para la clasificación de niveles de amenaza y vulnerabilidad en los sistemas de acueductos

Nivel de Amenaza	Nivel de Vulnerabilidad	Rango
Muy Alta	Muy Alta	<b>0.260 ≤ R ≤ 0.503</b>
Alta	Alta	<b>0.134 ≤ R ≤ 0.260</b>
Media	Media	<b>0.068 ≤ R ≤ 0.134</b>
Baja	Baja	<b>0.035 ≤ R ≤ 0.068</b>

Fuente: (CENEPRED, 2015, p.140).

**Tabla 17.** Escala de semáforos empleados para la clasificación de niveles de riesgo

Nivel de Riesgo	Rango
Muy Alta	0.068 ≤ R ≤ 0.253
Alta	0.018 ≤ R ≤ 0.068
Media	0.005 ≤ R ≤ 0.018
Baja	0.001 ≤ R ≤ 0.005

Fuente: (CENEPRED, 2015, p.141).

### 5.3 Relación entre objetivos y diseño metodológico

Con el fin de indicar la relación entre los objetivos específicos del trabajo y cada una de las etapas del diseño metodológico, se presenta de manera sintetizada y logística el desarrollo de esta investigación. (ver Tabla 18 a Tabla 20).

**Tabla 18.** Enfoque para el cumplimiento del primer objetivo de investigación

<b>Objetivo 1:</b> Realizar una recopilación de datos hidrometeorológicos y registro histórico de riesgos ante inundaciones, para caracterizar las condiciones en la zona de la cuenca a la que pertenece el acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz.				
Variable de investigación	Etapas de investigación	Definición operacional	Calificativo para determinar	Instrumento de evaluación
Evaluación teórica del trabajo	Etapas Teóricas	Se busca evaluar información teórica vinculada a la evaluación de riesgos por inundaciones en acueductos.	Contenido que permita identificar estrategias para la evaluación de riesgos por inundaciones en acueductos.	Revisión de literatura
Revisión de registro histórico	Etapas Experimentales	Se busca analizar la información de registro histórico sobre la influencia de las inundaciones en la zona de estudio	Impacto de las inundaciones en ASADA Barrio Limón de Santa Cruz.	Este análisis se realiza a partir de los datos proporcionados por la ASADA Barrio Limón, así como por la Municipalidad de Santa Cruz.
Factores condicionantes y factores determinantes	Etapas Experimentales	Se determinan las características físicas de la cuenca, para determinar las condiciones que inciden en la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitaciones	- Área de la cuenca - Ancho medio de la cuenca - Perímetro - Longitud media de la cuenca	Parámetros determinados a partir del uso de Sistemas de información geográfica.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 19.** Enfoque para el cumplimiento del segundo objetivo de investigación

<b>Objetivo 2:</b> Realizar mediante trabajo de campo una caracterización de la infraestructura del acueducto de la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz.				
<b>Variable de investigación</b>	<b>Etapas de investigación</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Parámetros para determinar</b>	<b>Instrumento de evaluación</b>
Caracterización de los componentes del acueducto	Etapa Experimental	Se busca obtener a detalle el trazado de los diferentes elementos que componen los sistemas del acueducto	Topología de la red	Se realiza un levantamiento de infraestructura

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 20.** Enfoque para el cumplimiento del tercer objetivo de investigación

<b>Objetivo 3:</b> Elaborar una metodología que integre investigaciones previas para la mitigación de riesgos por inundaciones, con el fin de establecer líneas de decisión sobre operación actual y futura en sistemas de acueductos.				
<b>Variable de investigación</b>	<b>Etapas de investigación</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Parámetros para determinar</b>	<b>Instrumento de evaluación</b>
Perspectiva de los usuarios del acueducto antes eventos de inundación	Etapa experimental	Se busca obtener información sistemática y ordenada sobre la percepción social sobre el riesgo por inundaciones en acueductos	Percepción de niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de los sistemas del acueducto.	Aplicación de encuestas
Análisis de posibles daños a los sistemas del acueducto	Etapa: Caso de estudio	Se determina los puntos más susceptibles a sufrir daños por impacto de inundaciones	- Niveles de amenaza - Niveles de vulnerabilidad - Niveles de riesgos	- Utilización de AH Thomas Saaty (1980). - Utilización herramienta técnica CENEPRED (2014)

Fuente: Elaboración propia, 2021.

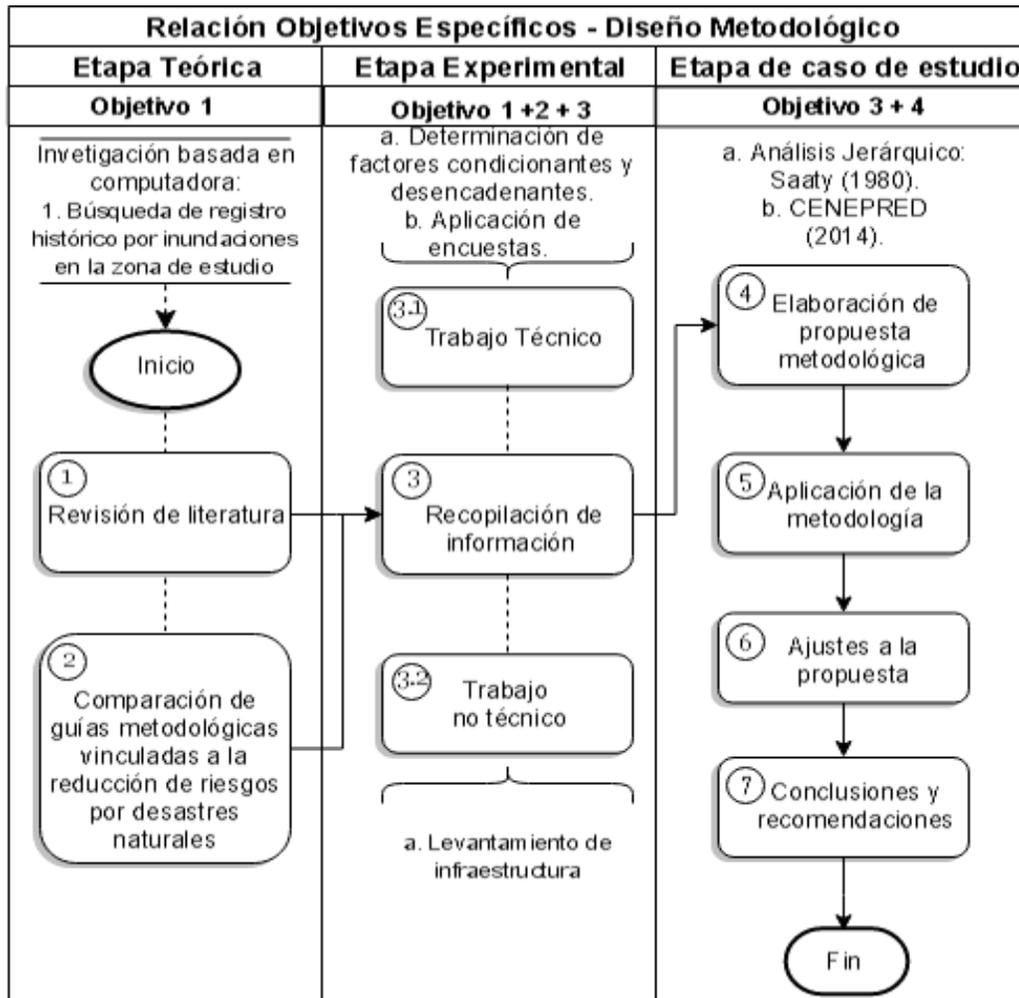
**Tabla 21.** Enfoque para el cumplimiento del cuarto objetivo de investigación

<b>Objetivo 4:</b> Indicar las medidas de mitigación de riesgos por inundación en la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz mediante la aplicación de la metodología desarrollada.				
<b>Variable de investigación</b>	<b>Etapas de investigación</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Parámetros para determinar</b>	<b>Instrumento de evaluación</b>
Disminución de riesgos por inundaciones	Etapa: Caso de estudio	Se busca proponer medidas para la reducción de riesgos en	Medidas de mitigación de riesgos	Aplicación de metodología propuesta

		los sistemas del acueducto.		
--	--	-----------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A modo de resumen, la relación entre objetivos y diseño metodológico se sintetiza en la siguiente figura.



**Figura 11.** Relación entre objetivos y diseño metodológico.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta y discuten los principales resultados obtenidos, mediante la ejecución de la metodología propuesta en el capítulo 4. A razón de lo anterior, dichos resultados se desglosan de manera sistematizada de acuerdo con el siguiente orden:

- Resultados de la etapa teórica
- Resultados de la etapa experimental
- Resultados de la etapa caso de estudio

### 6.1 Resultados de la etapa teórica

Ante los diferentes acontecimientos a nivel mundial en desastres naturales, se ha generado información teórica, guías e instrumentos internacionales, que respaldan la gestión, prevención y mitigación del riesgo, frente a amenazas como son las inundaciones (Bueñaño, 2013, p.10).

En concordancia con lo anterior, la evaluación teórica realizada permitió identificar diversas estrategias e instrumentos, empleados para la valoración del riesgo por inundaciones. Como resultado, se identificaron cinco documentos principales, donde la información descrita plantea un andamiaje de análisis con múltiples enfoques sobre la gestión de riesgo, ante eventos de inundaciones y sus consecuencias en sistemas de agua potable.

En ese sentido, los principales documentos consultados han sido los siguientes: *“Guía para la gestión del riesgo en sistemas de agua y saneamiento ante amenazas naturales”*: BID (2019); *“Herramienta para la evaluación rápida de riesgos y vulnerabilidades para sistemas de agua potable, alcantarillado y drenaje pluvial”*: BID (2019); *“Emergencias y desastres en sistemas de agua y saneamiento: Guía para una respuesta eficaz”*: OPS (2004); *“Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo”*: Bartram et al., (2009); *“Manual para la evaluación de riesgos originadas por inundaciones fluviales”*: CENEPRED (2014).

En función de lo anterior, el siguiente análisis se divide en dos apartados. En ellos, se describirá el principal enfoque empleado por la literatura previamente mencionada para entender de manera adecuada los efectos adversos de las inundaciones en acueductos, la importancia de contar con infraestructuras resilientes, así como con una correcta planificación para reducir los riesgos por inundaciones.

#### 6.1.1 Riesgos por inundaciones en sistemas de acueductos

Para entender de manera adecuada los efectos derivados por el impacto de las inundaciones en sistemas de acueductos, se requiere comprender de forma eficiente los riesgos a los que se encuentran

expuestos dichos sistemas. Por tal razón, a partir del registro de información de la literatura mencionada en el apartado 6.1, se identificaron múltiples consideraciones relevantes, que detallan efectos negativos derivados por el riesgo de las inundaciones en acueductos.

Es por ello que, con el fin exponer a detalle los efectos adversos provocados por las inundaciones en acueductos, se presenta a continuación, un resumen de daños que se presentan habitualmente en este tipo de infraestructuras; así mismo, se incluye de manera consecuente una clasificación del posible grado de afectación según lo propuesto por la (Organización Panamericana de la Salud, 2004, p.12).

**Tabla 22.** Matriz de efectos adversos y grados de afectación provocadas por inundaciones en sistemas de acueductos

Efectos adversos en sistemas de agua potable	Inundación		
	Afectación alta 	Afectación moderada 	Afectación mínima 
Fallos en la infraestructura de los sistemas del acueducto			
Interrupción del servicio de abastecimiento de agua potable			
Ruptura de tubería y pérdida de materiales			
Obstrucciones en tomas de agua, tuberías de conducción.			
Interrupción de las vías de acceso a los sistemas del acueducto			
Contaminación biológica y química de las aguas para abastecimiento.			
Reducción cuantitativa de la producción de las fuentes de agua para abastecimiento			
Afectación económica a la empresa proveedora del servicio.			

Fuente: Adaptado de (Organización Panamericana de la Salud, 2004, p.12).

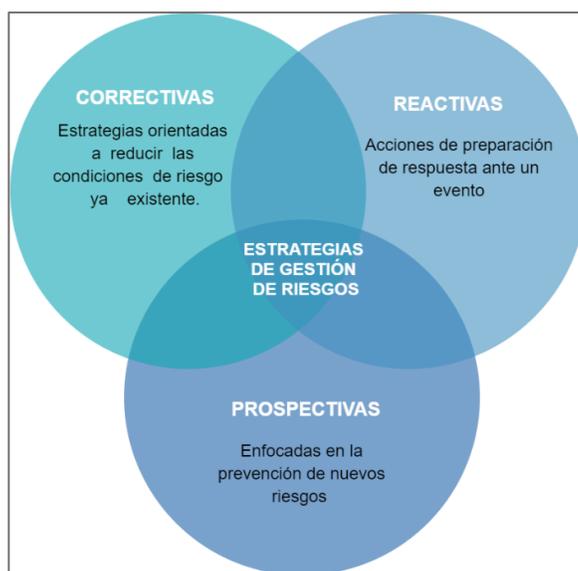
Como se puede apreciar en la Tabla 22, los efectos adversos como fallos en infraestructura, ruptura de tuberías, pérdida de materiales, obstrucción en tomas de agua y contaminación en las fuentes de abastecimiento, son las principales afectaciones negativas que tienden a impactar gravemente los sistemas de acueductos. Así mismo, la interrupción del servicio de agua potable, vías de acceso y pérdidas de materiales, suelen asociarse a una afectación de intensidad moderada.

Finalmente, es relevante mencionar que, la magnitud de los efectos adversos provocados por una inundación puede tener un comportamiento único de acuerdo con la calidad del diseño y distribución de las obras que componen el acueducto (Bartram, et al., 2009, p.2). De igual manera, dichos efectos pueden verse intensificados por características propias de un evento inundable tal como, el nivel que alcanzan las aguas, su velocidad y el área geográfica que cubra (Organización Panamericana de la Salud, 2004, p.10).

#### 6.1.2 Resiliencia de los acueductos frente al impacto por inundaciones

De acuerdo con la evaluación teórica realizada se determina que, una de las principales claves que permiten analizar y gestionar los riesgos por eventos naturales como son las inundaciones, se centra en la implementación de estrategias integrales que permitan abordar antes, durante y después los efectos adversos generados por el evento analizado.

Así mismo (Lavell, 2003, p.31) alude que, el abordaje estratégico mediante la combinación de medidas correctivas, reactivas y/o prospectivas que permiten responder con eficiencia ante un desastre, contribuye de manera significativa en la capacidad de resiliencia ante eventos adversos; dicho lo anterior la Figura 12 muestra una síntesis del abordaje estratégico implementado para la gestión de riesgos por eventos naturales.



**Figura 12.** Combinación de estrategias para la gestión de riesgos.

Fuente: Elaboración propia, 2021

Para detallar, las estrategias de carácter correctivo están orientadas a reducir las condiciones de riesgos ya existentes (Lavell, 2003, p.31) como ejemplo, ante un evento de inundación la reubicación de estructuras bajo un alto grado de vulnerabilidad, así como el reforzamiento o construcción de estructuras hidráulicas, suelen ser consideradas medidas correctivas ante una situación de riesgo.

Por otro lado, las estrategias reactivas corresponden a las típicas acciones de preparación de respuesta ante un evento, a las que se añaden medidas de proceso de recuperación como suelen ser las atenciones de emergencias. Por último, las estrategias prospectivas se encuentran enfocadas en la prevención de nuevos riesgos generados por eventos como pueden ser las inundaciones (Lavell, 2003, p.31).

Si bien, el riesgo de desastres por inundaciones ha demostrado ser un escenario complejo y dinámico, donde el impacto por estos eventos precede en múltiples circunstancias de manera impredecible, incierta e incontrolable (Lara-San Martín, 2013, p.6), el análisis de información revela que, desde la aplicación del enfoque de estrategias de evaluación de riesgos mencionado con anterioridad, es posible obtener resultados que permita generar una base para la determinación de medidas de resiliencia específicas, en infraestructuras como son los sistemas de acueductos.

Como plasma (Arteaga & Ordoñez, 2019), la resiliencia en infraestructuras de acueductos alude a la capacidad del sistema para soportar eventos que causen que al menos una parte de los componentes falle. Por tanto, la correcta planificación y el desarrollo organizativo apropiado de toda empresa que brinde el servicio de abastecimiento de agua potable debe ser una de las prioridades que permitan responder con celeridad ante los efectos adversos generados por una situación de emergencia (Organización Panamericana de la Salud, 2004, p.3).

En ese sentido, algunos de los beneficios adquiridos al contar con acueductos con capacidades resilientes ante eventos de inundaciones se destacan los siguientes:

- I. Alta capacidad de gestión y concertación del entorno natural dirigido corregir, mitigar o controlar aquellas condiciones que incrementan las amenazas y/o vulnerabilidades (Ramirez, et al., 2017).
- II. Aumento de las capacidades técnicas para la atención y/o recuperación de daños.
- III. Disminución de las afectaciones económicas por reposición de daños y con ello fortalecimiento de las capacidades financieras del acueducto.
- IV. Mayor consolidación y fortalecimiento organizacional de los acueductos.

**Tabla 23.** Beneficios adquiridos en acueductos al contar con sistemas resilientes

<b>Efectos adversos de las inundaciones en sistemas de agua potable</b>	<b>Componente de afectación</b>
Fallos en la infraestructura de los sistemas del acueducto	Físico - material
Ruptura de tubería y pérdida de materiales	
Obstrucciones en tomas de agua, tuberías de conducción	
Interrupción de las vías de acceso a los sistemas del acueducto	Económico - productivo
Reducción cuantitativa de la producción de las fuentes de agua para abastecimiento	
Interrupción del servicio de abastecimiento de agua potable	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con el fin de mostrar a mayor detalle la importancia de contar con acueductos resilientes, la Tabla 23 muestra una breve síntesis de la relación entre los efectos adversos originados por inundaciones en sistemas de acueductos y los componentes que estos tienden a afectar. A partir de lo anterior, es posible pensar que, cada uno de los beneficios enlistados con anterioridad pueden influir directamente en las capacidades resilientes de los acueductos ante inundaciones y con ello contribuir de manera consecuente a minimizar los riesgos a los que se enfrentan este tipo de sistemas.

## **6.2 Resultados de la etapa experimental**

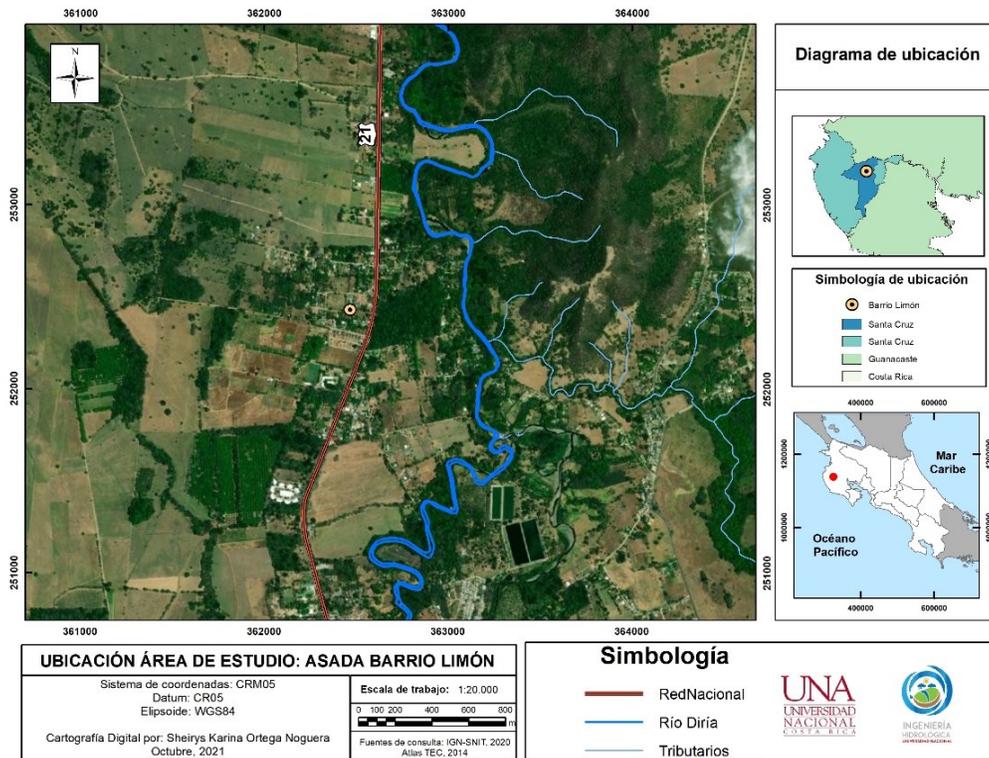
La presente sección tiene por finalidad, presentar una descripción específica acerca del caso de estudio considerado para la realización del trabajo en cuestión. Para ello, esta sección se subdividen tres apartados principales.

Los primeros dos apartados, brindan una breve descripción general, así como una caracterización física de la subcuenca a la que pertenece el acueducto que conforma nuestro caso de estudio. El tercer apartado detalla una breve caracterización de los componentes físicos del acueducto en estudio.

### **6.2.1 Generalidades del área de estudio**

#### *6.2.1.1 Ubicación del área de estudio*

Como se mencionó con anterioridad, la zona de estudio corresponde al acueducto de la ASADA Barrio Limón, este acueducto abastece a comunidad rural cuya población se sitúa a lo largo de diversos caminos cantonales circunscritos en la cuenca del río Diríá. En general, el acceso a la zona de estudio se realiza a través de la Ruta Nacional 21, 150 o 160.



**Figura 13.** Mapa de ubicación general de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 6.2.2 Caracterización física de la subcuenca de la ASADA Barrio Limón

La caracterización física de la subcuenca del río Diría a la que pertenece el acueducto de Barrio Limón, fue definida a partir de las características fisiográficas de relieve, forma y drenaje propias de esta subcuenca. Es preciso señalar que, la cuantificación de estas variables son de gran importancia ya que permiten conocer la influencia que tiene el comportamiento físico, sobre la transformación de la precipitación en el escurrimiento que puede llegar a transitar por la subcuenca (Gaspari, et al., 2012, p.3).

En términos de gestión de riesgos, la caracterización física de la zona de estudio proporciona una visión general sobre la susceptibilidad del territorio ante eventos de precipitaciones. En ese sentido, la predisposición a que eventos como las inundaciones influya en mayor o menor magnitud sobre un determinado ámbito geográfico depende en gran proporción de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno (CENEPRED, 2014, p.11).

Para comprender a mayor detalle, acerca de los factores que influyen a la predisposición de eventos por inundaciones, los mismos se expresan a mayor detalle a continuación:

#### 6.2.2.2 Factores condicionantes

Los factores condicionantes, aluden a aquellas características del ámbito geográfico de estudio, las cuales contribuyen de manera favorable al desarrollo de fenómenos como las inundaciones en magnitud, intensidad, así como en su distribución espacial (CENEPRED, 2014, p.11). Para el caso de la subcuenca a la que pertenece el acueducto Barrio Limón, los parámetros condicionantes que influyen a la predisposición de esta zona de estudio ante las precipitaciones, son puntualizados en la siguiente tabla.

**Tabla 24.** Parámetros morfométricos condicionantes de la subcuenca del río Diríá

<b>Factores condicionantes</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Área	km <sup>2</sup>	90.23 km <sup>2</sup>
Perímetro	km	80.158 km
Longitud del cauce principal	km	79.36 km

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como se puede observar, la subcuenca del río Diríá tiene un área total de 90.23 km<sup>2</sup>, siendo esta la proyección de toda la superficie que conduce la escorrentía producto de las precipitaciones hacia un mismo cauce natural (Verdugo-Cárdenas, 2019, p.35).

Así mismo, esta subcuenca cuenta con una longitud del cauce principal de 79.36 km de los cuales, aproximadamente 10 km influyen directamente sobre la comunidad de Barrio Limón.

#### 6.2.2.3 Factores desencadenantes

Para la subcuenca del río Diríá, los factores evaluados que desencadenan eventos o sucesos asociados a las inundaciones corresponden al factor de forma e índice de compacidad, en tal sentido los resultados obtenidos se detallan que, el factor de forma característico de esta subcuenca es de 0.014; en términos generales este factor revela que tiene una forma muy poco achatada (ver Tabla 2) lo cual, de acuerdo con (Monslave, 1995) indica que esta subcuenca esta menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño, pero con mayor factor de forma.

**Tabla 25.** Parámetros morfométricos desencadenantes de la subcuenca del río Dirιά

<b>Factores desencadenantes</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Indicador</b>
Factor de forma	0.014	Muy poco achatada
Índice de compacidad	2.38	Forma clase III

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Por otra parte, el índice de compacidad presenta un valor de 2.38 respecto del cual, según (Cardona, 2013) clasifica a la subcuenca del río Dirιά como clase III; es decir como una subcuenca de oval - oblonga a rectangular – oblonga. En general, esta clasificación alude que, esta subcuenca responde de forma lenta ante una precipitación lo cual trae consigo caudales picos más altos que suelen reflejarse en problemas de inundación principalmente en las partes bajas de la subcuenca.

#### 6.2.3 Caracterización de los componentes de los sistemas del acueducto: ASADA Barrio Limón

La Asociación Administradora del Acueducto Rural de Barrio Limón de Santa Cruz, cuenta actualmente con un registro de 510 servicios activos. Para la prestación del servicio de agua potable, este acueducto emplea un sistema de abastecimiento por bombeo y, en consecuencia, los diferentes componentes estructurales que componen a este sistema se encuentran ligados a este funcionamiento. En aras de brindar mayor detalle de los diferentes tipos de infraestructura que componen este acueducto, los mismos se detallan a continuación:

##### 6.2.3.1 Fuentes de abastecimiento

De acuerdo con la información proporcionada por el personal de la ASADA Barrio Limón, este acueducto se abastece en su totalidad de fuentes de agua subterránea mediante la utilización de dos pozos identificados como Pozo #1, “La Plaza” y Pozo #2, “El Manguito”. En general, cada pozo opera en intervalos de tiempo de 4 horas de manera alternada durante las 24 horas del día y logra extraer en promedio un caudal de 22 L/s.

**Tabla 26.** Información de fuentes de aprovechamiento de la zona

<b>Pozo</b>	<b>Caudal extraído (L/s)</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
La Plaza	7	325926	1138205
El Manguito	15	326105	1138144

Fuente: Elaboración propia, 2021.



**Figura 14.** Pozos de la ASADA Barrio Limón.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Durante la época de invierno, la operación de ambas fuentes de abastecimiento se genera con regularidad ya que, según indicaciones brindadas por la ASADA, las precipitaciones no generan afectaciones en los sistemas eléctricos de los pozos, ni en la producción de estos.

A pesar de que se ha comprobado que durante época lluviosa la operación de las fuentes de abastecimiento se da de una manera normal, se ha podido identificar que en momentos en los que se presentan eventos hidrometeorológicos extraordinarios el sitio en estudio tiene la tendencia de presentar el impacto por inundaciones, y es durante las mismas, donde se pueden identificar según la percepción local, algunos comportamientos poco frecuentes como lo es el aumento de la turbidez en el agua; aunque el personal de la ASADA destaca que los niveles del agua alcanzados por una inundación no sobrepasan la altura del brocal de los pozos, se piensa que dicho aumento de la turbidez en agua puede atribuirse a afectaciones de los pozos a nivel subterráneo.

Pese al comportamiento que podrían considerarse comunes o de un impacto bajo, desde la perspectiva de riesgo es importante tomarlos en cuenta para trabajar en el establecimiento de medidas de mitigación del riesgo especialmente durante los eventos de inundaciones que desde la perspectiva social son complejos, debido a existe la necesidad de establecer albergues, lo cual implica la necesidad de contar con el abastecimiento del recurso y que el mismo cuente con las condiciones de salubridad mínimas.

### 6.2.3.2 Tanques de almacenamiento

El acueducto de Barrio Limón cuenta con un único tanque de almacenamiento de 135 m<sup>3</sup> con el que se brinda la atención de las necesidades de la comunidad.

**Tabla 27.** Información resumida del tanque de almacenamiento

<b>Tanque</b>	<b>Material</b>	<b>Capacidad de almacenamiento (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
Principal	Concreto	135	326885	1138387

Fuente: Elaboración propia, 2021.



**Figura 15.** Tanque de almacenamiento de la ASADA Barrio Limón.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Como condición característica de este sistema se destaca que, la única vía de acceso terrestre se realiza por medio del cauce fluvial del río Diríá a la altura de la comunidad de Barrio Limón. Esta situación supone una problemática para quienes gestionan los sistemas que componen este acueducto, principalmente en época de invierno puesto que, durante dicha época, la accesibilidad al tanque es nula lo cual imposibilita las gestiones de mantenimiento, así como la atención de posibles problemas en la infraestructura.

Cabe puntualizar que, durante eventos de inundaciones los niveles de agua alcanzados por el río Diríá ascienden de modo que abarca una mayor extensión de la vía de accesos terrestre, lo cual contribuye a intensificar la problemática mencionada con anterioridad.



**Figura 16.** Vía de acceso terrestre hacia el tanque de almacenamiento en época de invierno.

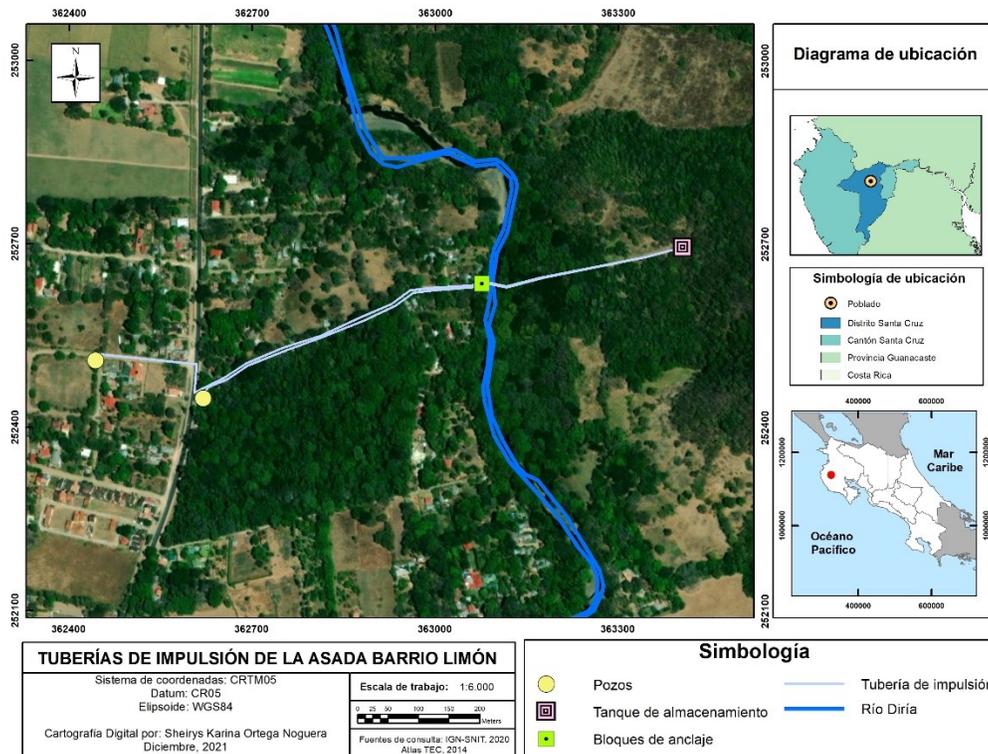
Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 6.2.3.3 Tuberías de impulsión y distribución

#### a. Tuberías de impulsión

El acueducto tiene cerca de 2 km de tuberías destinadas para la impulsión del agua que va desde los pozos hasta el tanque de almacenamiento. La línea de impulsión correspondiente al pozo “La Plaza”, posee una longitud aproximada de 1071 m y cuenta con un diámetro de 150 mm, mientras que la línea del pozo “Los Mangos” tiene una longitud de 841 m y un diámetro de 100 mm.

Cabe destacar que, la totalidad de las líneas de impulsión son en material de polietileno (PEAD) SDR 13.5, además se encuentra conectada mediante bloques de anclaje de concreto que cruzan a través del río Diríá, los cuales permiten estabilizar los cambios de dirección generadas por a las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas del agua y con ello, rigidizar axialmente la red de impulsión por medio de la fricción entre el suelo y la tubería (Alzate & Vélez, 2017, p. 3).



**Figura 17.** Localización de las tuberías de impulsión de la ASADA Barrio Limón.

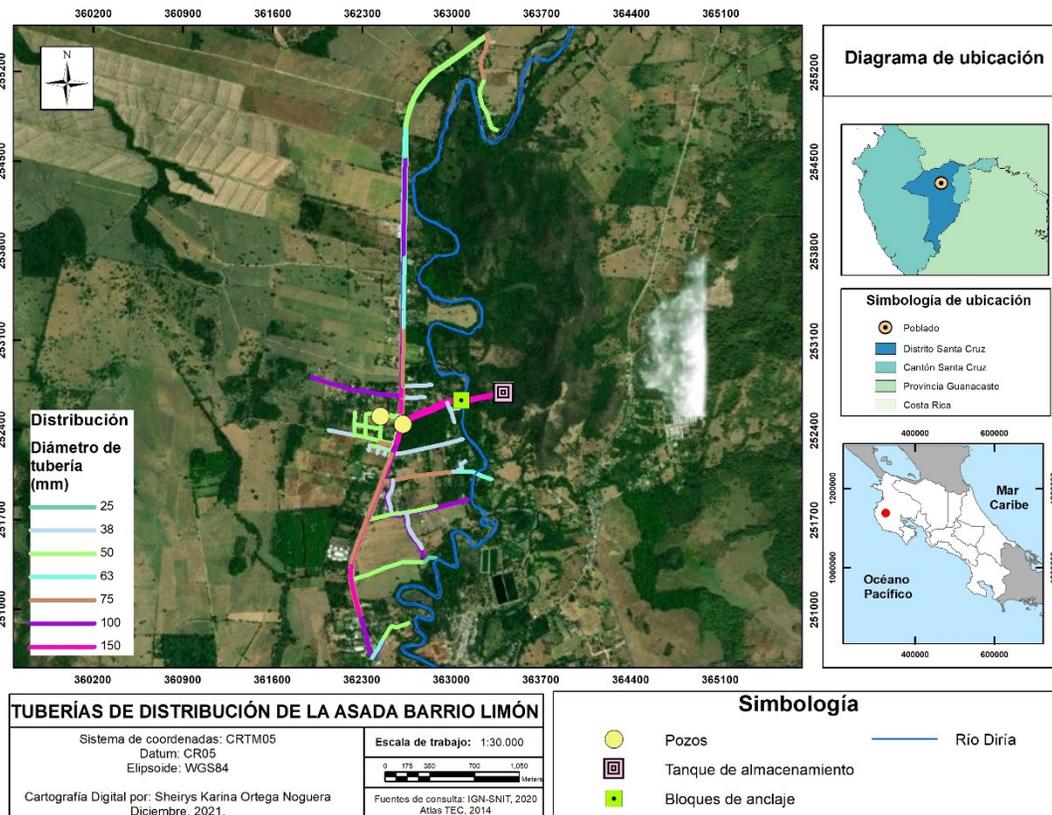
Fuente: Elaboración propia, 2021.

b. Tuberías de distribución

En cuanto a la red de distribución del acueducto, esta se compone por una tubería principal que va desde el tanque de almacenamiento hacia carretera principal, en material de polietileno SDR 13.5 con un diámetro de 150 mm. Posteriormente, esta red central se deriva en múltiples ramales encargados de la distribución del agua en los diferentes sectores que componen el acueducto, para ello, se emplean tuberías en PVC y los diámetros pueden variar entre los 25mm, 38mm, 50 mm y 100 mm a lo largo de aproximadamente 12 km.

Al igual que la tubería de impulsión, la red de distribución que cruza el cauce del río Diría hasta el tanque de almacenamiento, se efectúa a través de bloques de anclaje de concreto. En ambas situaciones, esta medida ha permitido responder con eficiencia ante las fuerzas externas que actúan sobre las paredes de las tuberías que conforman ambas redes (Alzate & Vélez, 2017).

Por otro lado, ante eventos de inundaciones las tuberías de distribución del sector norte del acueducto son expuestas debido al lavado del terreno generado por el ascenso del agua en este sector. Esta situación ha generado rupturas en parte de la infraestructura de distribución.



**Figura 18.** Localización de las tuberías de distribución de la ASADA Barrio Limón.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 6.3 Resultados de la etapa caso de estudio: ASADA Barrio Limón de Santa Cruz.

Tal como se detalla en apartados anteriores, la realización de este trabajo toma como caso de estudio el acueducto de la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste. Este acueducto, ha sufrido el impacto de eventos de precipitaciones causantes del desbordamiento del río Diría a la altura de esta comunidad, lo cual ha generado repercusiones en las infraestructuras del acueducto tales como problemas de accesibilidad en las vías de comunicación terrestre hacia el sistema de almacenamiento, rupturas de tuberías, comportamientos poco frecuentes como lo es el aumento de turbidez en agua durante eventos de inundaciones.

En general, las repercusiones originadas por las inundaciones no afectan únicamente a las diferentes infraestructuras que componen el acueducto, sino que, además, estos problemas influyen de manera consecuente en las actividades operativas, económicas y administrativas de la ASADA.

### 6.3.1 Percepción de inundaciones.

Por lo general, la identificación de los niveles de riesgos del sitio de interés a evaluar se analiza desde la perspectiva del cálculo de la magnitud del impacto de fenómenos naturales. Sin embargo, con el fin de garantizar una integralidad en el análisis de riesgos surge la necesidad de incluir la percepción social del riesgo los cuales son producto del contexto histórico, así como geográfico de la sociedad (Borner, 2013., p. 46).

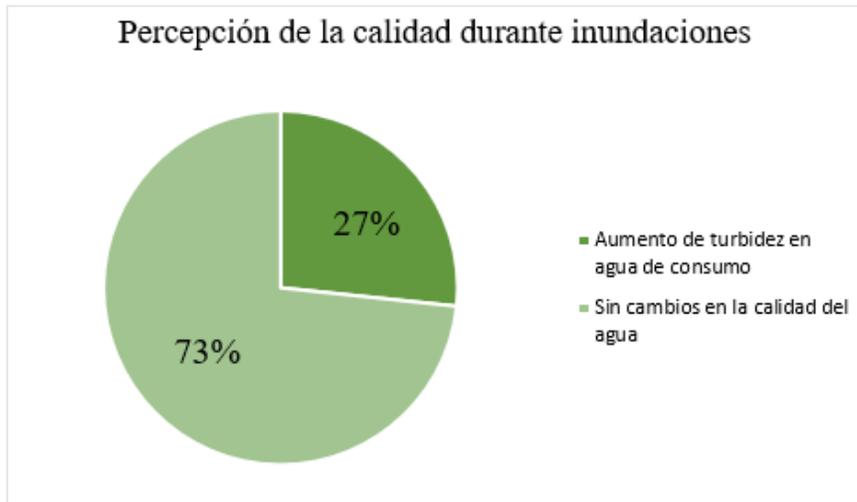
Por tanto, previo a la identificación de los riegos presentes en el acueducto Barrio Limón se efectuó una determinación de la perspectiva social de los beneficiarios directos del proyecto. Para ello, se aplicó una encuesta abierta dirigida a parte de los usuarios del acueducto (Anexo 4).

**Tabla 28.** Nombre de la población encuestada

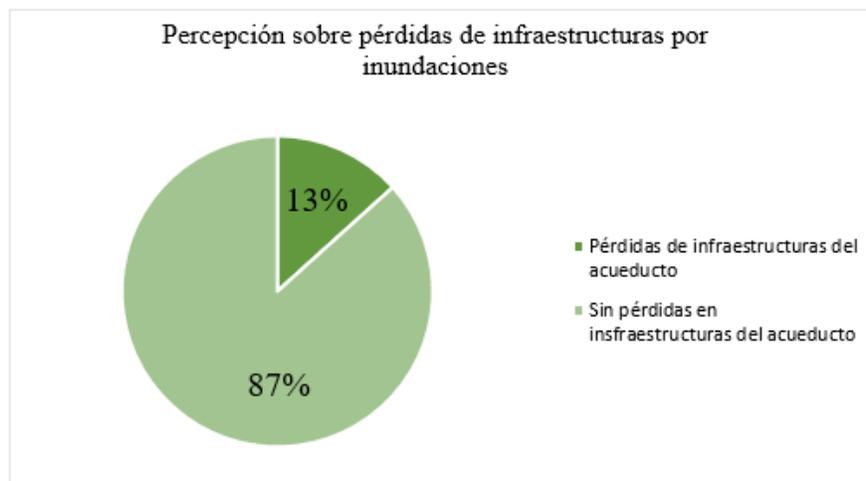
<b>Nombre</b>	<b>Relación con ASADA Barrio Limón</b>
Ligia Moraga	Administradora
Ronny Barrantes	Operador del sistema
Kevin Ortega Aguilar	Usuario
Sugeidy López Moreno	Usuario
William Castillo Espinoza	Usuario
Raquel Ruiz Serrano	Usuario
Jeannette Gutiérrez	Usuario
Ludwin Ruiz Pérez	Usuario
Belkis Ruiz Pérez	Usuario
Carolina Morales	Usuario
María Gabriela Chvarría	Usuario
Rodrigo Guevara Cubillo	Usuario
Edin Leal	Usuario
Maripaz Urbina Gutiérrez	Usuario
Fernanda Chacón	Usuario

Fuente: Elaboración propia, 2022.

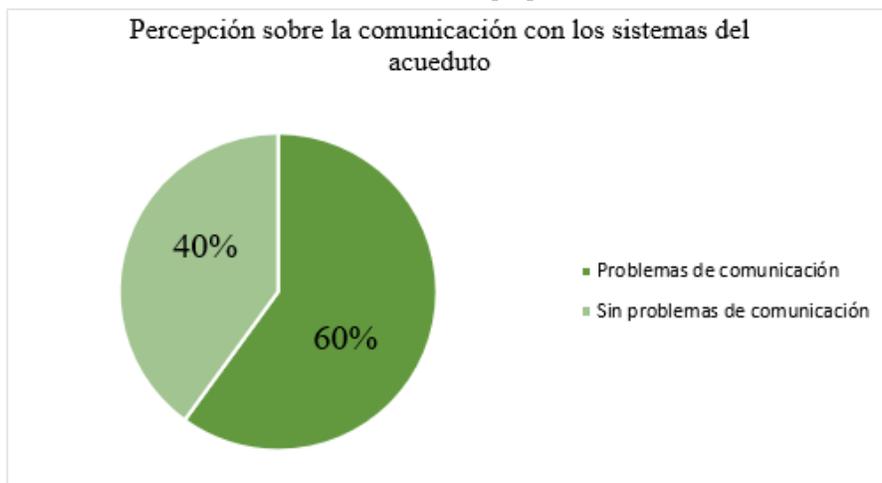
A partir a las respuestas brindadas por la población encuestada, los resultados indican que se ha evidenciado problemas relacionados con temas de comunicación con parte de las infraestructuras que componen el sistema del acueducto, además, un 20% del total de la población indican haber presenciado un comportamiento poco frecuente durante eventos de inundaciones evidenciado en un aumento de la turbidez del agua de consumo humano.



**Gráfico 1.** Percepción social sobre el comportamiento de la calidad de agua por eventos de inundaciones.  
Fuente: Elaboración propia, 2022.



**Gráfico 2.** Percepción social sobre las pérdidas en infraestructuras por inundaciones.  
Fuente: Elaboración propia, 2022.



**Gráfico 3.** Percepción social por problemas de comunicación con los sistemas del acueducto por inundaciones.  
Fuente: Elaboración propia, 2022.

### 6.3.2 Análisis de los niveles de amenaza

La determinación de los niveles de amenazas en el acueducto Barrio Limón, se obtuvieron a través de la evaluación de parámetros físicos característicos del ámbito geográfico en estudio, así como del análisis de susceptibilidad de las infraestructuras que componen el acueducto. En ese sentido, la estimación de los niveles de amenazas se establece a mayor detalle a continuación:

#### 6.3.2.1 Parámetros físicos para la evaluación de amenazas

##### a. Amenaza según características del territorio

El análisis de amenazas de acuerdo con las condiciones de susceptibilidad del territorio de un determinado ámbito geográfico, son de gran importancia puesto que permite conocer la influencia física, sobre la transformación de la precipitación en el escurrimiento que puede llegar a transitar por la zona de estudio.

Para el presente caso de estudio, los parámetros definidos para la evaluación de los niveles de amenazas son aquellos que contribuyen al desarrollo de inundaciones en magnitud y distribución espacial, dichos parámetros establecidos son:

- Índice de compacidad
- Factor de forma
- Longitud del cauce principal

A partir de los parámetros anteriormente establecidos, se realiza la aplicación de la metodología de análisis jerárquico establecida por Thomas Saaty. En función de este proceso, se diseña una matriz de comparación de pares con el fin de establecer una evaluación subjetiva entre cada uno de los criterios considerados para la caracterización de las amenazas

**Tabla 29.** Matriz de comparación de pares para niveles de amenaza por condiciones del territorio.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Índice de compacidad	Longitud del cauce	Factor de forma
Índice de compacidad	1	7	3
Longitud del cauce	1/7	1	1/5
Factor de forma	1/3	5	1

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Establecida la matriz de comparación de pares, se obtienen los valores de la suma inversa de esta matriz y de manera posterior la ponderación de cada uno de los parámetros descriptores evaluados en

la Tabla 28. A partir de ello, se obtuvo el nivel de amenaza (peso) para cada criterio, así como el porcentaje de importancia de este.

Como resultado se obtiene que, el índice de compacidad es el parámetro con mayor influencia (64%) sobre el desarrollo de inundaciones en la subcuenca del río Diríá, seguido del factor de forma con un 28 % de influencia y por último la longitud de cauce con un 7%.

**Tabla 30.** Matriz de normalización y niveles de importancia de amenazas por condiciones del territorio.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Índice de compacidad	Longitud del cauce	Factor de forma	Peso	Nivel de importancia
Índice de compacidad	0.67	0.58	0.71	0.64	64%
Longitud del cauce	0.10	0.08	0.05	0.07	7%
Factor de forma	0.23	0.38	0.24	0.28	28%
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	100%

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, la metodología de Saaty (1980) describe que debe de existir una relación de consistencia (RC) menor a un 10% entre cada uno de los parámetros definidos para la obtención de los valores de peso de los diferentes niveles de amenazas. En fundamente a lo anterior, los resultados para el presente análisis arrojan una relación de consistencia de un 6% lo cual revela, que los criterios seleccionados para la valoración de la información fueron los más adecuados.

**Tabla 31.** Matriz de valoración de consistencia de parámetros planteados para la estimación de amenazas por condiciones del territorio.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Comparación de pares			Valoración de resultados		
	Índice de compacidad	Longitud del cauce	Factor de forma	Peso	$\lambda$ (Valor de priorización ponderada)	Relación de consistencia
Índice de compacidad	1	7	3	0.64	2.008	6%
Longitud del cauce	1/7	1	1/5	0.07	0.222	
Factor de forma	1/3	5	1	0.28	0.866	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

*a.1 Ponderación de los parámetros de estimación de amenazas por condiciones del territorio.*

Se efectuó una ponderación de cada uno de los parámetros establecidos para la determinación de los niveles de amenazas por condiciones del territorio en el acueducto. En consideración a lo anterior, en las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros en evaluación.

**Tabla 32.** Pesos ponderados por descriptor - índice de compacidad

CRITERIO		ÍNDICE DE COMPACIDAD	PESO PONDERADO: 0.64	
DESCRIPTORES	I1	1 a 1.25: Alta respuesta ante precipitaciones	PI1	0.63
	I2	1.25 a 1.50: Respuesta moderada ante precipitaciones	PI2	0.26
	I3	1.50 a más de 2: Respuesta lenta ante precipitación	PI3	0.11

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 33.** Pesos ponderados por descriptor - longitud de cauce

CRITERIO		LONGITUD DEL CAUCE	PESO PONDERADO: 0.07	
DESCRIPTORES	L1	Mayor de 80 km: Alta incidencia de propagación de crecidas	PL1	0.67
	L2	20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	PL2	0.24
	L3	1 a 20 km: Baja incidencia de propagación de crecidas	PL3	0.09

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 34.** Pesos ponderados por descriptor - factor de forma

CRITERIO		FACTOR DE FORMA	PESO PONDERADO: 0.28	
DESCRIPTORES	F1	0.01 - 0.18: Cuenca menormente sujeta a crecientes	PF1	0.72
	F2	0.19 - 0.36: Cuenca moderadamente sujeta a crecientes	PF2	0.19
	F3	0.37 - 0.54: Cuenca altamente sujeta a crecientes	PF3	0.08

Fuente: Elaboración propia, 2021.

b. Amenaza a nivel de infraestructura

Se considera que para garantizar un análisis adecuado de los niveles de amenazas a los que se encuentra expuesto el acueducto de Barrio Limón, es indispensable contemplar la susceptibilidad que presentan las diferentes infraestructuras que componen el sistema de acueducto y su relación ante eventos de inundaciones.

Bajo el escenario observado en campo se plantean los siguientes parámetros de evaluación de amenazas para los pozos, tanque de almacenamiento, tuberías de impulsión y distribución:

- Nivel del agua de inundación.
- Cercanía al cauce fluvial.
- Ubicación del sistema en zonas de inundación.

Los valores numéricos que indican el “peso” que tiene cada parámetro para la generación de amenazas se obtuvieron mediante de la matriz de comparación pares de la siguiente forma:

**Tabla 35.** Matriz de comparación de pares para el análisis de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Nivel del agua de inundación	Cercanía al cauce del río	Ubicación en zonas de inundación
Nivel del agua de inundación	1	1/5	1/3
Cercanía al cauce del río	5	1	3
Ubicación en zonas de inundación	3	1/3	1

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A partir de este proceso, se determinó que la cercanía al río es el parámetro con mayor influencia sobre los niveles de amenazas a las que se expone las diferentes infraestructuras que componen el sistema de acueducto, dicho parámetro presenta un valor de un 63%. De igual manera, los niveles del agua alcanzados por eventos de inundaciones suponen un nivel de amenaza de un 26 % mientras que la ubicación en zonas susceptibles a inundación un 11%.

**Tabla 36.** Matriz de normalización y niveles de importancia de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Nivel del agua de inundación	Cercanía al cauce del río	Ubicación en zonas de inundación	Peso	Nivel de importancia
Nivel del agua de inundación	0.11	0.13	0.08	0.11	11%
Cercanía al cauce del río	0.56	0.65	0.69	0.63	63%
Ubicación en zonas de inundación	0.33	0.22	0.23	0.26	26%
SUMA	1.00	1.00	1.00	1.00	100%

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para garantizar que el criterio de selección de parámetros para la obtención de los niveles de amenaza fuese el más idóneo, se obtuvo la relación de consistencia entre cada uno de los criterios planteados. En tal sentido, el resultado muestra una consistencia de un 4% valor que se encuentra dentro del nivel establecido por la metodología de Saaty (1980); por tanto, los criterios planteados, así como el análisis fueron adecuados para la evaluación.

**Tabla 37.** Matriz de valoración de consistencia de parámetros planteados para la estimación de amenazas por susceptibilidad de infraestructura.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Comparación de pares			Valoración de resultados		
	Nivel del agua de inundación	Cercanía al cauce del río	Ubicación en zonas de inundación	Peso	$\lambda$ (Valor de priorización ponderada)	Relación de consistencia
Nivel del agua de inundación	1	1/5	1/3	0.11	0.32	4 %
Cercanía al cauce del río	5	1	2	0.63	1.95	
Ubicación en zonas de inundación	3	1/3	1	0.26	0.79	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

*b.1 Ponderación de los parámetros de estimación de amenazas por condiciones de infraestructura*

Para el análisis de amenaza asociado a las condiciones características de infraestructura del acueducto Barrio Limón, se ponderaron cada uno de los parámetros detallados en la Tabla 31 teniendo el siguiente resultado:

**Tabla 38.** Pesos ponderados para estimación de amenaza por descriptor – niveles de agua de inundación

CRITERIO		NIVEL DE AGUA DE INUNDACIÓN	PESO PONDERADO: 0.11	
DESCRIPTORES	N1	0 a 20 cm: Baja altura de inundación	PN1	0.11
	N2	20 a 40: Moderada altura de inundación	PN2	0.26
	N3	40 a 60: Alturas elevadas de inundación	PN3	0.63

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 39.** Pesos ponderados para estimación de amenaza por descriptor – cercanía al cauce del río

CRITERIO		CERCANÍA AL CAUCE DEL RÍO	PESO PONDERADO: 0.63	
DESCRIPTORES	C1	Menor a 80 m	PC1	0.64
	C2	Entre 81 a 250 m	PC2	0.28
	C3	Entre 250 m a 500 m	PC3	0.07

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 40.** Pesos ponderados para estimación de amenaza por descriptor – ubicación en zonas de inundación

CRITERIO		UBICACIÓN EN ZONAS DE INUNDACIÓN	PESO PONDERADO: 0.26	
DESCRIPTORES	U1	Menor a 30 m	PU1	0.64
	U2	Entre 30 a 100 m	PU2	0.28
	U3	Mayor a 100 m	PU3	0.07

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 6.3.3 Cálculo del nivel de amenaza

Obtenidos los pesos ponderados, el cálculo del nivel de amenaza propio de las condiciones del acueducto Barrio Limón se obtuvo de la siguiente forma:

**Tabla 41.** Valor de amenaza por condiciones del territorio

Parámetro evaluado						
Índice de compacidad		Longitud del cauce		Factor de forma		Valor
Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	0.278
0.64	0.11	0.07	0.09	0.28	0.72	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 42.** Valor de amenaza por condiciones de infraestructura

Parámetro evaluado						
Nivel del agua de inundación		Cercanía al cauce del río		Ubicación en zonas de inundación		Valor
Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	0.261
0.11	0.11	0.63	0.28	0.26	0.28	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De acuerdo con los valores determinados en las tablas anteriores, se estima que el valor de amenaza en el acueducto de Barrio Limón por inundación tiene un rango entre  $0.260 \leq R \leq 0.503$ , clasificándolo con un sitio de amenaza muy alta.

#### 6.3.4 Estratificación de amenazas

En aras de demostrar de manera visual, los niveles de amenaza de los parámetros evaluados se elaboró una estratificación de los valores de cada criterio considerado y se comparó de acuerdo con los rangos establecidos por CENEPRED (2015) (Tabla 16).

**Tabla 43.** Estratificación de los niveles de amenazas

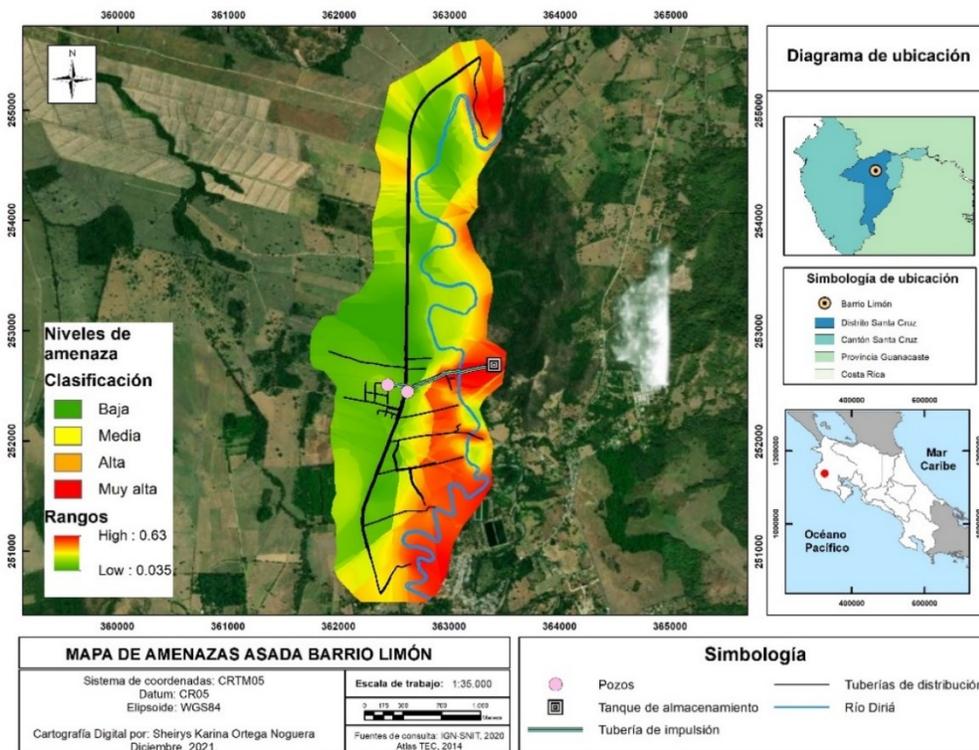
Amenazas por condiciones del territorio		
PARÁMETRO EVALUADO	Peso	Clasificación
Índice de compacidad	0.64	Muy Alta
Longitud del cauce	0.07	Media
Factor de forma	0.28	Muy Alta
Amenazas en infraestructuras del acueducto		
Ubicación en zonas de inundación	0.11	Media
Cercanía al cauce del río	0.63	Muy Alta
Nivel del agua de inundación	0.26	Alta

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A efectos de representar los niveles de amenazas por inundaciones sobre el acueducto de Barrio Limón, se efectuó una delimitación del espacio evaluado en el que se contempla únicamente el área que abarca las diferentes infraestructuras que componen dicho acueducto. Consecuentemente, se efectuó una interpolación por el método de Kriging lo cual permitió obtener la distribución espacial de los distintos niveles de amenaza que inciden en el área de estudio (Figura 19).

De este modo, los resultados obtenidos revelan que, en el sector este, sureste, así como norte del acueducto se presentan rangos de amenazas que rondan valores de 0.63 clasificando a estos sectores como sitios de amenaza muy alta. Se estima, que la principal característica que incide en amenazas tan altas, ocurre debido a la cercanía de las infraestructuras con el cauce del río Diríá.

Por otro lado, es importante destacar que el sector este del acueducto obedece a la única vía de acceso terrestre hacia el tanque de almacenamiento de la ASADA, por lo cual es de esperar que esta condición de inaccesibilidad intensifique su nivel de amenaza durante eventos de inundaciones.



**Figura 19.** Mapa de distribución de los niveles de amenazas por inundaciones en el acueducto Barrio Limón.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 6.3.5 Análisis de los niveles de vulnerabilidad

Los procesos de evaluación y gestión de riesgos en múltiples circunstancias, “nos da una idea clara que en muchas ocasiones no es posible intervenir directamente sobre una amenaza o es muy difícil hacerlo” (Martínez, 2017, p. 121). Por tal motivo, parte fundamental para efectuar una correcta gestión de riesgos, se enfoca en la disminución de la vulnerabilidad a la que se enfrentan cada uno de los elementos evaluados.

Con el objetivo de recordar, se conceptualiza a la vulnerabilidad como el nivel de amenaza que se presenta en un medio, población o servicio, debido a las características o circunstancias propias de un lugar. Por tal razón, en el presente análisis se evaluará la percepción social brindada por parte de los abonados que integran este acueducto, ante los daños físicos u operativos que sufren las distintas infraestructuras del acueducto frente a eventos de inundaciones.

Para ello, el planteamiento de los parámetros de evaluación se efectúa en virtud de los siguientes aspectos:

- Disminución de la calidad del servicio de agua potable.
- Daños en infraestructuras
- Interrupción del servicio de agua potable.
- Capacidad de resiliencia de infraestructuras.

A partir del análisis subjetivo de cada uno de los criterios evaluados mediante la aplicación de la matriz de comparación de pares, se obtuvo el “peso” cuyo valor representa los niveles de vulnerabilidad a los que se encuentra expuesto el acueducto.

**Tabla 44.** Matriz de comparación de pares para el análisis de los niveles de vulnerabilidad.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Disminución de calidad del agua potable	Interrupción del servicio de agua potable	Daños en infraestructuras	Resiliencia de infraestructuras
Disminución de calidad del agua potable	1.00	5.00	5.00	5.00
Interrupción del servicio de agua potable	1/5	1.00	3.00	3.00
Daños en infraestructuras	1/5	1/3	1.00	1/3
Resiliencia de infraestructuras	1/5	1/3	3	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De acuerdo con el análisis subjetivo anterior, se determinó el porcentaje de influencia que tiene cada uno de los criterios considerados, sobre los niveles de vulnerabilidad característicos del acueducto en estudio. En tal sentido, la disminución de la calidad del agua tiene un 58% de importancia sobre la vulnerabilidad que puede enfrentar el acueducto.

Posteriormente, la interrupción del servicio de abastecimiento de agua potable presenta un 21% de importancia sobre la vulnerabilidad del acueducto, seguido se presenta la capacidad de resiliencia de las infraestructuras y daños en infraestructuras con un 13% y 7% respectivamente.

**Tabla 45.** Matriz de normalización y niveles de importancia de los niveles de vulnerabilidad del acueducto.

<b>PARÁMETRO DE EVALUACIÓN</b>	Disminución de calidad del agua potable	Interrupción del servicio de agua potable	Daños en infraestructuras	Resiliencia de infraestructuras	Peso	Nivel de importancia
Disminución de calidad del agua potable	0.625	0.75	0.42	0.54	0.58	58%
Interrupción del servicio de agua potable	0.125	0.15	0.25	0.32	0.21	21%
Daños en infraestructuras	0.125	0.05	0.08	0.04	0.07	7%
Resiliencia de infraestructuras	0.125	0.05	0.25	0.11	0.13	13%
SUMA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	100%

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En aras de garantizar la confiabilidad de los resultados, se efectuó el cálculo de la relación de consistencia entre cada uno de los parámetros establecidos para la determinación de los niveles de vulnerabilidad del acueducto de Barrio Limón. Se obtiene que, la consistencia para el presente análisis arroja un valor de 10% lo cual indica que tanto el análisis, así como los criterios seleccionados fueron idóneos.

**Tabla 46.** Matriz de valoración de consistencia de parámetros para la estimación de vulnerabilidad del acueducto Barrio Limón.

Comparación de pares					Valoración de resultados		
PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Disminución de calidad del agua potable	Interrupción del servicio de agua potable	Daños en infraestructuras	Resiliencia de infraestructuras	Peso	$\lambda$ (Valor de priorización ponderada)	Relación de consistencia
	Disminución de calidad del agua potable	1.00	5.00	5.00			
Interrupción del servicio de agua potable	1/5	1.00	3.00	3.00	0.21	0.948	
Daños en infraestructuras	1/5	1/3	1.00	1/3	0.07	0.305	
Resiliencia de infraestructuras	1/5	1/3	3	1.00	0.13	0.540	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

*a. Ponderación de los parámetros de estimación de vulnerabilidad.*

**Tabla 47.** Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – disminución de la calidad del agua

CRITERIO	DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA		PESO PONDERADO: 0.58
DESCRIPTORES	D1	La totalidad de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	PD1 0.72
	D2	Una escasa parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	PD2 0.19
	D3	Ninguna parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	PD3 0.08

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 48.** Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – interrupción del servicio de agua potable

<b>CRITERIO</b>	<b>INTERRUPCIÓN DE SERVICIO DE AGUA POTABLE</b>		<b>PESO PONDERADO: 0.21</b>	
<b>DESCRIPTORES</b>	IS1	Se presentan durante días la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	PIS1	0.72
	IS2	Se presentan durante pocas horas la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	PIS2	0.19
	IS3	No hay interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	PIS3	0.08

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 49.** Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – daños en infraestructuras

<b>CRITERIO</b>	<b>DAÑOS EN INFRAESTRUCTURAS</b>		<b>PESO PONDERADO: 0.07</b>	
<b>DESCRIPTORES</b>	IF1	Se presentan daños altos en infraestructuras	PIF1	0.64
	IF2	Se presentan daños moderados en infraestructuras	PIF2	0.28
	IF3	No se presentan daños en infraestructuras	PIF3	0.07

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 50.** Pesos ponderados para estimación de vulnerabilidad por descriptor – resiliencia de infraestructuras

<b>CRITERIO</b>	<b>RESILIENCIA DE INFRAESTRUCTURAS</b>		<b>PESO PONDERADO: 0.58</b>	
<b>DESCRIPTORES</b>	RI1	Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	PIR1	0.64
	RI2	Respuesta moderada para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	PIR2	0.28
	RI3	Respuesta deficiente para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	PIR3	0.07

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 6.3.6 Cálculo del nivel de vulnerabilidad

A partir los pesos ponderados, se calculó el nivel de vulnerabilidad que presenta el acueducto Barrio Limón por eventos de inundaciones, resultados que se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 51.** Valor de vulnerabilidad del acueducto

Parámetro evaluado								
Disminución de la calidad del agua		Interrupción del servicio de agua potable		Daños en infraestructura		Resiliencia de infraestructuras		Valor
Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	Peso	Descriptor	
0.58	0.08	0.21	0.08	0.07	0.07	0.13	0.28	0.10

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A razón de lo anterior, se estima que el valor de vulnerabilidad del acueducto se clasifica como “vulnerabilidad media” con un rango entre  $0.068 \leq R \leq 0.134$ .

### 6.3.7 Estratificación de los niveles de vulnerabilidad

La estratificación de los niveles de vulnerabilidad presentes en el acueducto se efectúa mediante la comparación entre el peso obtenido de cada uno de los criterios evaluados (apartado 6.3.3) y la clasificación establecida según CENEPRED (2015) (ver Tabla 16). A razón de lo anterior, los niveles de vulnerabilidad característicos de la ASADA Barrio Limón se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 52.** Estratificación de los niveles de vulnerabilidad.

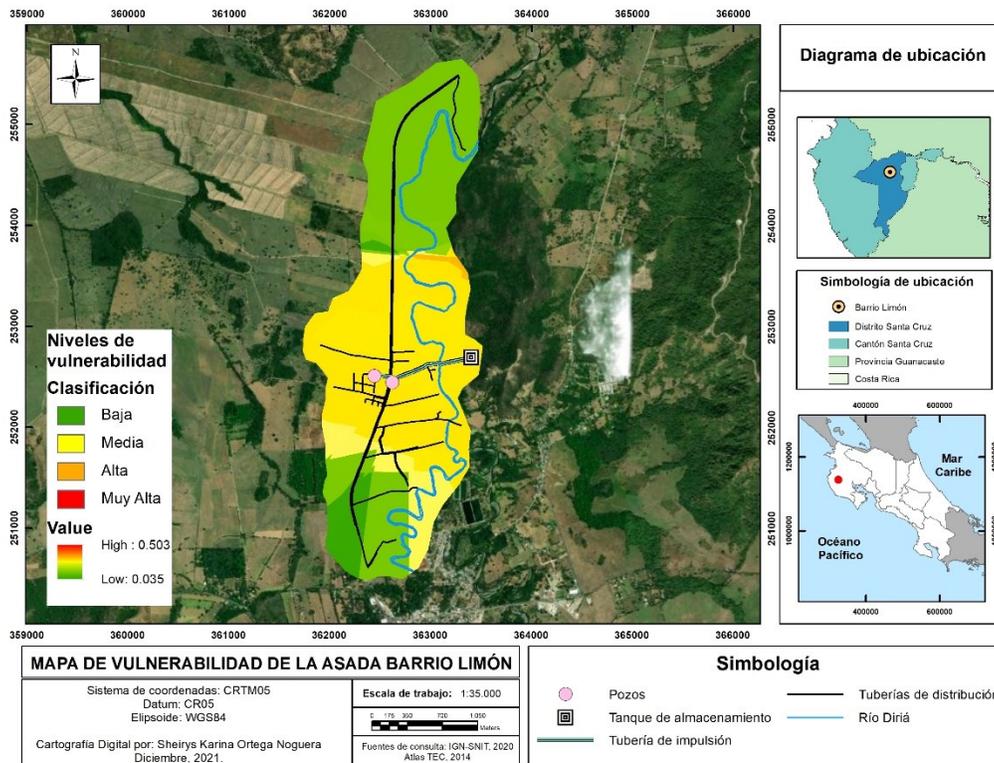
Parámetro evaluado	Peso	Clasificación
Disminución de calidad del agua potable	0.58	<b>Muy Alta</b>
Interrupción del servicio de agua potable	0.21	<b>Alta</b>
Daños en infraestructuras	0.07	<b>Media</b>
Resiliencia de infraestructuras	0.13	<b>Alta</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De los cuatro parámetros seleccionados, la disminución de la calidad de agua potable es el principal factor el cual tiene una alta influencia en los niveles de vulnerabilidad del acueducto Barrio Limón. Aunque la percepción social de este acueducto revela, que son mínimas las ocasiones en las que se ha percibido una disminución de la calidad del agua ante eventos de inundaciones (Ortega 2021, per. comm., 9 may) se estima ante un eventual impacto de esta condición, las repercusiones en la población pueden llegar a afectar en gran magnitud.

De igual manera, la interrupción del servicio de abastecimiento de agua potable, así como la capacidad de resiliencia del acueducto ante eventos de inundaciones presentan una alta incidencia en los niveles de vulnerabilidad del acueducto puesto que, parte de la población considera que estos criterios pueden llegar a amenazar el servicio de abastecimiento de agua potable (Moreno 2021 per. comm., 7 dic).

A efectos de representar visualmente los niveles de vulnerabilidad del acueducto de acuerdo con la clasificación obtenida, en la siguiente figura se presenta un mapa con la distribución espacial de vulnerabilidad.



**Figura 20.** Mapa de distribución de los niveles de vulnerabilidad por inundaciones en el acueducto Barrio Limón.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Según el mapa obtenido, se observa que los valores más altos de vulnerabilidad se ubican en el sector centro y oeste del acueducto esta condición obedece a los sitios en los que los pobladores describen como “las zonas en las que existen mayor probabilidad de afectaciones por eventos de inundación” (Gutiérrez, 2021, per. comm., 4 dic). De igual forma, este sector coincide con los sitios cercanos donde se ubican las fuentes de abastecimiento del acueducto; sitios en los que se si se llega a presentar contaminación contribuirían en la disminución de la calidad del agua potable, condición la cual

presenta una alta influencia en los niveles de vulnerabilidad según el análisis planteado de manera anterior.

Así mismo, otro de los sectores que presentan vulnerabilidades altas corresponde al sector este del acueducto, sitio donde se ubica la única vía de acceso terrestre por medio del cauce Diríá hacia el tanque de almacenamiento de la ASADA. Se cree que, durante eventos de inundaciones las condiciones para que se presenten daños en las infraestructuras que cruzan el cauce del río Diríá se intensifiquen, situación que podría influir en la interrupción del servicio de agua de la comunidad, así como negativamente en capacidad de resiliencia para recuperación de infraestructuras.

### 6.3.8 Análisis de los niveles de riesgos

Una vez identificados los niveles de amenaza mediante la evaluación de las condiciones del territorio y de las condiciones a nivel de infraestructuras, se realiza de manera consecuente la identificación de los sitios vulnerables del acueducto a través de los criterios de evaluación de calidad de agua potable, interrupción del servicio de agua, daños en infraestructura y capacidad de resiliencia.

Así, obtenidos los valores de amenaza y vulnerabilidad, se procede a una evaluación de los datos obtenidos en aras de determinar el grado de riesgo por inundaciones presentes para la ASADA Barrio Limón. Para ello se efectuó una matriz de doble entrada en la que se considera los niveles de amenaza y vulnerabilidad establecidos por el CENEPRED (20214).

**Tabla 53.** Matriz de método simplificado para la determinación de niveles de riesgos

Amenaza Muy Alta	0.503	0.034	0.067	0.131	0.253
Amenaza Alta	0.260	0.018	0.035	0.068	0.131
Amenaza Media	0.134	0.009	0.018	0.035	0.067
Amenaza Baja	0.068	0.005	0.009	0.018	0.034
		0.068	0.134	0.260	0.503
		Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

Fuente: (CENEPRED, 2014, p.156).

De la matriz anterior, se extraen los rangos para los niveles de riesgos los cuales se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 54.** Clasificación de los niveles de riesgo según valores establecidos por la matriz de método simplificado.

Nivel de Riesgo	Rango
Riesgo Muy Alto	$0.068 \leq R \leq 0.253$
Riesgo Alto	$0.018 \leq R \leq 0.068$
Riesgo Medio	$0.005 \leq R \leq 0.018$
Riesgo Bajo	$0.001 \leq R \leq 0.005$

Fuente: (CENEPRED, 2014, p.156).

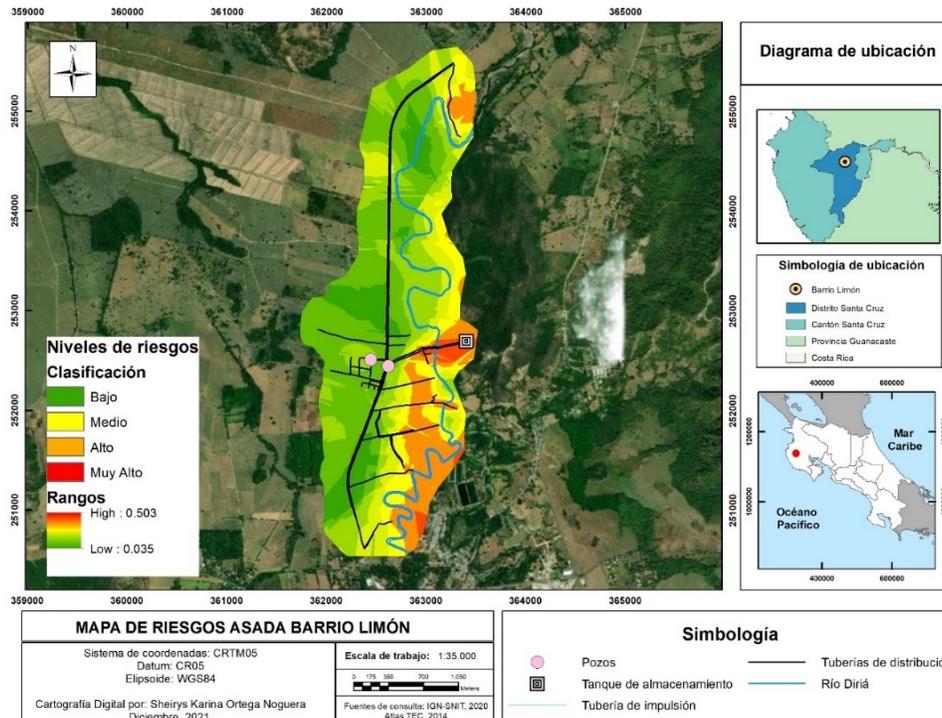
Como se menciona en apartados anteriores, el nivel de riesgo de un medio en específico se basa en la probabilidad con que pueda ocurrir un evento e impactar de manera negativo el medio y su entorno. Por tanto, en aras de terminar el valor de riesgo característico del acueducto Barrio Limón se efectuó el producto del valor de amenaza por la vulnerabilidad obtenidos para las condiciones evaluadas ( $0.269 \cdot 0.10 = 0.0269$ ), con base a lo anterior se determina que en el acueducto Barrio Limón predomina un riesgo alto ( $0.018 \leq R \leq 0.068$ ) por el impacto de inundaciones.

Con el objetivo de representar la distribución espacial del riesgo en el acueducto, se efectuó una superposición de los niveles de amenaza y vulnerabilidad obtenidos mediante la aplicación del análisis jerárquico establecido por Thomas Saaty (apartado 6.3.1 a 6.3.5). De este modo, en la Figura 21 se muestra la distribución del riesgo según lo anteriormente mencionado.

Como se puede observar, gran parte del porcentaje de la infraestructura de la ASADA Barrio Limón se ubica en zonas con bajos niveles de riesgos, se asocia que esta condición es consistente con la información proporcionada por algunos de los miembros que integran el acueducto. De igual manera, el CENEPRED (2014) destaca que, los sitios clasificados con un riesgo bajo suponen peligros mínimos para la población, así como en las infraestructuras de sus servicios.

Por otro lado, en el sector sureste y norte del acueducto se presentan niveles de riesgo alto los cuales se cree que se asocian con la cercanía de las infraestructuras con el cauce del río Diríá. En general, en los sitios con un riesgo alto no siempre se presentan daños en infraestructuras a menos que las mismas, no hayan sido adaptadas a las condiciones del lugar.

Finalmente, el mayor nivel de riesgo estimado se concentra en el sector este del acueducto, propiamente en la vía de acceso terrestre hacia el tanque de almacenamiento, sitio por el cual la tubería de impulsión, así como parte de la tubería de distribución conectan a los demás sistemas del acueducto. Para zonas con riesgos elevados, CENEPRED destaca que debería de considerarse la protección de infraestructuras o en el mejor de los casos no permitir la instalación de estas.



**Figura 21.** Mapa de distribución de los niveles de riesgo por inundaciones en el acueducto Barrio Limón.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

## 6.4 Propuesta de medidas de mitigación de riesgos por inundación.

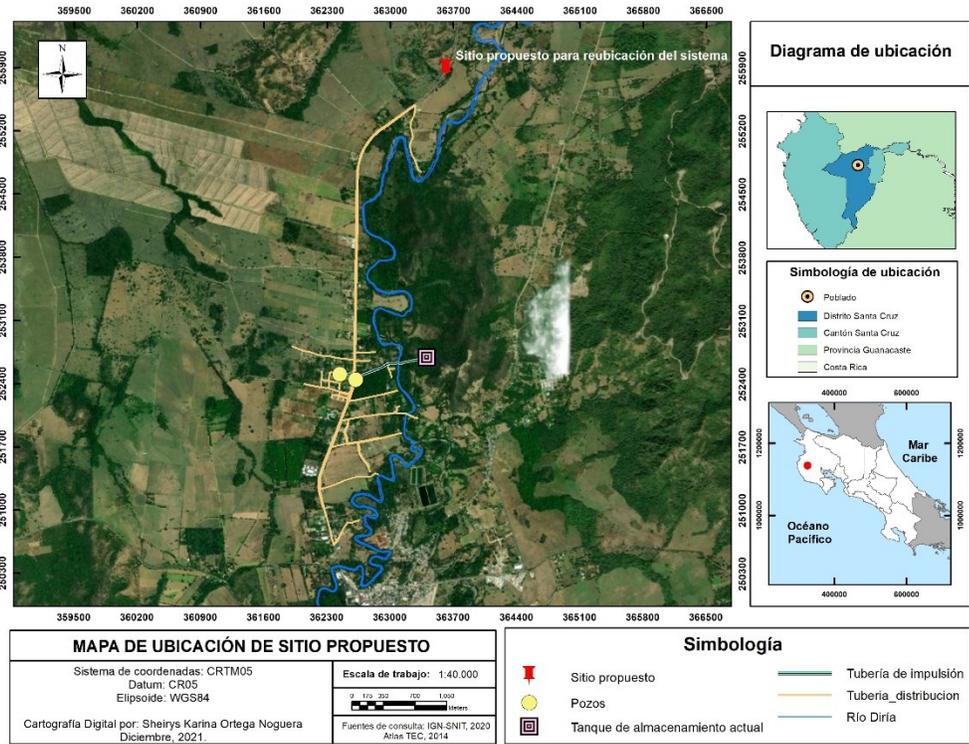
Conocidos los riesgos existentes por eventos de inundación, se plantean algunas medidas que pueden contribuir a minimizar los posibles efectos adversos y/o amenazas que se pueden presentar en los sistemas de acueductos por inundaciones.

### 6.4.1 Aplicación de medidas estructurales

Este tipo de medidas, representan una intervención física mediante el desarrollo o refuerzo de obras de ingeniería para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas y con ello, mejorar las condiciones de resiliencia de los sistemas evaluados (Martínez, 2017, 167). En ese sentido, las medidas propuestas corresponden a:

- Reubicación del sistema de almacenamiento de la ASADA: Se plantea considerar la posibilidad de colocar el sistema de almacenamiento en un sitio en el que se permita su fácil acceso y elimine el problema de incomunicación con dicha estructura durante época lluviosa, así como durante eventos de inundaciones.

Para la atención de esta medida, se ubica como posible sitio de reubicación del tanque uno los puntos con mayor elevación del acueducto, tal como se plantea a continuación.



**Figura 22.** Mapa de ubicación del sitio propuesto para reubicación del sistema de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Tabla 55.** Información del sitio propuesto.

Punto	Elevación	X	Y
Sitio propuesto para reubicación del sistema de almacenamiento	35 msnm	3271000	1141682

Fuente: Elaboración propia, 2021.

- Reubicación de tuberías de impulsión y distribución del sistema de almacenamiento: Con la implementación de la medida de reubicación del tanque de almacenamiento, las tuberías de impulsión y distribución que conecta a este sistema con las demás estructuras del acueducto y que además cruzan el cauce del río Diría serían reubicadas de manera simultánea. Esta acción permitiría disminuir la vulnerabilidad de daños o rupturas en las tuberías a causa de los niveles de aguas que alcanza el cauce el río Diría durante eventos de inundaciones.
- Implementación de sistemas alternos: En el caso de no poder reubicar el sistema de abastecimiento de la ASADA, se recomienda contemplar la implementación de sistemas de abastecimiento alternos, con el fin de garantizar que, ante algún daño en infraestructuras la comunidad no sea afectada por interrupción en el servicio de agua.

- Estructuras de protección: En el caso de no poder reubicar parte de los sistemas del acueducto (tuberías de distribución etc.), se recomienda el reforzamiento de las estructuras existentes en las zonas identificadas como vulnerable.

#### 6.4.2 Aplicación de medidas no estructurales

“Las medidas no estructurales son acciones que no derivan de una construcción física, para estas medidas se utilizan los conocimientos, las prácticas y/o acuerdos tomados para reducir el riesgo y sus posibles impactos” (Martínez, 2017, p.168). De conformidad con lo anterior, medidas no estructurales propuestas son:

- Fomentar la participación de la comunidad para la oportuna evaluación y divulgación de la problemática presentada por inundaciones.
- Realizar análisis de control operativo<sup>8</sup> durante eventos de inundaciones, en aras de garantizar que no exista una disminución en la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable.
- Disponer de insumos suficientes para poder desinfectar el sistema de agua potable ante alguna disminución de la calidad de agua potable.
- Posterior al impacto de inundaciones, verificar que las conexiones de las tuberías, así como el estado de los demás sistemas no cuenten con daños ocasionados por inundaciones.

---

<sup>8</sup> **Control operativo**: “Se refiere al control que lleva a cabo el ente operador, con la finalidad de monitorear permanente y sistemáticamente la calidad del abastecimiento de agua, a fin de tomar acciones correctivas inmediatas en la operación del acueducto, si lo amerita” (MINAE, 2015).

## **6.5 Propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos.**

El presente proyecto, tiene por objetivo generar una propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos, tomando como fundamento investigaciones previas, así como el caso de estudio de la problemática que se presenta en el acueducto de la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz.

Tal como se ha descrito a lo largo de este estudio, Barrio Limón es una comunidad que se ve afectada recurrentemente por inundaciones a causa del desbordamiento del río Diríá a la altura de esta comunidad. Esta situación ha generado repercusiones en la comunicación por vía terrestre con el único tanque de almacenamiento con el que dispone la ASADA, así como otras afectaciones a nivel de infraestructura.

En general, esta problemática ha supuesto un escenario clave para el establecimiento de una línea base que permita evaluar y responder ante los riesgos generados por inundaciones en acueductos. Por tal razón, el proceso metodológico propuesto para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos se efectúa desde la experiencia brindada por el presente caso de estudio, así como de la integración de diferentes procesos estratégicos encontrados durante el desarrollo del trabajo en cuestión. En tal sentido, la propuesta metodológica establecida se en la siguiente figura.

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN Y MITIGACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIONES EN ACUEDUCTOS



Figura 23. Diagrama de propuesta metodológica para evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

### 6.5.1 Etapa I: Delimitación de problemas por inundaciones a nivel de acueductos.

Con la finalidad de conocer la problemática ocasionada por las inundaciones a nivel de acueductos, se plantea en esta primera etapa, llevar a cabo una evaluación de los posibles efectos adversos a los que se exponen las diferentes infraestructuras que conforman el sistema de interés a analizar. Para ello, se plantean algunos criterios que se considera que puedan aportar en la determinación de los problemas que se pueden presentar en un sistema acueductos, dichos criterios a considerar corresponden a:

- Identificación de los sitios en los que se pueden presentar daños en la infraestructura de los sistemas de acueductos ocasionados como: ruptura de tubería y pérdida de materiales.
- Identificación de las vías de acceso terrestre a los sistemas de acueductos, se debe garantizar la accesibilidad durante eventos de inundación.
- Evaluación del comportamiento de la calidad de agua durante y posterior a un evento de inundación.
- Análisis de las pérdidas funcionales del acueducto al presentarse afectaciones en la infraestructura del sistema por inundaciones.
- Evaluación de la capacidad de respuesta en caso de daños o afectaciones.
- Determinación de los niveles de exposición de los componentes del sistema de agua potable frente a inundaciones.

En aras de garantizar que la delimitación de los problemas por inundaciones se realice desde la objetividad, se propone efectuar evaluación en la que se integre la participación tanto del personal encargado de la gestión y operación de los sistemas de acueductos, así como de los diferentes actores sociales que responden a la operación de este. El generar un análisis desde la integración de diversos criterios, permitirá reducir las brechas que limitan una correcta evaluación de riesgos

### 6.5.2 Etapa II: Recopilación de información

Para el esquema estructural de esta segunda etapa, se propone efectuar la recopilación de información mediante la recaudación de datos a partir de trabajo no técnico y trabajo técnico. Referidos al trabajo no técnico, este consiste en la recolección de información a partir del registro histórico de inundaciones disponible para la zona seleccionada a evaluar, así como de los sitios cercanos a la zona de interés. Así mismo, se considera como parte fundamental de este proceso efectuar una revisión de información publicada por los gobiernos regionales y locales sobre el impacto eventos hidrometeorológicos e inundaciones, que han influenciado directa e indirectamente en la zona de estudio, así como diferentes informes técnicos y/o artículos de investigación referentes al tema de inundaciones.

De igual forma, se considera que, como parte fundamental para la construcción base del análisis es indispensable realizar procedimientos de ejecución práctica, orientadas a la recolección de información característica del acueducto a evaluar, para ello, se propone como vía de ejecución la realización de trabajo técnico. Este tipo de trabajo se orientaría a toma de información de campo, el cual se iniciaría con obtención a detalle del trazado de la red del acueducto, tipo de materiales, así como la forma en la que se encuentran conectados los diferentes elementos que la componen.

De igual forma, se considera de importancia la determinación de parámetros de susceptibilidad del territorio, para este punto se propone generar una evaluación de factores propios del terreno los cuales influyen en el comportamiento y respuesta ante fenómenos de inundación. Dentro de los parámetros de evaluación a considerar se plantean:

a) Factores condicionantes: Estos factores aluden a características propias del ámbito geográfico de estudio, el cual contribuye de manera favorable o no al desarrollo de un fenómeno de origen natural como son las inundaciones, en términos de intensidad, distribución espacial (CENEPRED, 2014, p.11). Algunos de los factores condicionantes que se proponen a evaluar son:

- Características geomorfológicas: Área, perímetro de la cuenca o subcuenca de estudio, longitud de cauce, valores de pendiente.

b) Factores desencadenantes: Por su parte, estos factores corresponden aquellos parámetros que contribuyen a desencadenar eventos que pueden generar amenazas por inundaciones.

- Factor de forma.
- Índice de compacidad.
- Tipo de suelo
- Topografía

### 6.5.3 Etapa III: Evaluación de la información

Para la evaluación de la información, se plantea el establecimiento de un análisis el cual integre distintos criterios subjetivos de la percepción de la amenaza, vulnerabilidad y riesgos a los que se expone el acueducto en estudio. Para este punto, se considera de gran relevancia la participación de los actores sociales que conforman el acueducto, con el fin de obtener distintos puntos de vistas y conocimiento que faciliten la interpretación de los riesgos presentes en el sitio a evaluar.

Como propuesta para la determinación de los niveles de amenaza y vulnerabilidad, se sugieren las siguientes alternativas para su evaluación:

a) Amenaza: Se plantean los siguientes parámetros de evaluación de amenazas para el acueducto en virtud de las características propias del territorio, así como de condiciones que pueden incidir en repercusiones de las distintas infraestructuras que conforman el sistema de acueducto. En ese sentido se plantea:

a.1) Por condiciones del territorio:

- Factor de forma.
- Índice de compacidad.
- Tipo de suelo.

a.2) A nivel de infraestructuras:

- Nivel de agua de inundación.
- Cercanía al cauce fluvial.
- Ubicación del sistema en zonas de inundación.

b) Vulnerabilidad: En cuanto al análisis de vulnerabilidad los parámetros propuestos se efectúan en virtud de tres puntos de vista:

- Física: Se propone efectuar una estimación de posibles daños en las infraestructuras que componen los sistemas del acueducto.
- Operativa: Se establece la valoración de la capacidad de continuidad del servicio de agua potable, así como de la calidad de prestación del servicio ante el impacto de inundaciones.
- Organizativa: Se determina la capacidad institucional de la organización prestadora del servicio de agua, para la atender y responder ante amenazas de inundaciones.

Por último, cabe añadir que para la presente propuesta se plantea que el análisis de los niveles de amenazas y vulnerabilidad se efectúe por medio de la metodología de Thomas Saaty (1980). En consideración de este criterio, se recomienda el acompañamiento técnico profesional para una adecuada evaluación.

#### 6.5.4 Etapa IV: Priorización de resultados y plan de acción

A partir de la evaluación de información y el análisis de los niveles de amenazas, vulnerabilidad y riesgos presentes en el acueducto, se sugiere efectuar una identificación y priorización de las acciones necesarias para minimizar los posibles efectos adversos, generados por eventos de inundaciones. En ese sentido, se propone establecer un plan de acción para la reducción de riesgos, para la cual se definen las siguientes subetapas:

a) Definición de objetivos: Se plantea como punto de partida la definición de la meta que se persigue a cumplir con el plan de acción, de manera que se explique de manera resumida el alcance y prioridad de atención del criterio evaluado. Sea, por ejemplo, la atención de problemas por contaminación de fuente, rupturas de tuberías, incomunicación del sistema u otros efectos adversos en el acueducto a causa de inundaciones, según hayan sido definidos como prioritarios.

b) Requerimientos para la implementación de medidas: Ante la implementación de medidas, es indispensable garantizar los requerimientos previos necesarios para el desarrollo de las acciones establecidas, sea el caso de cumplimiento de medidas legales, costos de obras, vías de financiamiento u obtención de permisos con gobiernos locales entre otras instituciones.

c) Plazo de ejecución: Gran parte del porcentaje de efectividad del cumplimiento de una meta se fundamenta en la planificación y definición de tiempos en los que se pretende ejecutar un determinado proyecto. Por tanto, como pieza clave se recomienda el establecimiento de plazos de ejecución de acciones que faciliten la realización de obras o medidas necesarias para la mitigación de riesgos.

#### 6.5.5 Etapa V: Definición de las vías de mitigación de riesgos

Para esta última etapa se plantean algunas propuestas orientadas a la mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos, para ello se sugiere la aplicación de medidas que contribuyan a la disminución de las vulnerabilidades física, operativas y organizativas presentadas por eventos de inundaciones. De manera representativa de cada tipo vía de mitigación de vulnerabilidad, se describen a continuación:

a) Vulnerabilidad física: Las medidas de mitigación para atender los efectos adversos estimados por eventos de inundaciones, consisten en ejecutar medidas físicas que permitan reparar, fortalecer y/o reubicar un componente en el caso de destrucción total o parcial (Plaza & Yépez, 1998).

b) Vulnerabilidad operativa: Las medidas de mitigación de carácter operativo, se enfoca en capacitar u orientar al operador en temas de atención de desastres para garantizar la toma efectiva de acciones, en aras de asegurar la cantidad, continuidad, calidad del agua y un buen estado de operación del sistema (Plaza & Yépez, 1998).

c) Vulnerabilidad organizativa: En cuanto a las medidas de mitigación organizativa, consisten en capacitar al personal para mejorar las deficiencias de la organización institucional para poder implementar las medidas de mitigación físicas y operativas necesarias para la reducción de riesgos.

Establecidas las vías de atención anterior, se proponen las siguientes medidas de mitigación:

- Implementación de medidas estructurales:
  - Reubicación de sistemas del acueducto: tanque de almacenamiento, tuberías de distribución, tuberías de conducción y/o impulsión.
  - Construcción de pasos subfluviales de tuberías.
  - Construcción de estructuras de protección.
  - Reforzamientos de estructuras existentes.
  - Sistemas de evacuación de aguas pluviales.
  
- Medidas no estructurales:
  - Inclusión de participación comunitaria en temas de divulgación y atención de riesgos.
  - Establecimientos de pautas para el análisis de control operativo durante y después de eventos de inundaciones.
  - Establecimiento de procedimientos para la atención y reparación de daños.
  - Establecimiento de procedimientos para evaluación de infraestructuras posterior a impactos de inundaciones.

## **6.6 Principales hallazgos del proyecto**

- i. Hallazgo 1:** Incomunicación por vía de acceso terrestre hacia el tanque de almacenamiento de la ASADA.

Se identifica que la única vía de acceso terrestre hacia el tanque de almacenamiento del que dispone la ASADA, se realiza a través del cruce del cauce del río Diríá a la altura de la comunidad de Barrio Limón.

Esta situación supone la principal problemática encontrada durante el desarrollo del presente estudio, puesto que, durante época de invierno los niveles de agua del río Diríá aumentan lo cual problemas de comunicación con el sistema de almacenamiento del acueducto. Consecuentemente, este problema se intensifica durante eventos de inundaciones lo cual ocasiona una pérdida de comunicación total con el tanque de almacenamiento, imposibilitando el acceso para realizar las inspecciones o mantenimientos requeridos por dicho sistema.

- ii. Hallazgo 2:** Diferencias de percepción de amenazas.

El personal que conforma la ASADA detalla que, no considera que actualmente se presente alguna problemática relacionada con el impacto de eventos de inundaciones. Así mismo, dichos integrantes de esta organización aluden, a que la incomunicación con el sistema de almacenamiento durante época

de invierno, así como a intensificación de este problema durante inundaciones, sea una situación que represente alguna amenaza en el funcionamiento u operación del acueducto.

Sin embargo, los criterios brindados por parte de la comunidad a la que brinda el servicio de abastecimiento la ASADA, revelan que se debe de considerar la incomunicación con el sistema de almacenamiento, como uno de los principales criterios de atención puesto que, eventualmente se podrían llegar a presentar daños u efectos adversos al acueducto a raíz de esta incomunicación.

**iii. Hallazgo 3:** Percepción de cambios en la calidad del agua.

De acuerdo con la información brindada por parte de los usuarios que conforman el acueducto Barrio Limón, se destaca que, durante algunos eventos de inundaciones fue posible percibir una disminución de la calidad del agua potable, evidenciada a través del aumento de los niveles de turbiedad.

Tras el análisis de las posibles causas se determina que los niveles de agua alcanzados por las inundaciones no generan contaminación directa a las fuentes de abastecimiento; sin embargo, fundamentados en la información proporcionada por los usuarios se establece que una de las posibles causas que influya en el aumento de turbidez se atribuya a una posible intrusión de las aguas de inundación en fisuras presentes en el acueducto.

**iv. Hallazgo 4:** Necesidad de inclusión de criterios externos al personal de la ASADA.

Durante la realización del proyecto en cuestión, se identifica poca subjetividad para la visualización de riesgos por parte del personal de la ASADA. Este hallazgo se considera relevante porque puede influir en la confiabilidad de la información requerida para la clasificación de los niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgos a los que se enfrenta el acueducto.

**v. Hallazgo 5:** Necesidad de implementación de medidas de mitigación de riesgos.

A partir de la evaluación, se identifica que el acueducto posee un nivel de riesgo de 0.0269 el cual según la metodología empleada se clasifica como un riesgo alto. En fundamento a esta clasificación, se evidencia la necesidad de implementación de medidas de la ASADA para mitigar los riesgos.

## **6.7 Sobre los objetivos planteados**

Para el cumplimiento del presente trabajo, se estableció como objetivo general el “proponer una metodología para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos, mediante la aplicación de caso de la ASADA de Barrio Limón de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica”. Para su realización, se establecieron cuatro objetivos específicos necesarios para la consecución del objetivo principal.

### **6.7.1 Objetivo específico primero**

El primer objetivo específico establecido pretendía realizar una recopilación de información de registro histórico de riesgos por inundaciones mediante la base de datos del gobierno local, para caracterizar las condiciones zona de la cuenca a la que pertenece el acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz. En ese sentido, el proceso de obtención de registro histórico demarca el punto de partida que permite comprender a grandes rasgos, el comportamiento de las inundaciones en la zona de estudio.

En el proceso de desarrollo, se encontró poca información sobre riesgos de inundaciones para el sitio de interés por lo que, para el cumplimiento exitoso de este objetivo fue necesario complementar la información mediante la realización de entrevistas efectuadas al personal de la ASADA, parte de la comunidad de Barrio Limón, así como a la municipalidad de Santa Cruz siendo este último el gobierno local encargado de la atención de emergencias por inundaciones del cantón.

### **6.7.2 Objetivo específico segundo**

En cuanto al segundo objetivo específico se planteó efectuar una caracterización de los sistemas que componen el acueducto de la ASADA Barrio Limón mediante un levantamiento de campo con el propósito de identificar las infraestructuras con mayor riesgo por inundaciones. Este objetivo fue desarrollado de manera exitosa mediante el acompañamiento técnico brindado por el personal de la ASADA de modo que se obtuvo a detalle el trazado de la red, tipo de materiales, ubicación de los sistemas de abastecimiento y almacenamiento, así como la forma en la que están conectados los diferentes elementos que componen que integran el acueducto.

Cabe añadir que, conocer la manera en que se distribuyen los diversos sistemas de la ASADA, permitió efectuar una evaluación con mayor propiedad acerca de las condiciones de amenazas, vulnerabilidades y riesgos a los que se expone el acueducto. De manera consecuente, esta acción contribuyó en la evaluación del caso de estudio, lo cual supuso uno de los principales insumos que permitieron dar origen a la línea lógica de ejecución de la propuesta metodológica que buscó cumplir el trabajo en cuestión.

### 6.7.3 Objetivo específico tercero

Como tercer objetivo específico se planteó elaborar una metodología a partir de la integración de investigaciones previas acerca de mitigación de riesgos por inundaciones, con el fin de establecer líneas de decisión sobre la operación actual y futura en sistemas de acueductos. El cumplimiento de este objetivo inició con una evaluación teórica fundamentada a partir de cinco documentos guía para la evaluación y mitigación de riesgos los cuales se mencionan con mayor detalle en el apartado 6.1.

Identificadas las estrategias e instrumentos de valoración del riesgo por inundaciones, se procedió a extraer los criterios considerados claves para la estimación de amenaza, vulnerabilidad y riesgos en acueductos. Posteriormente, se procesó la información a través del análisis jerárquico establecido según la metodología de Thomas Saaty (1980) lo cual permitió establecer las condiciones características para la una evaluación de riesgos por inundaciones en el acueducto.

A partir de las consideraciones de registro histórico de riesgos, levantamiento de la infraestructura del acueducto, así como de la integración de investigaciones previas se procedió a la formulación de la propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos en acueductos. De esta manera, se cumplió de manera exitosa lo propuesto para este tercer objetivo específico.

### 6.7.4 Objetivo específico cuarto

En cuanto al cuarto y último objetivo específico, este correspondió a indicar las medidas de mitigación de riesgos por inundación en la ASADA Barrio Limón de Santa Cruz mediante la aplicación de la metodología desarrollada, para reducir los riesgos por inundación. El cumplimiento de este objetivo se llevó a cabo de manera satisfactoria ya que, la ejecución de la metodología propuesta permitió obtener una orientación acerca de las medidas de mitigación de riesgos por inundaciones en infraestructuras como son los acueductos y en fundamento a ello, plantear las propuestas de acuerdo con las características según las condiciones de la ASADA Barrio Limón.

## **6.8 Sobre la metodología planteada**

El diseño metodológico formulado para este proyecto se fundamentó en el establecimiento de una serie de pautas que permitieron ejecutar las acciones necesarias para el cumplimiento de los objetivos delimitados para el trabajo en cuestión.

En ese sentido la metodología planteada se estructuró en tres etapas (ver sección 5.2), la primera de ellas constó de una evaluación teórica la cual permitió establecer la base y enfoque para el análisis de riesgos en acueductos. Es importante mencionar que, esta evaluación teórica fue una de las piezas claves que permitieron comprender los posibles efectos adversos que se pueden presentar en acueductos por el impacto de inundaciones; consideración que, además, fue indispensable para el desarrollo de criterios subjetivos empleados en análisis posteriores.

Como segunda etapa, el diseño metodológico propone la ejecución de trabajo experimental el cual se fundamentó en la recolección de información propia del acueducto utilizado como caso de estudio. El planteamiento de esta vía de recolección de datos se considera una de las pautas más acertadas de esta metodología, puesto que permitió un acercamiento con los diferentes actores sociales que se relacionan de manera directa e indirecta con el acueducto Barrio Limón; esto a su vez contribuyó en la identificación de las principales problemáticas presentadas por eventos de inundaciones, así como en la determinación de los riesgos a los que se enfrenta este acueducto.

En cuanto a la tercera etapa, en ella se estableció una serie de criterios de evaluación de las amenazas, vulnerabilidades y riesgos del acueducto evaluado, en la que se fundamentó la propuesta metodológica con la que culminó el proyecto. Durante el desarrollo de esta tercer y última etapa, se identifica como oportunidad de mejora la inclusión de un análisis de precipitaciones el cual permita delimitar la distribución espacial de las lluvias en la comunidad de Barrio Limón esto con el objetivo de contribuir en la identificación de los sitios en los que se pueden presentar riesgos por precipitaciones causantes de inundaciones.

## **CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1 Conclusiones**

1. La ASADA Barrio Limón presenta un valor de amenaza por inundaciones de 0.261, clasificándolo como un sitio de amenaza muy alta. Además, se ubica que la mayor concentración de estas amenazas se presenta en los sectores este, sureste y norte del acueducto siendo los sitios con mayor cercanía al cauce del río Diríá.
2. El valor general de la vulnerabilidad obtenida tiene una cuantificación de 0.10 puntos lo cual indica que el acueducto se encuentra dentro de la categoría de vulnerabilidad media por inundaciones. En el análisis se determinó que los valores más altos de vulnerabilidad se concentran en el sector centro y oeste del acueducto, siendo estos los sitios donde se ubican las fuentes de abastecimiento del acueducto, así como la única vía de acceso terrestre al tanque de almacenamiento de la ASADA.
3. El riesgo por inundación en el acueducto Barrio Limón presenta un valor de 0.0269 el cual se clasifica como “muy alto”; se determinó que la mayor concentración de riesgo se localiza en el sector este del acueducto, propiamente en la vía de acceso terrestre hacia el tanque de almacenamiento, sitio por el cual la tubería de impulsión, así como parte de la tubería de distribución conectan a los demás sistemas del acueducto.
4. Se elaboró una propuesta metodológica para la evaluación y mitigación de riesgos por inundaciones en acueductos, de acuerdo con las características y problemática presentada en la ASADA Barrio Limón. Por lo que se señala la conveniencia de contar con diversos escenarios que permitan fortalecer la propuesta del trabajo en cuestión.
5. El personal que conforma la ASADA tiene conocimientos sobre aspectos técnicos de operación, mantenimiento y fontanería, sin embargo, posee algunas debilidades en temas de gestión de riesgos lo cual influye en la percepción e identificación de los riesgos presentados en el acueducto.

## **7.2 Recomendaciones**

1. Para disminuir las amenazas presentes en el acueducto se recomienda definir acciones y procedimientos en los que se detallen las pautas de intervención a realizarse antes, durante y después de un evento de inundación.
2. Para la reducción de la vulnerabilidad se recomienda realizar obras de protección para las fuentes de abastecimiento, así como para las estructuras situadas en el cauce del río Diríá.
3. Como medida de mitigación de los riesgos en el sector este del acueducto, se recomienda considerar la reubicación del sistema de almacenamiento de agua en un sitio en el que se permita su fácil acceso y elimine el problema de incomunicación con dicha estructura durante época lluviosa, así como durante eventos de inundaciones.
4. Con el objetivo de validar y mejorar la propuesta metodológica, se recomienda la implementación de la misma en diferentes acueductos cuyas condiciones de operación sean diferentes a las del acueducto utilizado como caso de estudio.
5. En virtud de mejorar los criterios de análisis considerados para la evaluación de los niveles de riesgos, se sugiere la implementación de variables hidrológicas, con el fin de conocer la distribución espacial precisa de las inundaciones y estimar con mayor efectividad las potenciales amenazas y vulnerabilidades a las que se expone el acueducto.
6. Se sugiere efectuar un análisis que incluya la participación comunitaria, con el objetivo de integrar múltiples criterios en la evaluación de riesgos y así promover la integralidad en los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, L., (2021). *Entrevista prefactibilidad social. (S. Ortega, Entrevistador)*. Liberia, Costa Rica: s.n.

Alzate, J. & Vélez, A., 2017. *Guía para el Cálculo de Bloques de Anclaje para Redes Secundarias de Acueducto*. Medellín, Colombia: Empresas Públicas de Medellín..

Angarita, R. & Meléndez, M., 2009. *Fuentes de Abastecimiento*. Venezuela: Universidad Santa María Núcleo Barinas, Facultad de Ingeniería Acueductos y Cloacas.

Arteaga, D. & Ordoñez, J., 2019. *Guía para la Gestión del Riesgo en Sistemas de Agua y Saneamiento ante Amenazas Naturales*. Ecuador: Banco Interamericano de Desarrollo.

Bartram, J. y otros, 2009. *Manual para el Desarrollo de Planes de Seguridad del Agua: Metodología Pormenorizada de Gestión de Riesgos para Proveedores de Agua de Consumo*. s.l.:Organización Mundial de la Salud.

Borner, S., 2013. *Análisis de la Percepción de Riesgos Ambientales para la Salud en Niños y Adolescentes de Comunidades Vulnerables Bajo Riesgos Múltiples, en la ciudad de San Luis Potosí, México*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Cardona, G., 2013. *La Cuenca Urbana Unidad Territorial para el Desarrollo Sostenible de Ciudades de Media Montaña en el Tropic Adino Colombiano*, Manizales, Colombia: s.n.

Castillo, B., 2021. *Modelación Hidrológica e Hidráulica para la Valoración del Riesgo de Inundación en un Tramo del Río Lepanto en la Península de Nicoya, Costa Rica.*, Liberia, Guanacaste.: Universidad Nacional, Costa Rica..

CENEPRED, 2014. *Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales*. Lima, Perú: s.n.

CENEPRED, 2015. *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. Segunda Edición ed. Lima, Perú: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED.

Chow, V., 1994. *Hidrología Aplicada*. s.l.:McGRAW-Hill Interamericana, S.A. .

CNE, 2006. *Amenazas de Origen Natural en el Cantón de Santa Cruz*. San Jose, Costa Rica: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE).

CONAGUA, 2011. *Manual para el Control de Inundaciones*. Coyoacán, México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Derenzin-Shulla, F., 2019. *Modelo de Prevención para Reducir los Riesgos de Desastres en San Agustín (Anexo 22) Jicamarca, Distrito de San Antonio de Huarochirí-Lima*. Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal.

Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M. & Varela-Ruíz, M., 2013. *La entrevista, Recurso Flexible y Dinámico*. México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Feoli-Peña, C., 2005. *Estudio de Prefactibilidad para la Implementación de un Restaurante de Comidas Cárnicas con un Servicio de Alto Valor Agregado*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Fournier, L., 2015. *Las Zonas de Vida en Guanacaste*. San José, Costa Rica: Revista Universidad de Costa Rica Volumen 38 (1974).

García, G. & Fernández, E., 2010. *Una propuesta metodológica para la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la selección de autogeneradores*. Patriarca, España: Universidad Cardenal Herrera.

García, N., 2019. *Plan de Seguridad del Agua de la ASADA Las Vueltas, Parrita, Puntarenas*, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Gaspari, F. y otros, 2012. *Caracterización Morfométrica de la Cuenca Alta del Río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Gaspari, F., Senisterra, G. & Marlats, R., 2006. *Relación Precipitación – Escorrentía y Número de Curva Bajo Diferentes Condiciones de Uso de Suelo. Cuenca Modal del Sistema Serrano de La Ventana, Argentina*, Mendoza, Argentina: Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Gutiérrez, W., (2021). *Percepción del riesgo por inundaciones en el acueducto de Barrio Limón. (S. Ortega, Entrevistador)*, Santa Cruz, Guanacaste: s.n.

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P., 2014. *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición ed. s.l.:McGRAWL-Hill Education.

Ibáñez-Asensio, A., Moreno-Ramón, H. & Gisbert-Blanquer, M., 2011. *Morfología de las Cuencas Hidrográficas*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Ibarra, L., 2016. *Vulnerabilidad Social en Tijuana por Eventos de tipo Hidrometeorológico, Caso de Estudio: Colonia 3 de octubre.*, Tijuana, B. C., México.: s.n.

Inca-Carrillo, A., 2013. *Programa Educativo sobre Preparación frente a Riesgos y Desastres Naturales en los Habitantes. Recinto La Florida. Cantón Palestina. Provincia del Guayas, Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.*

Instituto Meteorológico Nacional, 2020. *Eventos Hidrometeorológicos Extremos.* San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

Jiménez, F., 2007. *Construcción de Capacidades en Investigación para la Prevención y Mitigación de Desastres Naturales en América Central*, San Salvador, El Salvador.: CATIE.

Jiménez, J., 2013. *Manual para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario*, Veracruz, México: Universidad Veracruzana.

Lara-San Martín, A., 2013. *Percepción social en la gestión del riesgo de inundación en un área mediterránea (Costa Brava, España).* Girona, España: Universitat de Girona.

Lavell, A. y otros, 2003. *La Gestión Local del Riesgo: Nociones y Precisiones en torno al Concepto y la Práctica.* Guatemala: Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC).

Martínez, R., 2017. *Evaluación de Riesgos por Inundaciones, en el Barrio Bajo del Distrito de Yuracyacu, Provincia de Rioja, Región San Martín.* Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villareal.

MINAE, 2015. *Reglamento para la Calidad del Agua Potable: DECRETO 38924-S.* s.l.:Sistema Costarricense de Información Jurídica.

Monslave, G., 1995. *Hidrología en la Ingeniería.* Bogotá, Colombia: 1999 Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Moreno, S., (2021). *Percepción del riesgo por inundaciones en el acueducto de Barrio Limón. (S. Ortega, Entrevistador)*, Santa Cruz, Guanacaste: s.n.

Musy, A., 2001. *Hidrología General.* Lausana, Suiza: Escuela Politécnica Federal de Lausana.

Ordoñez, J., 2011. *Contribuyendo al Desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico.* Lima, Perú: Global Water Partnership South America.

Organización Panamericana de la Salud, 2004. *Emergencias y Desastres en Sistemas de Agua Potable y Saneamiento: Guía para una Respuesta Eficaz*, Washington, D.C: Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.

Organización Panamericana de la Salud, 2004. *Emergencias y Desastres en Sistemas de Agua Potable y Saneamiento: Guía para una Respuesta Eficaz*, Washington, D.C.: Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.

Orozco, R., 2018. *Valoración Económica de Daños por Inundación en la Cuenca del Río Parrita, Pacífico Central, Costa Rica*, Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Ortega, K., (2021). *Percepción del riesgo por inundaciones en el acueducto de Barrio Limón. (S. Ortega, Entrevistador)*, Santa Cruz, Guanacaste: s.n.

Paniagua, H. & Rodríguez, N., 2019. *Gestión Integral de Riesgo en ASADAS (GIRA)*, San José, Costa Rica: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Paz, A., 2004. *Erosión y Escorrentía*, Coruña, España: ResearchGate.

Pérez-Briceño, P., Alfaro, E., Hidalgo, H. & Jiménez, F., 2016. *Distribución Espacial de Impactos de Eventos Hidrometeorológicos en América Central*, San José, Costa Rica: Revista de Climatología Vol. 16 (2016): 63-75.

Pérez-Coto, L., 2016. *Evaluación de la Capacidad Hidráulica de la Red de Distribución del Acueducto de San Francisco de León Cortés*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Pimienta, R., 2000. Encuestas Probabilísticas vs No Probabilísticas. *Política y Cultura*, Vol 13(0188-7742).

Ramirez, F., Ghesquiere, F. & Costa, C., 2017. *Un modelo para la Planificación de la Gestión del Riesgo de Desastres en Grandes Ciudades*. Bogotá, Colombia: Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres (UNDRR).

Rivera, E. & Suarez, V., 2018. *Propuesta para la Optimización del Sistema de Acueducto del Municipio de Tena (Cundinamarca)*, Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Rivera, E. & Suárez, V., 2018. *Propuesta para la Optimización del Sistema de Acueducto del Municipio de Tena (Cundinamarca)*, Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Roark, G. y otros, 2013. *Actividades Predominantes a nivel Nacional, Regional y Local de las PyMEs*. Buenos Aires, Argentina: Revista digital de Ciencias Administrativas.

Rojas-Crotte, I., 2011. Elementos para el Diseño de Técnicas de Investigación: Una Propuesta de Definiciones y Procedimientos en la Investigación Científica. *Redalyc*.

Romero-Cruz, B. y otros, 2015. *Análisis Morfométrico de la Cuenca Hidrográfica del Río Cuale, Jalisco, México*. Investigación y Ciencia 2015, Vol 23 ed. Jalisco, México: Redalyc.

Saaty, T., Rogers, P. & Pell, R., 1980. *Portfolio selection through hierarchies*. s.l.:Journal of Portfolio Management.

Sapag, N., Sapag, R. & Sapag, J., 2014. *Preparación y Evaluación de Proyectos*. s.l.:Mc Graw Hill.

Sobrero, F., 2009. *Análisis de Viabilidad de Proyectos*. s.l.:FCE-ULN.

Solano, J. & Villalobos, R., 2000. *Regiones y Subregiones Climáticas de Costa Rica*, San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

Stake, R., 1998. *Investigación con Estudio de Casos*. España: Morata.: s.n.

UNESCO, 2012. *Glosario Hidrológico Internacional*. No. 385 ed. Ginebra, Suiza: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNISDR, 2016. *Terminología Relacionada a la Reducción del Riesgo de Desastres*. Ginebra, Suiza: s.n.

Uriarte, A., 2006. *El Régimen Pluviométrico en San Sebastián*, Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.

Vallejos-Vázquez, S., Valverde-Esquivel, L. & Hidalgo-Madrigal, M., 2012. *Historico de Desastres en Costa Rica (Febrero 1723 - Setiembre 2012)*. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Verdugo-Cárdenas, M., 2019. *Estudios Morfométricos y Análisis de Inundaciones del Río Cumbre, Provincia del Azuay; mediante los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) con la herramienta GeoRAS y el programa HecRAS*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.

Vide, M., 1998. *Cambios en el sistema climático: escala, métodos y efectos (desertificación)*, Salvador de Bahía, Brasil : UNIFACS.

Villón, M., 2002. *Hidrología*, Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Zambrana, Y., 2008. *Plan de Manejo y Gestión de la Subcuenca del Río San Francisco, Matagalpa, Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria, UNA.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Oficina ASADA Barrio Limón de Santa Cruz.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 2.** Anclajes colocados para el cruce de tuberías por el cauce del río Diríá a la altura de la comunidad de Barrio Limón.



Fuente: (ICEA, 2020).

**Anexo 3.** Colocación de los anclajes para el cruce de tuberías de impulsión - distribución a través del río Diríá.



Fuente: (ICEA, 2020).

**Anexo 4.** Encuesta dirigida a los abonados del acueducto Barrio Limón para conocimiento de la percepción social sobre eventos de inundaciones.

 <p>INGENIERÍA HIDROLÓGICA UNIVERSIDAD NACIONAL</p>	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL, COSTA RICA. SEDE REGIONAL CHOROTEGA. LIC. INGENIERÍA HIDROLÓGICA. PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN</p>	 <p>UNA UNIVERSIDAD NACIONAL COSTA RICA</p>
Encuesta:	Percepción del riesgo por inundaciones en el acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz.	
Entrevistador (a):	Sheirys Karina Ortega Noguera	
Dirigido a:	Abonados del acueducto de Barrio Limón de Santa Cruz.	
Preguntas		
1.	¿Ha sufrido usted o su familia afectación por inundaciones en los últimos años?	
2.	¿Qué conocimiento tiene sobre el impacto de las inundaciones en el acueducto de su comunidad?	
3.	¿Conoce usted las áreas con mayores afectaciones por inundación en su comunidad?	
4.	¿Durante eventos de inundaciones ha percibido un cambio en la calidad de agua potable como aumento de la turbidez, cambio de sabor?	
5.	¿Se ha interrumpido el servicio de agua potable por afectaciones de inundación?	
6.	¿Conoce usted si el acueducto ha sufrido pérdidas de infraestructura por eventos de inundaciones?	
7.	¿Cree usted que durante inundaciones el personal de la ASADA pueda atender emergencias en alguno de los sistemas que integran el acueducto?	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 5.** Matriz inversa de las sumas para evaluación de amenaza por condiciones del territorio

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Índice de compacidad	Longitud del cauce	Factor de forma
Índice de compacidad	1.00	7	3
Longitud del cauce	1/7	1.00	1/5
Factor de forma	1/3	5	1.00
Suma	1.48	13.00	4.20
<b>1/Suma</b>	<b>0.68</b>	<b>0.08</b>	<b>0.24</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 6.** Matriz de priorización de resultados de amenazas por condiciones del territorio

Matriz de comparación			Valor de priorización		
Longitud del cauce	Factor de forma	Índice de compacidad	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	7	3	0.64	2.008	3.121
1/7	1	0.2	0.07	0.222	3.01
1/3	5	1	0.28	0.866	3.062
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.066</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 7.** Cálculo de índice de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones del territorio.

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 8.** Cálculo de relación de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones del territorio.

$$RC = \frac{0.03}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.06 (6\%)$$

**Anexo 9.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor - índice de compacidad

<b>CRITERIO</b>	1 a 1.25: Alta respuesta ante precipitaciones	1.25 a 1.50: Respuesta moderada ante precipitaciones	1.50 a más de 2: Respuesta lenta ante precipitación
1 a 1.25: Alta respuesta ante precipitaciones	1.00	3	5
1.25 a 1.50: Respuesta moderada ante precipitaciones	1/3	1.00	3
1.50 a más de 2: Respuesta lenta ante precipitación	1/5	1/3	1.00
Suma	1.53	4.33	9.00
<b>1/Suma</b>	0.65	0.23	0.11

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 10.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor - índice de compacidad

<b>CRITERIO</b>	1 a 1.25: Alta respuesta ante precipitaciones	1.25 a 1.50: Respuesta moderada ante precipitaciones	1.50 a más de 2: Respuesta lenta ante precipitación
1 a 1.25: Alta respuesta ante precipitaciones	0.652	0.69	0.56
1.25 a 1.50: Respuesta moderada ante precipitaciones	0.217	0.23	0.33
1.50 a más de 2: Respuesta lenta ante precipitación	0.130	0.08	0.11
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 11.** Matriz de priorización de resultados, descriptor - índice de compacidad

<b>Matriz de comparación</b>			<b>Valor de priorización</b>		
1 a 1.25: Alta respuesta ante precipitaciones	1.25 a 1.50: Respuesta moderada ante precipitaciones	1.50 a más de 2: Respuesta lenta ante precipitación	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
<b>1</b>	3	5	0.63	1.946	3.072
<b>1/3</b>	1	3	0.26	0.790	3.03
<b>1/5</b>	1/3	1	0.11	0.320	3.011
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.039</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 12.** Cálculo de índice de consistencia, descriptor - índice de compacidad

$$IC = \frac{3.039-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.02$$

**Anexo 13.** Cálculo de relación de consistencia, descriptor - índice de compacidad

$$RC = \frac{0.02}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.04 (4\%)$$

**Anexo 14.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – longitud del cauce

<b>CRITERIO</b>	Mayor de 80 km: Alta incidencia de propagación de crecidas	20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas
Mayor de 80 km: Alta incidencia de propagación de crecidas	1.00	3	7
20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	1/3	1.00	3
20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	1/7	1/3	1.00
<b>Suma</b>	1.48	4.33	11.00
<b>1/Suma</b>	0.68	0.23	0.09

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 15.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – longitud del cauce

<b>CRITERIO</b>	Mayor de 80 km: Alta incidencia de propagación de crecidas	20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas
Mayor de 80 km: Alta incidencia de propagación de crecidas	0.677	0.69	0.64
20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	0.226	0.23	0.27
20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	0.097	0.08	0.09
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 16.** Matriz de priorización de resultados, descriptor - longitud del cauce

Matriz de comparación			Valor de priorización		
Mayor de 80 km: Alta incidencia de propagación de crecidas	20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas	20 a 80 km: Moderada incidencia de propagación de crecidas			
			*		
<b>1</b>	3	7		Peso $\lambda$	Cociente $\lambda$
<b>1/3</b>	<b>1</b>	3		0.67	2.015
<b>1/7</b>	1/3	<b>1</b>		0.24	0.731
				0.09	0.265
				<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.007</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 17.** Cálculo de índice de consistencia, descriptor - longitud del cauce

$$IC = \frac{3.007-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.02$$

**Anexo 18.** Cálculo de relación de consistencia, descriptor - longitud del cauce

$$RC = \frac{0.004}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.01 (1\%)$$

**Anexo 19.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – factor de forma

CRITERIO	0.01 - 0.18: Cuenca menormente sujeta a crecientes	0.19 - 0.36: Cuenca moderadamente sujeta a crecientes	0.37 - 0.54: Cuenca altamente sujeta a crecientes
0.01 - 0.18: Cuenca menormente sujeta a crecientes	<b>1.00</b>	5	7
0.19 - 0.36: Cuenca moderadamente sujeta a crecientes	1/5	<b>1.00</b>	3
0.37 - 0.54: Cuenca altamente sujeta a crecientes	1/7	1/3	<b>1.00</b>
Suma	1.34	6.33	11.00
<b>1/Suma</b>	<b>0.74</b>	<b>0.16</b>	<b>0.09</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 20.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor - factor de forma

<b>CRITERIO</b>	0.01 - 0.18: Cuenca menormente sujeta a crecientes	0.19 - 0.36: Cuenca moderadamente sujeta a crecientes	0.37 - 0.54: Cuenca altamente sujeta a crecientes
0.01 - 0.18: Cuenca menormente sujeta a crecientes	0.745	0.79	0.64
0.19 - 0.36: Cuenca moderadamente sujeta a crecientes	0.149	0.16	0.27
0.37 - 0.54: Cuenca altamente sujeta a crecientes	0.106	0.05	0.09
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 21.** Matriz de priorización de resultados, descriptor - factor de forma

<b>Matriz de comparación</b>				<b>Valor de priorización</b>		
0.01 - 0.18: Cuenca menormente sujeta a crecientes	0.19 - 0.36: Cuenca moderadamente sujeta a crecientes	0.37 - 0.54: Cuenca altamente sujeta a crecientes	*	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	5	7		0.72	2.273	3.141
1/5	1	3		0.19	0.588	3.04
1/7	1/3	1		0.08	0.251	3.014
				<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.066</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 22.** Cálculo de índice de consistencia, descriptor - longitud del cauce

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 23.** Cálculo de relación de consistencia, descriptor - factor de forma

$$RC = \frac{0.03}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.06 (6\%)$$

**Anexo 24.** Matriz inversa de las sumas para evaluación de amenaza por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Nivel de agua de inundación	Cercanía al cauce del río	Ubicación en zonas de inundación
Nivel de agua de inundación	1.00	1/5	1/3
Cercanía al cauce del río	5	1.00	3
Ubicación en zonas de inundación	3	1/3	1.00
Suma	9.00	1.53	4.33
<b>1/Suma</b>	<b>0.11</b>	<b>0.65</b>	<b>0.23</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 25.** Matriz de priorización de resultados de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras

Matriz de comparación			Valor de priorización		
Nivel de agua de inundación	Cercanía al cauce del río	Ubicación en zonas de inundación	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	1/5	1/3	0.11	0.320	3.011
5	1	3	0.63	1.946	3.07
3	1/3	1	0.26	0.790	3.033
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.039</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 26.** Cálculo de índice de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras

$$IC = \frac{3.039-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.02$$

**Anexo 27.** Cálculo de relación de consistencia de parámetros de evaluación de amenazas por condiciones de susceptibilidad de infraestructuras

$$RC = \frac{0.02}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.04 (4\%)$$

**Anexo 28.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – niveles de agua de inundación.

<b>CRITERIO</b>	0 a 20 cm: Baja altura de inundación	20 a 40: Moderada altura de inundación	40 a 60: Alturas elevadas de inundación
0 a 20 cm: Baja altura de inundación	1.00	1/3	1/5
20 a 40: Moderada altura de inundación	3	1.00	1/3
40 a 60: Alturas elevadas de inundación	5	3	1.00
Suma	9.00	4.33	1.53
<b>1/Suma</b>	0.11	0.23	0.65

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 29.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – niveles de agua de inundación.

<b>CRITERIO</b>	0 a 20 cm: Baja altura de inundación	20 a 40: Moderada altura de inundación	40 a 60: Alturas elevadas de inundación
0 a 20 cm: Baja altura de inundación	0.111	0.08	0.13
20 a 40: Moderada altura de inundación	0.333	0.23	0.22
40 a 60: Alturas elevadas de inundación	0.556	0.69	0.65
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 30.** Matriz de priorización de resultados, descriptor – niveles de agua de inundación.

<b>Matriz de comparación</b>			<b>Valor de priorización</b>		
0 a 20 cm: Baja altura de inundación	20 a 40: Moderada altura de inundación	40 a 60: Alturas elevadas de inundación	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	1/3	1/5	0.11	0.320	3.011
3	1	1/3	0.26	0.790	3.03
5	3	1	0.63	1.946	3.072
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.039</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 31.** Cálculo de índice de consistencia, descriptor – niveles de agua de inundación

$$IC = \frac{3.039-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.02$$

**Anexo 32.** Cálculo de relación de consistencia, descriptor – niveles de agua de inundación

$$RC = \frac{0.02}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.04 (4\%)$$

**Anexo 33.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río

CRITERIO	Menor a 80 m	Entre 81 a 250 m	Mayor a 250 m
Menor a 80 m	1.00	1/7	1/5
Entre 81 a 250 m	7	1.00	3
Mayor a 250 m	5	1/3	1.00
Suma	13.00	1.48	4.20
<b>1/Suma</b>	0.08	0.68	0.24

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 34.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río

CRITERIO	Menor a 80 m	Entre 81 a 250 m	Mayor a 250 m
Menor a 80 m	0.077	0.10	0.05
Entre 81 a 250 m	0.538	0.68	0.71
Mayor a 250 m	0.385	0.23	0.24
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 35.** Matriz de priorización de resultados ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río

Matriz de comparación			Valor de priorización		
Menor a 80 m	Entre 81 a 250 m	Mayor a 250 m	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
<b>1</b>	1/7	1/5	*	0.07	3.013
<b>7</b>	1	3		0.64	3.12
<b>5</b>	1/3	1		0.28	3.062
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.066</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 36.** Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 37.** Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – cercanía al cauce del río

$$RC = \frac{0.03}{0.525} \therefore RC = 0.06 (6\%)$$

**Anexo 38.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación

CRITERIO	Menor a 30 m	Entre 30 a 100 m	Mayor a 100 m
Menor a 30 m	1.00	3	7
Entre 30 a 100 m	1/3	1.00	5
Mayor a 100 m	1/7	1/5	1.00
Suma	1.48	4.20	13.00
1/Suma	0.68	0.24	0.08

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 39.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación

CRITERIO	Menor a 30 m	Entre 30 a 100 m	Mayor a 100 m
Menor a 30 m	0.677	0.71	0.54
Entre 30 a 100 m	0.226	0.24	0.38
Mayor a 100 m	0.097	0.05	0.08
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 40.** Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación

Matriz de comparación			*	Valor de priorización		
Menor a 30 m	Entre 30 a 100 m	Mayor a 100 m		Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	3	7	0.64	2.008	3.121	
1/3	1	5	0.28	0.866	3.06	
1/7	1/5	1	0.07	0.222	3.013	
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.066</b>		

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 41.** Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 42.** Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – ubicación en zonas de inundación

$$RC = \frac{0.03}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.06 \text{ (6\%)}$$

**Anexo 43.** Matriz inversa de las sumas de parámetros para evaluación de vulnerabilidad

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	Disminución de calidad del agua potable	Interrupción del servicio de agua potable	Interrupción del servicio de agua potable	Resiliencia de infraestructuras
Disminución de calidad del agua potable	1.00	5.00	5.00	5.00
Interrupción del servicio de agua potable	1/5	1.00	3.00	3.00
Interrupción del servicio de agua potable	1/5	1/3	1.00	1/3
Resiliencia de infraestructuras	1/5	1/3	3	1.00
Suma	1.60	6.67	12.00	9.33
<b>1/Suma</b>	0.63	0.15	0.08	0.11

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 44.** Matriz de priorización de resultados de parámetros de vulnerabilidad

Matriz de comparación				Valor de priorización		
Disminución de calidad del agua potable	Interrupción del servicio de agua potable	Interrupción del servicio de agua potable	Resiliencia de infraestructuras	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	5	5	5	0.58	2.673	4.593
1/5	1	3	3	0.21	0.948	4.478
1/5	1/3	1	1/3	0.07	0.305	4.146
1/5	1/3	3	1	0.13	0.540	4.063
				<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>4.320</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 45.** Cálculo de índice de consistencia de parámetros de vulnerabilidad

$$IC = \frac{4.320-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 46.** Cálculo de relación de consistencia de parámetros de vulnerabilidad

$$RC = \frac{0.03}{0.882}$$

$$\therefore RC = 0.04 \text{ (4\%)}$$

**Anexo 47.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable

CRITERIO	La totalidad de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	Una escasa parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	Ninguna parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones
La totalidad de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	1.00	5.00	7.00
Una escasa parte de la población se ve afectada por	1/5	1.00	3

disminución de calidad de agua a causa de inundaciones			
Ninguna parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	1/7	1/3	1.00
Suma	1.34	6.33	11.00
<b>1/Suma</b>	0.74	0.16	0.09

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 48.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable

<b>CRITERIO</b>	La totalidad de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	Una escasa parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	Ninguna parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones
La totalidad de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	0.745	0.79	0.64
Una escasa parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	0.149	0.16	0.27
Ninguna parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	0.106	0.05	0.09
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 49.** Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable

Matriz de comparación			Valor de priorización		
La totalidad de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	Una escasa parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	Ninguna parte de la población se ve afectada por disminución de calidad de agua a causa de inundaciones	Peso *	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	5	7	0.72	2.273	3.141
1/5	1	3	0.19	0.588	3.04
1/7	1/3	1	0.08	0.251	3.014
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>		<b>3.066</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 50.** Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 51.** Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – disminución de calidad de agua potable

$$RC = \frac{0.03}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.06 \text{ (6\%)}$$

**Anexo 52.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable

CRITERIO	Se presentan durante días la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	Se presentan durante pocas horas la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	No hay interrupción del servicio de agua potable por inundaciones
Se presentan durante días la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	1.00	5	7

Se presentan durante pocas horas la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	1/5	1.00	3
No hay interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	1/7	1/3	1.00
Suma	1.34	6.33	11.00
<b>1/Suma</b>	0.74	0.16	0.09

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 53.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable

<b>CRITERIO</b>	Se presentan durante días la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	Se presentan durante pocas horas la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	No hay interrupción del servicio de agua potable por inundaciones
Se presentan durante días la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	0.745	0.79	0.64
Se presentan durante pocas horas la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	0.149	0.16	0.27
No hay interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	0.106	0.05	0.09
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 54.** Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable

Matriz de comparación			Valor de priorización		
Se presentan durante días la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	Se presentan durante pocas horas la interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	No hay interrupción del servicio de agua potable por inundaciones	Peso *	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	5	7	0.72	2.273	3.141
1/5	1	3	0.19	0.588	3.04
1/7	1/3	1	0.08	0.251	3.014
			$\lambda_{\text{máx}}$		<b>3.066</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 55.** Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 56.** Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – interrupción del servicio de agua potable

$$RC = \frac{0.03}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.06 (6\%)$$

**Anexo 57.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras

CRITERIO	Se presentan daños muy altos en infraestructuras	Se presentan daños moderados en infraestructuras	No se presentan daños en infraestructuras
Se presentan daños muy altos en infraestructuras	1.00	3	7
Se presentan daños moderados en infraestructuras	1/3	1.00	5
No se presentan daños en infraestructuras	1/7	1/5	1.00
Suma	1.48	4.20	13.00

<b>1/Suma</b>	0.68	0.24	0.08
---------------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 58.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras

<b>CRITERIO</b>	Se presentan daños muy altos en infraestructuras	Se presentan daños moderados en infraestructuras	No se presentan daños en infraestructuras
Se presentan daños muy altos en infraestructuras	0.677	0.71	0.54
Se presentan daños moderados en infraestructuras	0.226	0.24	0.38
No se presentan daños en infraestructuras	0.097	0.05	0.08
<b>SUMA</b>	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 59.** Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras

<b>Matriz de comparación</b>			<b>Valor de priorización</b>		
Se presentan daños muy altos en infraestructuras	Se presentan daños moderados en infraestructuras	No se presentan daños en infraestructuras	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	3	7	0.64	2.008	3.121
1/3	1	5	0.28	0.866	3.06
1/7	1/5	1	0.07	0.222	3.013
			<b><math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>	<b>3.066</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 60.** Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 61.** Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor – daños en infraestructuras

$$RC = \frac{0.03}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.06 (6\%)$$

**Anexo 62.** Matriz inversa de las sumas de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras

<b>CRITERIO</b>	Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	Respuesta moderada para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	Respuesta deficiente para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones
Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	1.00	3	7
Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	1/3	1.00	5
Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	1/7	1/5	1.00
<b>Suma</b>	<b>1.48</b>	<b>4.20</b>	<b>13.00</b>
<b>1/Suma</b>	<b>0.68</b>	<b>0.24</b>	<b>0.08</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 63.** Matriz de normalización de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras

<b>CRITERIO</b>	Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	Respuesta moderada para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	Respuesta deficiente para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones
Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	0.677	0.71	0.54
Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	0.226	0.24	0.38
Alta respuesta para la recuperación de daños en infraestructura por inundaciones	0.097	0.05	0.08
<b>SUMA</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 64.** Matriz de priorización de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras

Matriz de comparación			Valor de priorización		
Se presentan daños muy altos en infraestructuras	Se presentan daños moderados en infraestructuras	No se presentan daños en infraestructuras	Peso	$\lambda$	Cociente $\lambda$
1	3	7	0.64	2.008	3.121
1/3	1	5	0.28	0.866	3.06
1/7	1/5	1	0.07	0.222	3.013
			$\lambda_{\text{máx}}$	<b>3.066</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Anexo 65.** Cálculo de índice de consistencia de pesos ponderados, descriptor – resiliencia de infraestructuras

$$IC = \frac{3.066-3}{3-1}$$

$$\therefore IC = 0.03$$

**Anexo 66.** Cálculo de relación de consistencia de pesos ponderados, descriptor - resiliencia de infraestructuras

$$RC = \frac{0.03}{0.525}$$

$$\therefore RC = 0.06 (6\%)$$