

Universidad Nacional, Costa Rica.

Sede Regional Chorotega

Campus Liberia

Informe final:

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Hidrológica

Título:

“Propuesta de sistema de alerta temprana ante inundaciones para reducir el impacto socioambiental originado por el río Las Palmas en el barrio El Bambú, Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica”.

Sustentantes:

Fernando Matamoros Montoya

117860369

David Zeledón Pizarro

117090354

Equipo supervisor:

Dr. Ronald Sánchez Brenes

Universidad Nacional, Costa Rica.

MSc. Adolfo Salinas Acosta

Universidad Nacional, Costa Rica.

MSc. Erik Orozco Orozco

Universidad Nacional, Costa Rica.

Ernesto Bonilla Sequeira

Municipalidad de Carrillo.

Ciudad de Liberia, Guanacaste, Costa Rica

22 de febrero

Año: 2024

ACTA DEL TRIBUNAL EVALUADOR

Liberia, Guanacaste.

Febrero, 2024.

Integrantes Tribunal Evaluador

MSc. Erik Orozco Orozco

Tutor

Dr. Ronald Sánchez Brenes

Lector

MSc. Adolfo Salinas Acosta

Lector

Dr. Fernando Gutiérrez Coto

Representante de Decanatura

Dra. Darinka Grbic Grbic

Representante de Dirección Académica

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios, familiares, compañeros y amigos que fueron parte de todo este proceso.

Agradecer a la Universidad Nacional, Costa Rica por brindarme educación de primera calidad y permitir formarme académicamente.

A la Municipalidad de Carrillo por permitirnos realizar este proyecto, y a su vez a mí colega Fernando Matamoros Montoya por aceptarme como su compañero de proyecto final de graduación.

Por último, agradecer a nuestro equipo supervisor el MSc. Erick Orozco Orozco, Dr. Ronald Sánchez Brenes y al MSc. Adolfo Salinas Acosta, por brindarnos su apoyo, recomendaciones y asesoramiento.

Ing. David Eduardo Zeledón Pizarro

Muchas gracias a Dios por brindarme las fuerzas y las oportunidades que me han permitido llegar hasta donde estoy ahorita.

Gracias a mi familia por ser un pilar primordial en mi vida y de mis decisiones, a mis amistades que son fuente de motivación y admiración, a mi leal compañero David Zeledón Pizarro por caminar a mi lado en este proceso, colega ideal.

Agradezco a la Universidad Nacional por mi formación académica de gran calidad y por mantener principios humanos como estandarte de enseñanza.

A la Municipalidad de Carrillo por confiar en nuestro trabajo y apoyarnos en este proceso, al Ingeniero Dennis Calderón y a Don Ernesto Bonilla por ser nuestro equipo de supervisión, a Don Francisco Alemán y a Doña Adela Sequeira por la información proporcionada.

Por último, gracias al MSc. Erick Orozco Orozco, Dr. Ronald Sánchez Brenes y al MSc. Adolfo Salinas Acosta, por guiarnos, apoyarnos con recomendaciones de mejoras para el proyecto.

Ing. Fernando Matamoros Montoya

Dedicatoria

Primeramente, esta dedicatoria es para Dios, por darme la fuerza, sabiduría y paciencia de poder culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, abuelos, familiares y todas las personas que estuvieron involucradas, por siempre apoyarme de todas las maneras posibles, por siempre brindarme todo su amor y criarme con buenos valores y principios.

A los compañeros que tuve durante estos 5 años y que se han mantenido desde entonces, que más que simple compañeros, se convirtieron en grandes amistades.

Ing. David Eduardo Zeledón Pizarro

Le dedico este logro a Dios por siempre cuidar mis pasos, brindarme sabiduría y entendimiento, con él este viaje se convirtió en una aventura de crecimiento personal.

A mi padre, madre y hermana, por ser mis consejeros de vida y mi fuerza en momentos de dificultad, familia perseverante, nido de amor y hogar de enseñanza. También a todas esas personas que fueron fuente de motivación y de buenos deseos.

A mis amistades y compañeros de vida, que han dejado en mi corazón recuerdos inolvidables, los atesoro como un regalo de Dios.

Ing. Fernando Matamoros Montoya

Resumen

El presente estudio toma lugar en el barrio El Bambú perteneciente al distrito de Filadelfia, el cual está dentro del cantón de Carrillo, Guanacaste. El área del proyecto se encuentra específicamente dentro de la subcuenca del río Las Palmas y se encuentra bajo la gestión de la Municipalidad de Carrillo, el cual es el principal promotor de este proyecto. Este trabajo nace como petición de la Municipalidad de Carrillo, con el objetivo de establecer un sistema de alerta temprana ante inundaciones. Esto debido a que el Barrio Bambú se encuentra expuesto y vulnerable a eventos de inundación por dos motivos importantes, el primero de ellos es por su cercanía al río Las Palmas y el segundo es porque el terreno no era apto para construcción de viviendas.

Para elaborar la propuesta del sistema de alerta temprana se requirieron bases de estaciones meteorológicas cercanas a la subcuenca, además de registros históricos de fenómenos de inundación asociados a eventos de precipitación extrema. Para lograr lo anterior, se establecieron cinco objetivos clave para el desarrollo del proyecto; caracterización de la subcuenca, categorización de eventos anteriores de precipitación extrema para estimar el umbral de inundación; Integrar hietogramas con diferentes periodos de retorno; simulación de hidrogramas; y, por último, elaborar una propuesta de sistema de alerta temprana.

Los resultados obtenidos permitieron formar las bases para un sistema de alerta temprana consolidado en el Barrio Bambú, más sin embargo se requieren de otros estudios técnicos para ampliar todos los factores involucrados en una inundación. Esto debido a que existieron limitaciones tanto de información, como de tiempo, ya que el proyecto duró un año en su desarrollo. Por ello, es recomendado seguir monitoreando y registrando los fenómenos naturales que desencadenan inundaciones con la presencia de elevadas precipitaciones, que en este caso están contempladas en los rangos generados por este trabajo.

Executive Summary

The present study takes place in the Bambú neighborhood belonging to the district of Philadelphia, which is within the canton of Carrillo, Guanacaste. The project area is specifically located within the Las Palmas River sub-basin and is under the management of the Municipality of Carrillo, which is the main promoter of this project. Since this work was born as a request from the Municipality of Carrillo, with the objective of establishing an early warning system for floods. This is because the Bambú neighborhood is exposed and vulnerable to flooding events for two important reasons, the first of which is due to its proximity to the Las Palmas River and the second is because the land was not suitable for housing construction.

To prepare the proposal for the alert system, databases of meteorological stations close to the subbasin were required, in addition to historical records of flood phenomena associated with extreme precipitation events. To achieve the above, objectives were established for the development of the project; subbasin characterization, categorization of previous extreme precipitation events to estimate flood threshold; integrate hietograms with different return periods; hydrograph simulation; and finally, the proposal for an alert system.

The results obtained allow us to form the basis for a consolidated alert system in the Bambú neighborhood, however, other technical studies are required to expand all the factors involved in a flood. This is because there were limitations in both information and time, since the project lasted a year in its development. Therefore, it is recommended to continue monitoring and recording the natural phenomena that trigger floods with the presence of high rainfall, which in this case are contemplated in the ranges generated by this work.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Capítulo 1 - Introducción | 1 |
| 1.1 Introducción al estudio | 2 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3 Justificación..... | 5 |
| 1.4 Objetivos | 6 |
| 1.5 Alcances y limitaciones..... | 6 |
| 1.6 Resumen del reporte..... | 7 |
| Capítulo 2 – Contexto del proyecto..... | 10 |
| 2.1 Descripción de la cuenca de estudio..... | 11 |
| 2.1.1 Localización del sitio de estudio..... | 12 |
| 2.2 Características de la subcuenca | 14 |
| 2.2.1 Aspectos socioeconómicos | 15 |
| 2.2.2 Aspectos operativos de la CNE de Carrillo | 16 |
| 2.3 Características climatológicas de la cuenca..... | 18 |
| 2.3.1 Vulnerabilidad ante fenómenos climáticos..... | 19 |
| 2.3.2 Eventos históricos de inundación extremos de la zona..... | 21 |
| Capítulo 3 - Marco teórico | 23 |
| 3.1 Generalidades sobre las cuencas hidrográficas | 24 |
| 3.1.1 Pendiente | 24 |
| 3.1.2 Índice de compacidad | 24 |
| 3.1.3 Uso de suelo..... | 24 |
| 3.1.4 Tipo de suelo | 25 |
| 3.1.5 Tiempo de concentración..... | 25 |
| 3.2 Efecto del Cambio Climático en la hidrología | 26 |
| 3.2.1 Periodos de retorno | 26 |
| 3.2.2 Precipitación máxima diaria | 26 |
| 3.2.3 Hietogramas..... | 26 |
| 3.3 Modelación hidrológica..... | 27 |
| 3.3.1 Hidrogramas | 27 |
| 3.3.2 Inundación | 27 |

| | |
|--|----|
| 3.3.3 Umbral de inundación | 27 |
| 3.3.4 HEC-HMS | 28 |
| 3.4 Gestión de Riesgo..... | 29 |
| 3.4.1 Sistema de alerta temprana | 29 |
| 3.4.2 Eventos hidrometeorológicos extremos..... | 30 |
| Capítulo 4 - Estudios de prefactibilidad | 30 |
| 4.1 Estudio técnico | 32 |
| 4.2 Estudio legal | 33 |
| 4.3 Estudio ambiental | 35 |
| 4.4 Estudio social | 36 |
| 4.4.1 Actores Claves del estudio..... | 37 |
| 4.4.2 Impactos en la sociedad | 37 |
| 4.4.3 Partes beneficiadas | 38 |
| 4.5 Estudio económico- financiero..... | 39 |
| 4.5.1 Estudio financiero..... | 39 |
| 4.5.2 Estudio Económico..... | 41 |
| Capítulo 5. Metodología..... | 43 |
| 5.1 Descripción general de la metodología | 44 |
| 5.2 Población y muestra | 44 |
| 5.3 Métodos y herramientas seleccionadas | 45 |
| 5.3.1 Para obtención de datos | 45 |
| 5.3.2 Para procesamiento de datos..... | 49 |
| 5.3.3 Para interpretación de datos..... | 51 |
| 5.3.4 Para validación de datos | 52 |
| 5.3. Otros aspectos que considerar | 52 |
| 5.3.1 Cronograma de actividades y Ruta crítica | 52 |
| 5.3.2 Presupuesto..... | 53 |
| 5.3.3 Ética en la investigación | 54 |
| Conclusión..... | 54 |
| Capítulo 6 - Resultados y discusión | 55 |
| 6.1 Introducción..... | 56 |
| 6.2 Análisis de resultados | 56 |

| | |
|--|----|
| 6.2.1 Paso 1: Identificación y recopilación de información disponible..... | 56 |
| 6.2.2 Paso 2: Delimitación y caracterización de los parámetros morfométricos | 57 |
| 6.2.3 Paso 3: Obtención del número de curva | 58 |
| 6.2.4 Paso 4: Cálculo del tiempo de concentración y lag time | 63 |
| 6.2.5 Paso 5: Identificación y escogencia de estaciones meteorológicas | 63 |
| 6.2.6 Paso 6: Aplicar el polígono de Thiessen..... | 65 |
| 6.2.7 Paso 7: Elaboración del hietograma | 66 |
| 6.2.8 Paso 8: Generación del hidrograma..... | 69 |
| 6.2.9 Paso 9: Elaboración del umbral de inundación..... | 72 |
| 6.2.10 Paso 10: Propuesta SAT Bambú..... | 75 |
| 6.3 Discusión de los principales resultados | 83 |
| 6.3.1 Discusión de los principales hallazgos del proyecto | 83 |
| 6.3.2 Sobre los objetivos planteados..... | 85 |
| 6.3.3 Sobre el diseño metodológico del proyecto..... | 87 |
| 6.3.4 Sobre la solución propuesta | 87 |
| 6.4 Conclusión..... | 88 |
| Capítulo 7 – Conclusiones y recomendaciones | 89 |
| 7.1 Conclusiones | 90 |
| 7.1.1 Sobre las consideraciones generales | 90 |
| 7.1.2 Consideraciones para la Municipalidad de Carrillo..... | 90 |
| 7.1.3 Consideraciones para el Comité Comunal de Emergencia..... | 91 |
| 7.2 Recomendaciones | 91 |
| 7.2.1 Sugerencias generales..... | 91 |
| 7.2.2 Sugerencias para la Municipalidad de Carrillo..... | 92 |
| 7.2.3 Sugerencias para el Comité Municipal de Emergencia | 92 |
| 8. Bibliografía | 93 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1: Categoría de alertas según su grado de afectación..... | 28 |
| Tabla 4.1: Insumos necesarios para el análisis hidrológico. | 32 |
| Tabla 4.2: Equipo y programas computacionales para el procesamiento. | 32 |
| Tabla 4.3: Otros insumos requeridos para el proyecto..... | 32 |
| Tabla 4.4: Marco regulatorio legal asociado al proyecto. | 33 |
| Tabla 4.5: Actores sociales fundamentales para el manejo de emergencias por inundación. | 37 |
| Tabla 4.6: Grupos beneficiados por la aplicación de estudios hidrológicos. | 38 |
| Tabla 4.7: Presupuesto global del proyecto..... | 39 |
| Tabla 4.8: Perdidas tanto económicas como materiales de algunos residentes del Barrio Bambú. .. | 41 |
| Tabla 5.1. Métodos para el cálculo de los parámetros morfométricos de la subcuenca de estudio. . | 46 |
| Tabla 5.2. Estaciones meteorológicas seleccionadas. | 49 |
| Tabla 6.1: Línea del tiempo de inundaciones registradas en el Barrio Bambú. | 56 |
| Tabla 6.2: Parámetros morfométricos de la subcuenca del Río Las Palmas, Filadelfia, Guanacaste. | 58 |
| Tabla 6.3: Clasificación hidrológica de los suelos. | 61 |
| Tabla 6.4: Cálculo del número de curva. | 62 |
| Tabla 6.5: Tiempo de concentración de la subcuenca del río Las Palmas. | 63 |
| Tabla 6.6: Estaciones meteorológicas utilizadas..... | 64 |
| Tabla 6.7: Registro de los eventos de inundación en el Barrio Bambú..... | 74 |
| Tabla 6.8: Niveles de alerta según umbral de inundación..... | 75 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Afectación de la inundación a raíz de la llegada de la tormenta Nate en el Barrio Bambú de Filadelfia..... | 4 |
| Figura 2.1: Cuenca del Tempisque a la que pertenece la subcuenca a estudio. | 12 |
| Figura 2.2: Relación entre los ríos Tempisque (RT en color rosa) y Las Palmas (RLP, en verde) y con el distrito de Filadelfia en la Provincia de Guanacaste, Costa Rica. | 13 |
| Figura 2.3: Área de estudio Barrio Bambú..... | 14 |
| Figura 2.4: Subcuenca del Río Las Palmas, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. | 15 |
| Figura 2.5: Cosecha de caña de azúcar realizada durante enero y marzo en el cantón de Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. | 16 |
| Figura 2.6: Organigrama del orden de movilización ante una emergencia. | 18 |
| Figura 2.7: Distribución espacial de unidades geoestadísticas mínimas según eventos extremos de sequía..... | 20 |
| Figura 2.8: Escenario de riesgo ante eventos extremos lluviosos mediante el análisis de unidades geoestadísticas mínimas. | 21 |
| Figura 5.1: Resumen de la metodología a implementar para la realización del proyecto. | 44 |
| Figura 6.1: Clasificación del suelo según su composición..... | 59 |
| Figura 6.2: Distribución porcentual del tipo de suelo en el área de estudio..... | 60 |
| Figura 6.3: Clasificación supervisada del uso de suelo en la subcuenca del río Las Palmas. | 61 |
| Figura 6.4: Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas. | 65 |
| Figura 6.5: Polígono de Thiessen para conocer el grado de influencia de las estaciones a utilizar. . | 66 |
| Figura 6.6: Hietograma para una lluvia normal. | 67 |
| Figura 6.7: Hietograma de la tormenta tropical Marco. | 68 |
| Figura 6.8: Hietograma de la tormenta tropical Nate. | 69 |
| Figura 6.9: Hidrograma de la tormenta tropical Nate. | 70 |
| Figura 6.10: Hidrograma evento 2019. | 71 |
| Figura 6.11: Hidrograma de la tormenta tropical Marco..... | 72 |
| Figura 6.12: Periodos de retorno asociados a cada estación. | 73 |
| Figura 6.13: Elementos principales que conforman un SAT. | 76 |
| Figura 6.14: Orden de los principales actores que deben actuar en la aplicación del SAT..... | 78 |
| Figura 6.15: Ruta de evacuación del barrio El Bambú hacia el albergue..... | 79 |
| Figura 6.16: Puntos de reunión en el barrio El Bambú. | 80 |
| Figura 6.17: Clasificación de zonas de vulnerabilidad por inundación en el barrio El Bambú. | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 6.18: Propuesta SAT Bambú. | 83 |
| Figura 6.19: Sistema del SAT Bambú..... | 88 |

Lista de siglas

PIB: Producto Interno Bruto

SAT: Sistema de Alerta Temprana

SNME: Sistema Nacional de Monitoreo de Emergencias

IMN: Instituto Nacional de Meteorología

IDA: Instituto de Desarrollo Agrario

CNE: Comisión Nacional de Emergencias

SNIT: Sistema Territorial de Información Territorial

ONG's: Organismos No Gubernamentales

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

IPPC: Panel Intergubernamental del Cambio Climático

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

Setena: Secretaría Técnica Nacional Ambiental

MED: Modelo de Elevación Digital

QGIS: Sistema de Información Geográfica Cuántico

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SCP: Semi-Automatic Classification Plugin

CIA: Centro de Investigaciones Agronómicas

Senara: Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamientos

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

SCS: Servicio de Conservación de Suelos

Capítulo 1 - Introducción

Este capítulo brinda una visión general al contenido del proyecto. Se presentan las secciones planteamiento del problema donde se detalla el contexto del problema sobre inundaciones que se presenta en el barrio El Bambú, Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica; además de la justificación de los argumentos en los que se cimenta el proyecto. También se encuentran los objetivos que son fundamentales para el desarrollo de lo que se pretende realizar para la conclusión del estudio, alcances y limitaciones.

1.1 Introducción al estudio

Los eventos hidrometeorológicos extremos, tales como inundaciones, sequías y tormentas, son un problema global que ha afectado a muchas regiones del mundo. El cambio climático inducido por el ser humano ha intensificado estos eventos, generando que se manifiesten con mayor constancia, duración e impacto, a su vez, el calentamiento global ha aumentado la frecuencia y magnitud de los eventos climáticos extremos en regiones de todo el mundo (Intergovernmental Panel on Climate Change 2021, p.84).

En el caso de Costa Rica, se han registrado eventos hidrometeorológicos extremos que han causado impactos significativos en el territorio, como inundaciones, deslizamientos de tierra y sequías. Además, existe una alta probabilidad de que dichos eventos aumenten su frecuencia y magnitud en consecuencia al cambio climático, generando un proceso de adaptación ante dicha situación (Retana, 2012, p.8).

Por otra parte, las inundaciones son uno de los peligros climáticos más extendidos en todo el mundo, estas presentan múltiples riesgos para la salud humana. Sin embargo, hay poco trabajo de investigación sistemática sobre las consecuencias que estas pueden traer a poblaciones vulnerables (Few et al., 2004, p.5). Costa Rica, es un país que está expuesto a eventos hidrometeorológicos extremos, esto debido a sus condiciones geográficas, geológicas, geomorfológicas y climatológicas, además, fenómenos como los huracanes, tormentas tropicales y sistemas de baja presión son los que tienen mayor afectación social y económica en el país (Campos y Quesada, 2017, p.441).

Las inundaciones en Costa Rica son un problema multifacético que afecta a diversos sectores, incluyendo la agricultura, la infraestructura y la salud pública. En el sector agrícola, estos eventos hidrometeorológicos extremos pueden llegar a causar daños económicos, se estima que el promedio mensual en pérdidas puede llegar a representar el 1.07% del PIB agrícola (Vega y Gámez, 2005, 2014, p.16). En cuanto a la infraestructura, las inundaciones pueden dañar carreteras, puentes y otras estructuras, lo que dificulta el acceso a servicios esenciales y la movilidad de la población. Además, las inundaciones pueden provocar la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea, dengue y la leptospirosis, lo que afecta la salud de la población (Organización Panamericana de la Salud, 2022).

A partir de lo anteriormente mencionado, se crean los sistemas de alerta temprana (SAT), estos son una herramienta fundamental en la gestión de riesgos de desastres, ya que permiten prevenir

y disminuir el impacto de las inundaciones, aminorar la pérdida de bienes e inclusive evitar pérdidas de vidas humanas. Estos sistemas están diseñados para monitorear y pronosticar eventos hidrometeorológicos extremos, y emitir alertas y advertencias oportunas a la población y a las autoridades encargadas de la gestión de emergencias. Para ello es indispensable conocer las condiciones hidrológicas, hidrodinámicas y de niveles del agua en la zona (Moreno et al., 2014, p.11).

En Costa Rica, se han implementado diversos sistemas de alerta temprana ante inundaciones, tanto a nivel nacional como local. Entre los sistemas nacionales, se encuentra el Sistema Nacional de Monitoreo de Emergencias (SNME), que cuenta con una red de estaciones hidrometeorológicas y telemétricas en todo el país para monitorear el clima y el nivel de los ríos en tiempo real. Además, el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) emite boletines y alertas meteorológicas diarias para informar a la población sobre las condiciones del tiempo y los eventos extremos en todo el país. (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central, 2021).

A nivel local, varios municipios han implementado sistemas de alerta temprana específicos para sus comunidades. Por ejemplo, en la ciudad de San José, se ha implementado el sistema de alerta temprana para inundaciones "Alto al Agua", que utiliza tecnología de sensores y plataformas digitales para monitorear y pronosticar inundaciones en la cuenca del río Torres (Elizondo et al., 2020).

Finalmente, este trabajo tiene el propósito de analizar las distintas variables hidrológicas para poder elaborar una propuesta de un sistema de alerta temprana ante inundaciones en el Barrio Bambú, Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica. Se evaluará la capacidad de respuesta de los sistemas ante eventos extremos, la calidad y oportunidad de la información proporcionada a la población y la coordinación entre las instituciones involucradas. A partir de esta evaluación, se propondrán recomendaciones para mejorar la efectividad de los sistemas de alerta temprana ante inundaciones en la zona de estudio.

1.2 Planteamiento del problema

La provincia de Guanacaste se encuentra vulnerable ante fenómenos que alteran la variable climática de la región, en este caso localizado al Noroeste del país, en donde solamente los cantones de Carrillo reporta 83 eventos y Nicoya 120 eventos, ligados a problemáticas generadas por el desbordamiento de ríos, quebradas y además del colapso del sistemas de alcantarillado, cabe mencionar que dichos eventos se asocian a sistemas de baja presión, tal como la tormenta tropical Nicole en el año 2010 (Durán y Román, 2017).

Filadelfia presenta una problemática con el ordenamiento territorial, ya que la existencia de viviendas en zonas propensas a inundación causadas por la cercanía a ríos alledaños, como lo son el Río Tempisque y Sardinal (Figura 1.1), genera que esta comunidad se vea constantemente amenazada por las precipitaciones intensas, donde se presenta repercusiones en bienes materiales y en las condiciones de calidad de vida de la población, esto debido a que las inundaciones que tienen lugar en llanuras, causadas primordialmente por lluvias prolongadas o temporales, muestran un aumento lento del nivel del agua, provocando las pérdidas principalmente, en cultivos y servicios básicos (Comisión Nacional de Emergencias, 2023).

En los años ochenta el Instituto de Desarrollo Agrario (IDA) realizó una donación de tierras a pobladores de Filadelfia, la cual dio origen a la actual comunidad a estudio, denominada El Barrio Bambú, no obstante, ya existía conocimiento previo de que esta zona se clasificaba como un lugar no apto para la realización de proyectos urbanísticos debido a su problemática con las inundaciones, a ello se le suma que las aguas del alcantarillado de Filadelfia llegan a este sector (Chavarría, 1999). Lo anterior propicia la saturación de los suelos, que a su vez se clasifican como hidromorfos, por el simple hecho de que se saturan con facilidad, generando que tengan un grado considerable de inestabilidad.

Figura 1.1: Afectación de la inundación a raíz de la llegada de la tormenta Nate en el Barrio Bambú de Filadelfia.



Fuente: Obtenido de La Nación, 2017.

Existe una necesidad basada en la generación de estudios técnicos enfocados a la hidrología e hidráulica de la cuenca a la que pertenece la comunidad de Carrillo, la cual sería la del Río Tempisque. Esto significa una gran área de estudio y por ende una mayor dificultad para elaborar estudios detallados, ya sea por la dificultad o el costo de estos. Sin embargo, las investigaciones permiten determinar aproximadamente al valor real el estado de la cuenca, su reacción ante eventos climáticos y la proporción del impacto consecuentes a estos fenómenos. Lo cual es una herramienta tanto para la adecuada gestión de riesgos como para adaptarse a las condiciones que ofrece el terreno en el que viven estos poblados vulnerables y que muy difícilmente va a cambiar la situación de peligro que se presenta con cada lluvia intensa.

1.3 Justificación

Como menciona Fabre et al. (2015), los eventos de precipitación intensos tienen la capacidad de colaborar en el aumento de los caudales base de los ríos generando crecidas e inundaciones. Este es el caso de los ríos Las Palmas y Sardinal, que se caracterizan por el desbordamiento de sus cauces en dichas situaciones, por ello el barrio El Bambú se ve afectado por estas crecidas, ya que se encuentra muy próximo a estos cuerpos de agua. Lo anterior favorece la manifestación de inundarse, por ende, la implementación de mecanismos como la modelación tanto hidrológica permitirían conocer los caudales que arriban a esta comunidad. A continuación, se denotan las principales razones por las cuales radica la importancia de la realización de este proyecto:

- La elaboración de este proyecto proporcionará datos relevantes para la generación de información técnica faltante en la Municipalidad de Carrillo, sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca y el cauce que inciden sobre el barrio El Bambú de Filadelfia.
- La obtención de los resultados permitiría la elaboración de estrategias enfocadas en reducir y mitigar el grado de vulnerabilidad a las inundaciones que actualmente posee el barrio El Bambú, mediante sistemas de alerta temprana y otras medidas de acción.
- En relación con lo anterior, la implementación de medidas de acción para la mitigación de este tipo de fenómenos, mediante un conocimiento previo del comportamiento de los ríos, permitiría la reducción de los gastos financieros de la Municipalidad de Carrillo, la Comisión Nacional de Atención y Prevención de Emergencias (CNE), y la misma comunidad que se ve afectada por las pérdidas materiales en estos eventos.

Por ende, la importancia de este proyecto se ve fortalecida por la necesidad que existe de mitigar los impactos que conlleva la exposición a desastres naturales. En este caso la cercanía que

posee el Barrio Bambú a estos cuerpos de agua permite que estos eventos arriben con fuerza en esta comunidad. Estos eventos se ven influenciados con la presencia de precipitaciones intensas, generando que la Municipalidad de Carrillo requiera buscar medidas para su actuar.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Elaborar una propuesta de un sistema de alerta temprana ante inundaciones para la mitigación del impacto socio ambiental originado por en Las Palmas en el barrio El Bambú, Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica.

Objetivos específicos

- Caracterizar la subcuenca hidrográfica del río Las Palmas para la determinación de su capacidad de respuesta ante eventos extremos de precipitación mediante la revisión de sus parámetros morfológicos que inciden en el barrio El Bambú de Filadelfia, Costa Rica.
- Categorizar los eventos anteriores de precipitación extremos más representativos de la subcuenca para la simulación de un umbral de inundación mediante información histórica de la zona en el barrio El Bambú de Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica.
- Establecer la precipitación máxima diaria y su distribución en 24 horas para la integración de hietogramas con diferentes periodos de retorno de la subcuenca hidrográfica a partir de bases de datos de estaciones meteorológicas presentes en la subcuenca donde se localiza el barrio El Bambú de Filadelfia, Costa Rica.
- Estimar la vulnerabilidad de la subcuenca para la evaluación de los caudales máximos que desencadenan fenómenos de inundación mediante la simulación de hidrogramas representativos para el barrio El Bambú de Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica.
- Desarrollar mecanismos de anticipación de emergencias para el fortalecimiento de la propuesta del sistema de alerta temprana mediante la información obtenida de los umbrales de inundación y de datos hidrometeorológicos característicos del área de estudio, barrio El Bambú de Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica.

1.5 Alcances y limitaciones

A continuación, se detallarán los principales alcances que el proyecto pretende abordar con la finalización del mismo; además de las limitaciones de información que el presente trabajo tiene para su desarrollo:

1.5.1 Alcances

El presente proyecto pretende brindar un aporte importante en términos de gestión del riesgo de forma preventiva y sobre todo predictiva de las amenazas latentes. Tomando en cuenta la subcuenca media-alta del Río Las Palmas y Sardinal, con punto de aforo en el barrio El Bambú, Filadelfia, Guanacaste. Estudiando así, posibles escenarios de inundación generados por precipitaciones intensas, ligadas a eventos meteorológicos extremos, los cuales repercuten sobre la vulnerabilidad de esta comunidad. Los principales alcances del estudio son:

- Generar un hietograma mediante la recopilación de datos de estaciones meteorológicas ubicadas en la subcuenca a estudio y que cuenten con información completa de eventos meteorológicos extremos.
- Establecer un umbral de inundación al comparar y categorizar los diferentes eventos históricos de la subcuenca registrados.
- Elaborar una propuesta de sistema de alerta temprana con distintos periodos de retorno que pertenezcan a eventos meteorológicos extremos representativos que hayan impactado al país y que desencadenaron inundaciones en el Barrio Bambú de Filadelfia en el pasado.

1.5.2 Limitaciones

A continuación, se presentan las limitaciones del proyecto:

- La obtención de fuentes de datos específicos de una determinada región puede ser muy difícil de obtener debido a la poca cantidad de estudios que se han realizado en el área de estudio, además de ser información que no se suele compartir, ya que las bases de datos con los que se debieron generar los resultados no se brindan al público.
- Base de datos históricos de estaciones meteorológicas son de difícil acceso, esto debido a que pertenecen a instituciones ya sea privadas o gubernamentales que tienden a proteger su información y por ende no está libre al público, debido a ello se requiere de una solicitud previa si es el caso que exista un convenio entre la Universidad Nacional de Costa Rica, sino se requiere de cotizar el valor de los datos.

1.6 Resumen del reporte

Este trabajo tiene como meta abordar el proyecto con la estructura que se plantean en el concepto de Evans et al., (2014) “Estructura del reporte”. En el cual se encuentra dividido en cuatro

partes principales, la primera que viene siendo la introductoria, la segunda son los antecedentes del área de estudio, tercera metodología y por último resultados y síntesis.

Cabe resaltar que estas cuatro partes se van a dividir en 7 capítulos detallados, como estructura fundamental del reporte, estos son las siguientes:

Capítulo I - la introducción del proyecto de estudio.

Este segmento permite tener una visión general de la idea que se va a desarrollar del proyecto. Se destacan aspectos como la situación de la problemática que se desea abordar, objetivos, alcance, resumen del reporte.

Capítulo II - Antecedentes.

Se presenta a detalle características de la zona de estudio que tienen un grado de significancia sobre el comportamiento de este, como lo son las condiciones geográficas y demográficas. Además de las actividades socioeconómicas y la reacción de la hidrografía en eventos de precipitaciones intensas para establecer información de utilidad para dar un análisis adecuado de los datos a obtener.

Capítulo III - Marco Teórico.

Se pretende llevar a cabo una conceptualización de los factores más importantes para la elaboración del proyecto, con el fin de permitir un entendimiento más contextualizado de la información que se vaya a generar y así facilitar la interpretación de los lectores sobre términos técnicos e instrumentos que usualmente se utilizan en ingeniería.

Capítulo IV – Estudio de Prefactibilidad.

En este apartado se pretende determinar mediante análisis de prefactibilidad las implicaciones que conlleva el proyecto a realizar en el ámbito legal, social, económico, financiero, ambiental y técnico, con el fin de determinar la viabilidad del mismo.

Capítulo V - Metodología.

Se pretende exponer los procesos metodológicos que se van a llevar a cabo con el fin de realizar cada apartado de los objetivos para su debido cumplimiento, en el cual se especificarán las herramientas, métodos, fórmulas y modelos hidrológicos a implementar para la obtención de los resultados.

Capítulo VI - Resultados y discusión.

En este capítulo se presentarán y analizarán los resultados obtenidos a través de la aplicación de la metodología descrita en el Capítulo V, además, se mostrarán los datos recopilados, las observaciones realizadas y los análisis llevados a cabo para cada uno de los objetivos planteados en el proyecto. Se utilizarán gráficos, tablas u otros recursos visuales para facilitar la comprensión de los resultados.

Capítulo VII - Conclusiones y recomendaciones.

En esta sección final, se resumirán las principales conclusiones derivadas del desarrollo del proyecto, además, se proporcionarán recomendaciones para futuras investigaciones o acciones relacionadas con el tema.

Capítulo 2 – Contexto del proyecto

Este capítulo tiene como propósito mostrar la caracterización del área de estudio, con el fin de contextualizar los elementos que tienen influencia sobre su comportamiento, Se describirán los aspectos más relevantes que la definen como las condiciones geográficas, demográficas, hidrológicas, climáticas, y socioeconómicas de la región.

En el siguiente capítulo se desarrollará una descripción breve de la cuenca del Tempisque incluida la subcuenca del río Las Palmas y la del río Sardinal que pertenecen a dicha cuenca. Además, de los aspectos morfológicos, socioeconómicos y características climáticas. También, se describe el funcionamiento de la Comisión Nacional de Emergencias del cantón de Carrillo. Finalmente, se realizará un recuento de los eventos históricos extremos de la zona.

2.1 Descripción de la cuenca de estudio

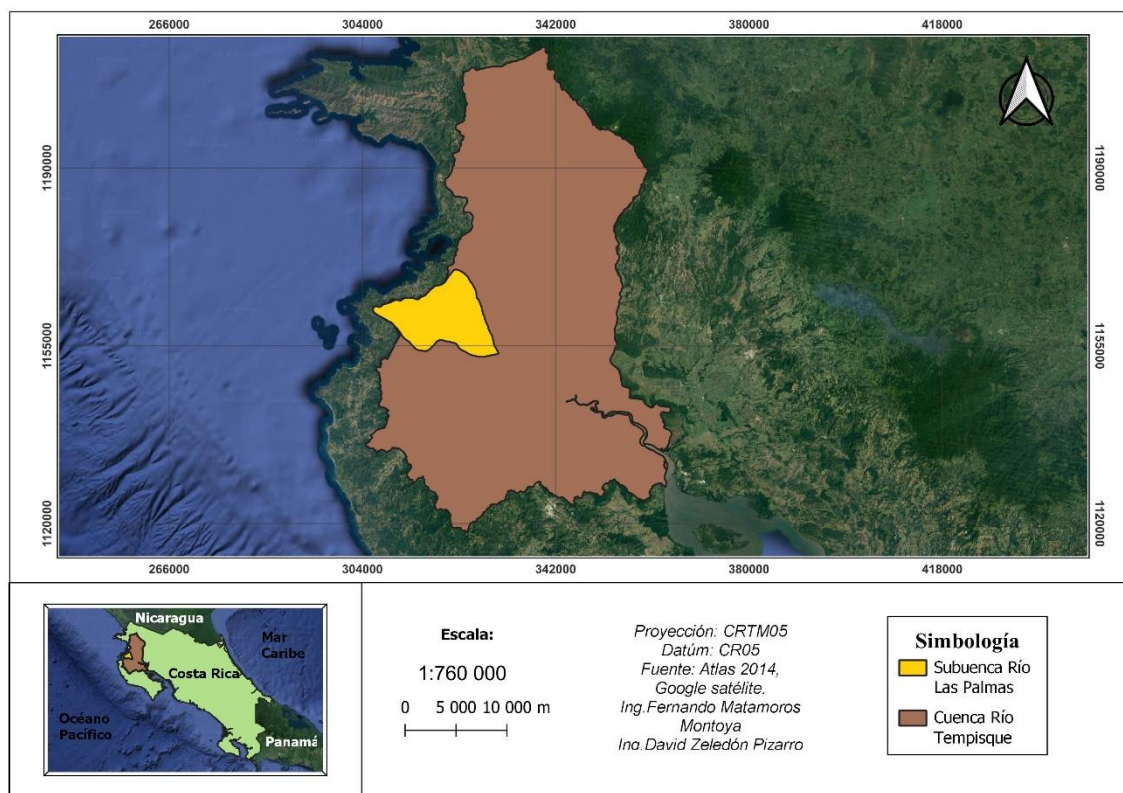
Mateo-Vega (2001) menciona que la cuenca del Tempisque es la más grande del país, esta abarca el 53% de Guanacaste y llega a drenar el 10,6% del territorio nacional (Figura 2.1). Las aguas de su río nacen en un principio en la Sierra Volcánica de Guanacaste, más específicamente en las faldas del Volcán Orosí, este cuerpo de agua llega a tener una distancia aproximada de 144 km de los cuales 36 km es apto para navegación.

El río Tempisque como tal tiene un recorrido de 108 km, esto debido a que cuenta con la unión con el río Tempisquito hasta desembocar en el Golfo de Nicoya. Cabe mencionar que cuenta con un caudal medio anual de alrededor de 284 m³/s, clasificando como uno de los tres ríos más grandes de Costa Rica, superado por los ríos Térraba y Reventazón-Parismina (Mateo-Vega, 2001).

La cuenca del Tempisque presenta un grado de demanda hídrica notoria, esto debido a que, del agua superficial concesionada, se estima que de los tres sectores principales que disponen de este recurso, un 0.48% es destinada para uso doméstico, un 0.56% dirigida al turismo y el restante 99% es implementado para uso agrícola. Esto determina que este último sector representa una de las amenazas más representativas para la disponibilidad hídrica actual y futura, ya que en época seca la demanda agrícola puede llegar a superar a la oferta del recurso, significando un escenario posible de consumo máximo y que pondría en peligro los ecosistemas fluviales (Mena, 2019, p.2-3).

Por consiguiente, se requieren de mecanismos de gestión en torno al manejo de los recursos naturales, donde aspectos como la información hidrológica base, la implementación de monitores para conocer la disponibilidad de la fuente, el caudal ambiental que se debe respetar, la variabilidad climática propia del área y los efectos del clima producto del cambio climático, son puntos cruciales en tomar en cuenta para alcanzar un desarrollo sostenible.

Figura 2.1: Cuenca del Tempisque a la que pertenece la subcuenca a estudio.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

2.1.1 Localización del sitio de estudio

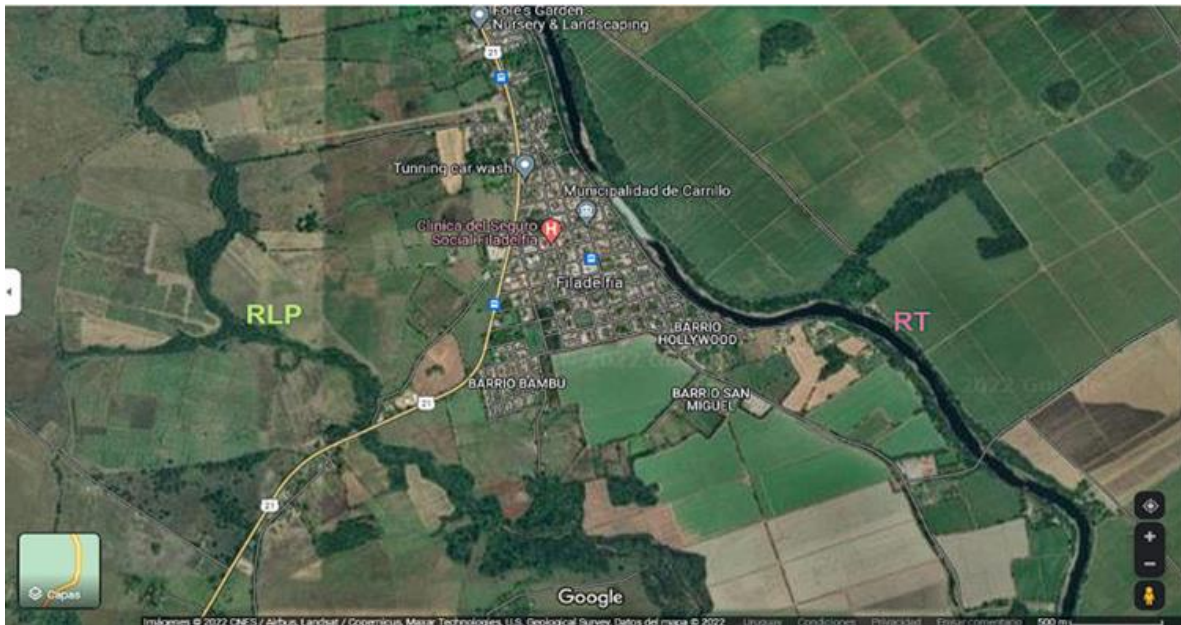
El Barrio Bambú de Filadelfia se encuentra en el Cantón de Carrillo, el cual está dentro de la cuenca del Tempisque y, por ende, se ve afectado por las características que definen esta zona. Cabe resaltar que la gran área que conlleva la cuenca del río Tempisque puede generar efectos sobre los ríos tributarios y además en el mismo cauce principal.

Según Duarte (2022), los vecinos del Barrio el Bambú describen que el río Las Palmas genera más desbordamientos por la cercanía al cuerpo de agua que el río Tempisque, no obstante, esta comunidad se encuentra en medio de dos cauces, el río Las Palmas del lado oeste del Barrio Bambú y el Tempisque del lado este (Figura 2.2). Esto puede significar una amenaza significativa para la seguridad de sus pobladores en términos de posibles inundaciones ligadas a eventos meteorológicos extremos.

El área de estudio se encuentra dentro de la subcuenca del río Las Palmas, donde se encuentra localizada la comunidad del Barrio Bambú, bajo las coordenadas 329724 en el eje x, y 1154688 en el

eje y, la cual se ve afectada por inundaciones originadas por el cauce principal río Las Palmas y que tiene como tributario el río Sardinal, estos cauces con intensas lluvias tienden a desbordarse, causando afectación a los pobladores (Figura 2.2).

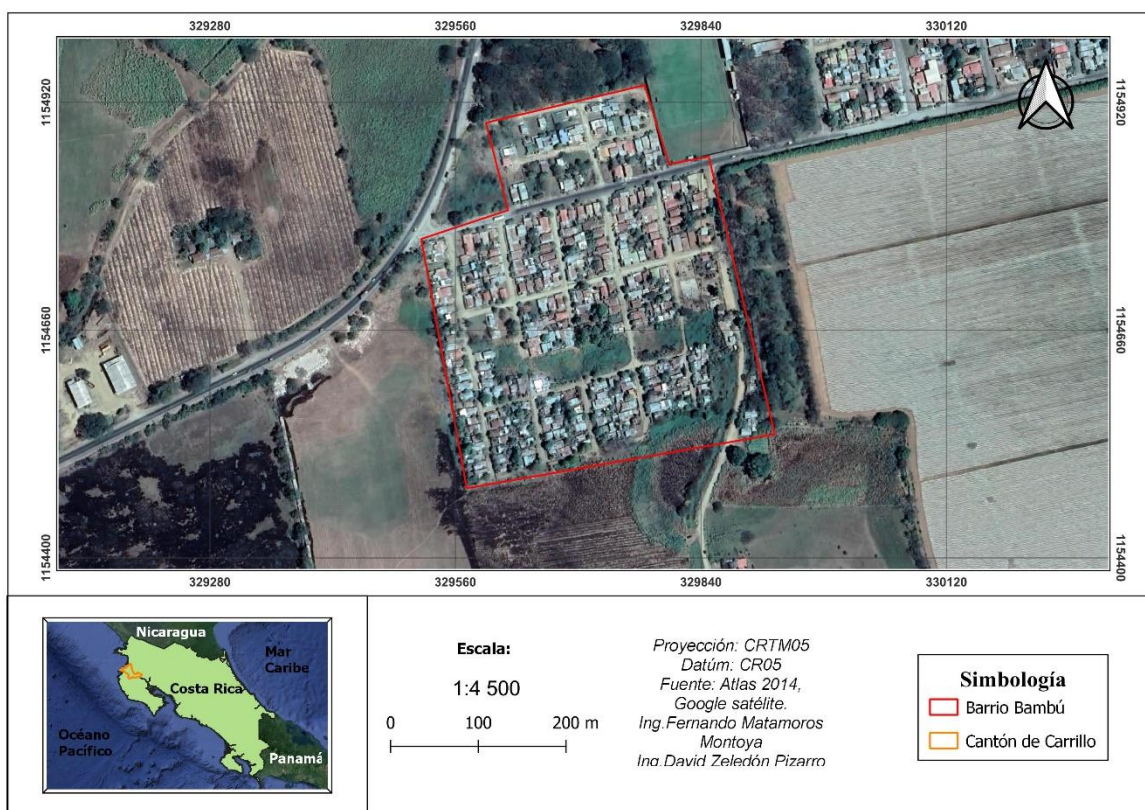
Figura 2.2: Relación entre los ríos Tempisque (RT en color rosa) y Las Palmas (RLP, en verde) y con el distrito de Filadelfia en la Provincia de Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Duarte, 2022.

Es importante denotar que, el Barrio Bambú se encuentra rodeado por terrenos que se caracterizan por ser áreas cultivables. Además, las zonas boscosas cerca de esta comunidad son escasas, el cual es un factor que tomar en cuenta posteriormente sobre el desplazamiento del agua (Figura 2.3).

Figura 2.3: Área de estudio Barrio Bambú.

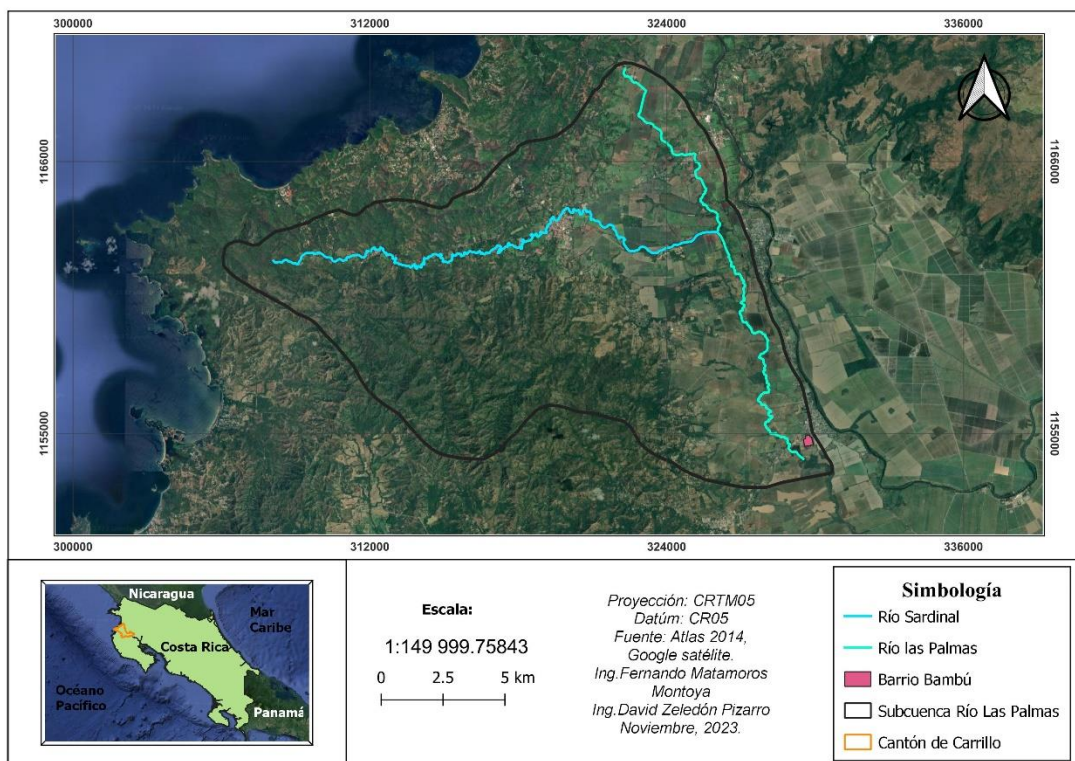


Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

2.2 Características de la subcuenca

La subcuenca del río Las Palmas pertenece a la cuenca del río Tempisque, esta posee un área de 400,06 km², juntas cubren una gran parte de la zona productiva de la provincia de Guanacaste. El río Las Palmas posee varios afluentes (Figura 2.4). Entre sus principales están los ríos Belén, Sardinal y San Blas, estos se encargan de recolectar la mayor parte de las precipitaciones del cantón de Carrillo, no obstante, el río Sardinal es el encargado de evacuar el mayor porcentaje de las aguas de las partes altas de la cuenca (Espinoza, 2018, p.22).

Figura 2.4: Subcuenca del Río Las Palmas, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

2.2.1 Aspectos socioeconómicos

El cantón de Carrillo se caracteriza por su actividad agropecuaria, en él se encuentran alrededor de 555 fincas que poseen una extensión de 33, 685 hectáreas. De esas fincas 284 se dedican a la actividad agrícola, 260 a actividad pecuaria y 11 a otro tipo de actividades como turismo rural, manejo y protección de bosques. Cabe destacar, que es una zona donde la mayoría de los cultivos es caña de azúcar, siendo este una de las principales fuentes de trabajo (Instituto de Desarrollo Rural, 2016, p.25) (Figura 2.5).

Figura 2.5: Cosecha de caña de azúcar realizada durante enero y marzo en el cantón de Carrillo, Guanacaste, Costa Rica.



Fuente: García y Replogle, 2016.

Otra actividad sería el turismo, cadenas hoteleras, turismo ecológico y agencias de tours generan un buen número de fuentes de empleo para la zona. El crecimiento en las costas, la cercanía con el aeropuerto Daniel Oduber y la belleza escénica provocan el interés de los turistas y ayudan con el desarrollo local (Municipalidad de Carrillo, 2017).

Por otra parte, otro tipo de actividad que se ha venido desarrollando en la zona con la ayuda de la Universidad Nacional y Universidad de Costa Rica es el turismo rural. El turismo rural se caracteriza como una forma de actividad en la cual la experiencia del visitante está vinculada a una amplia gama de productos relacionados, principalmente, con actividades en la naturaleza, la agricultura, las formas de vida y las culturas rurales, así como la visita a lugares de interés (Odio, 2020).

2.2.2 Aspectos operativos de la CNE de Carrillo

La red fluvial que define al cantón de Carrillo ha perdido cierta capacidad de amortiguamiento de inundaciones. Esto según la CNE (2023) es originado por la ocupación de las planicies de inundación, la deforestación en las partes altas y medias de la subcuenca. Donde la falta de programas de uso sostenible de recursos naturales, el desarrollo agropecuario y urbano en forma desordenada, contribuyen a la problemática. Además, la reducción de la sección hidráulica de los ríos

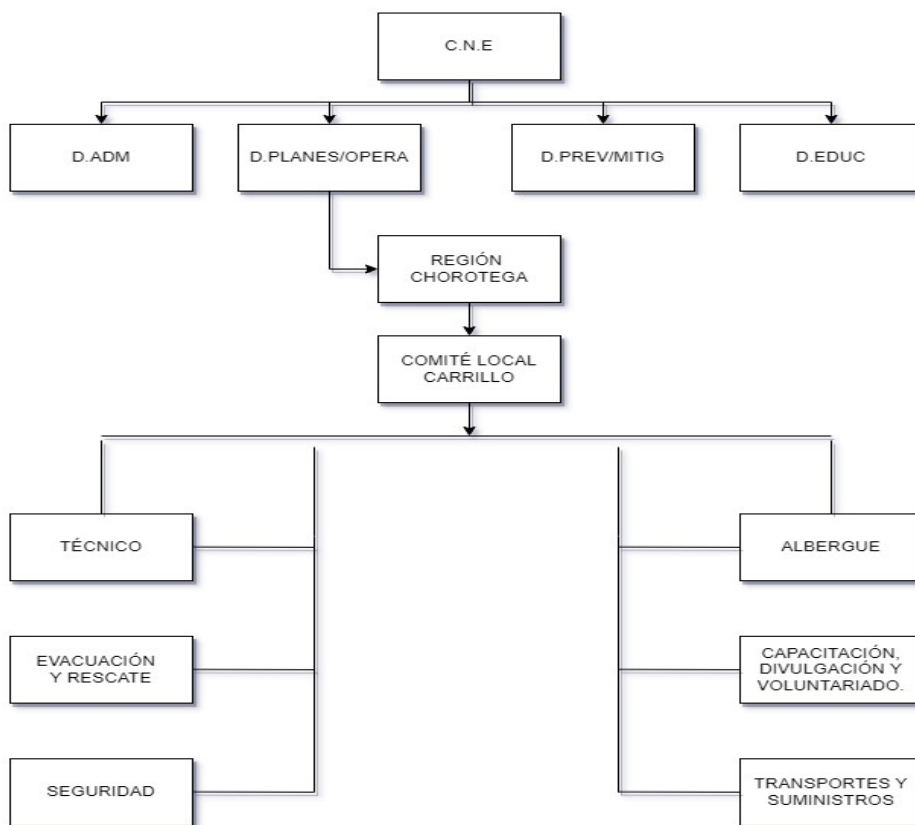
por la erosión favorece a las inundaciones y al flujo de lodo que transporta el agua, generando un estado de alto riesgo, por ende, la Comisión Nacional de Emergencias despliega las siguientes recomendaciones:

- Que la Municipalidad de Carrillo, no permita que continúe el desarrollo urbano en las planicies de inundación.
- Que la Municipalidad de Carrillo busque los mecanismos adecuados con otras instituciones del Estado, Organismos no gubernamentales (ONG's), vecinos y empresa privada para poner en práctica obras de protección de las márgenes de los ríos o los cauces, para reducir la posibilidad de inundaciones.
- Que los grupos organizados del cantón de Carrillo formen grupos de vigilancia de las subcuencas de los ríos que pasan cerca de los centros de población para evitar que inundaciones y avalanchas tomen por sorpresa a la población en época de lluvia con alta intensidad.

Carrillo cuenta con un comité de emergencia local el cual establece un plan local de emergencia, este se encuentra integrado por diferentes instituciones (Figura 2.6). Estas instituciones cumplen un papel fundamental a la hora de desarrollar mecanismos de acción ante emergencias.

Este comité se encuentra formado por representantes de la Cruz Roja, Ministerio de Salud, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, Municipalidad de Carrillo, Unión Cantonal de Carrillo, Asociación de Desarrollo de Filadelfia, entre otros, que han establecido estrategias, mediante la generación de mapas del cantón, donde se señalan áreas de zonas vulnerables, además de identificar, ubicar e inventariar los recursos en términos de infraestructura, transporte, colaboradores, entre otros que permitan generar acciones de protección en caso de ser necesario, sin dejar a un lado la coordinación con los subcomités y el comité central a través de una retroalimentación de los datos e información para una organización más eficiente (CNE et al., 1993).

Figura 2.6: Organigrama del orden de movilización ante una emergencia.



Fuente: Modificado de CNE, 1993.

2.3 Características climatológicas de la cuenca

En Costa Rica el viento predominante durante el período seco y el veranillo proviene del noreste o también conocido como viento alisio, este va desde diciembre a marzo, donde precipita solo un 4% del total anual, el periodo de lluvias se divide en dos secciones. El primero se da entre mayo y agosto, este se caracteriza por ser el mayor aporte de lluvia con un 50% del total anual, es en junio respectivamente que ocurre el primer máximo de lluvia, al intensificarse los vientos del suroeste, que provocan tormentas locales y fuertes aguaceros, a pesar de ello entre julio y agosto, los vientos alisios vuelven a intensificarse y como consecuencia se presenta el veranillo del Pacífico o canícula.

Seguidamente el segundo se extiende desde septiembre hasta noviembre, estas lluvias están asociadas a la influencia de eventos ciclónicos, por esto el 46% de la lluvia anual se precipita en este segundo período lluvioso (IMN,2023).

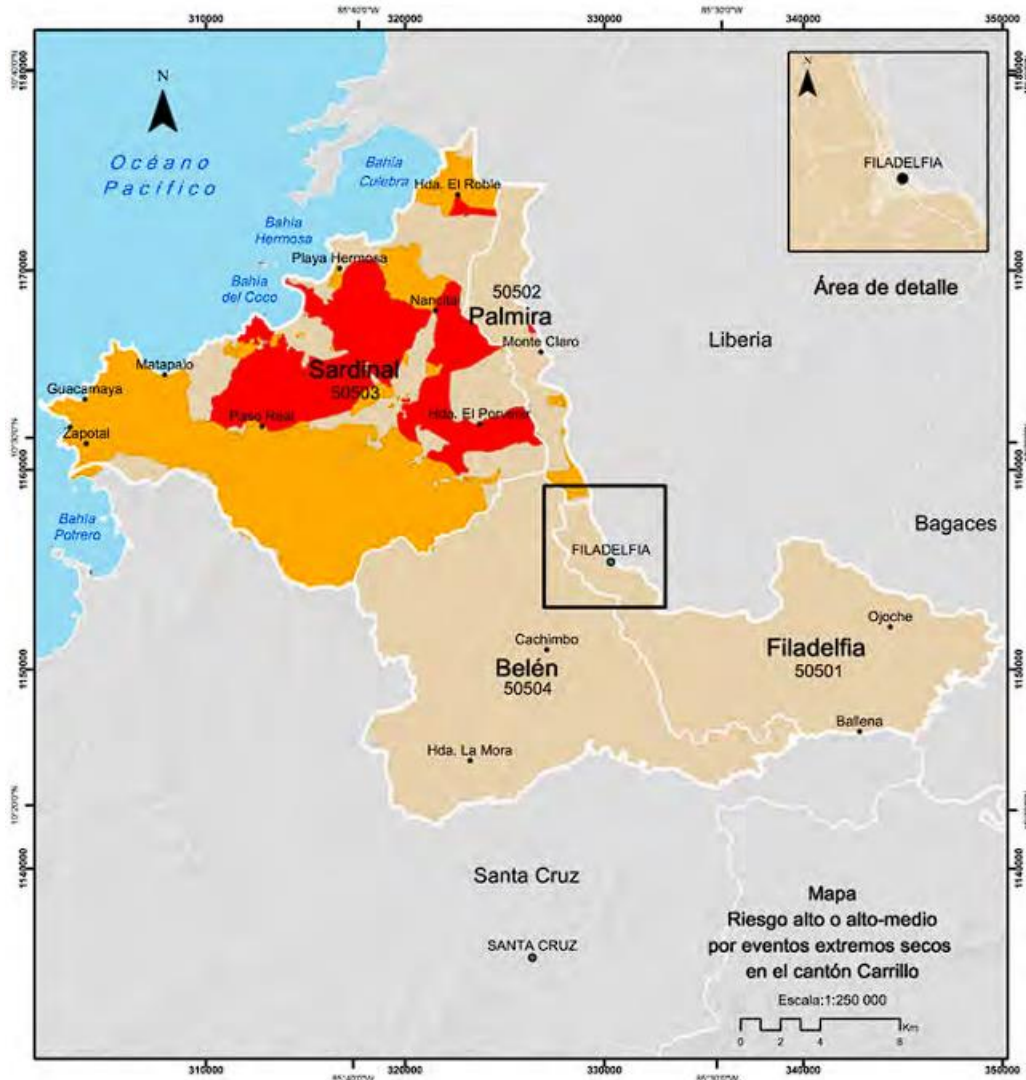
La Cuenca del río Tempisque debido a que se encuentra en el Pacífico Norte de Costa Rica presenta un régimen climático Tropical Seco el cual se caracteriza por ser una región cálida. Esta zona cuenta con una distribución irregular de sus lluvias durante todo el año, lo cual propicia que unas zonas sean más secas que otras, generando una repartición desigual de las precipitaciones. Por ello se presenta un promedio anual de 27.4 grados centígrados, las máximas mensuales oscilan entre 27.1 y 30.2 grados centígrados, los picos más altos se evidencian en el suroeste de la Cuenca. Las temperaturas más bajas son entre 24.6 y 27.0 grados centígrados en el límite Noroeste, este y sureste de la Cuenca, limitando con La cordillera volcánica que conforma la vertiente del Pacífico (Jiménez-Ramón y González-Jiménez, 2001, p.44).

2.3.1 Vulnerabilidad ante fenómenos climáticos

A continuación, se van a detallar los dos principales rasgos climáticos que llegan a significar un riesgo para el cantón de Carrillo y que refleja la vulnerabilidad de cada distrito:

1) Riesgo por eventos secos extremos: Sardinal presenta mayor riesgo debido a su alto nivel de amenaza, a pesar de su baja vulnerabilidad, a diferencia de otros cantones más vulnerables, las sequías en esta población pueden provocar situaciones más graves debido a su frecuencia y magnitud (Figura 2.7). Esto a pesar que tiene mejores condiciones sociales y económicas que otros distritos, cabe resaltar que Palmira, a pesar de ser más vulnerable por los indicadores de calificación debido a su población marginal, no tiene un alto riesgo, ubicándose en el área de estudio, Filadelfia denota un nivel intermedio de riesgo ante escenarios de sequía, por ello es fundamental que los distritos más vulnerables, pero en menor riesgo pueden brindar importantes activos a los de alto riesgo para atender emergencias (Renata et al., 2020, p. 81-84).

Figura 2.7: Distribución espacial de unidades geoestadísticas mínimas según eventos extremos de sequía.

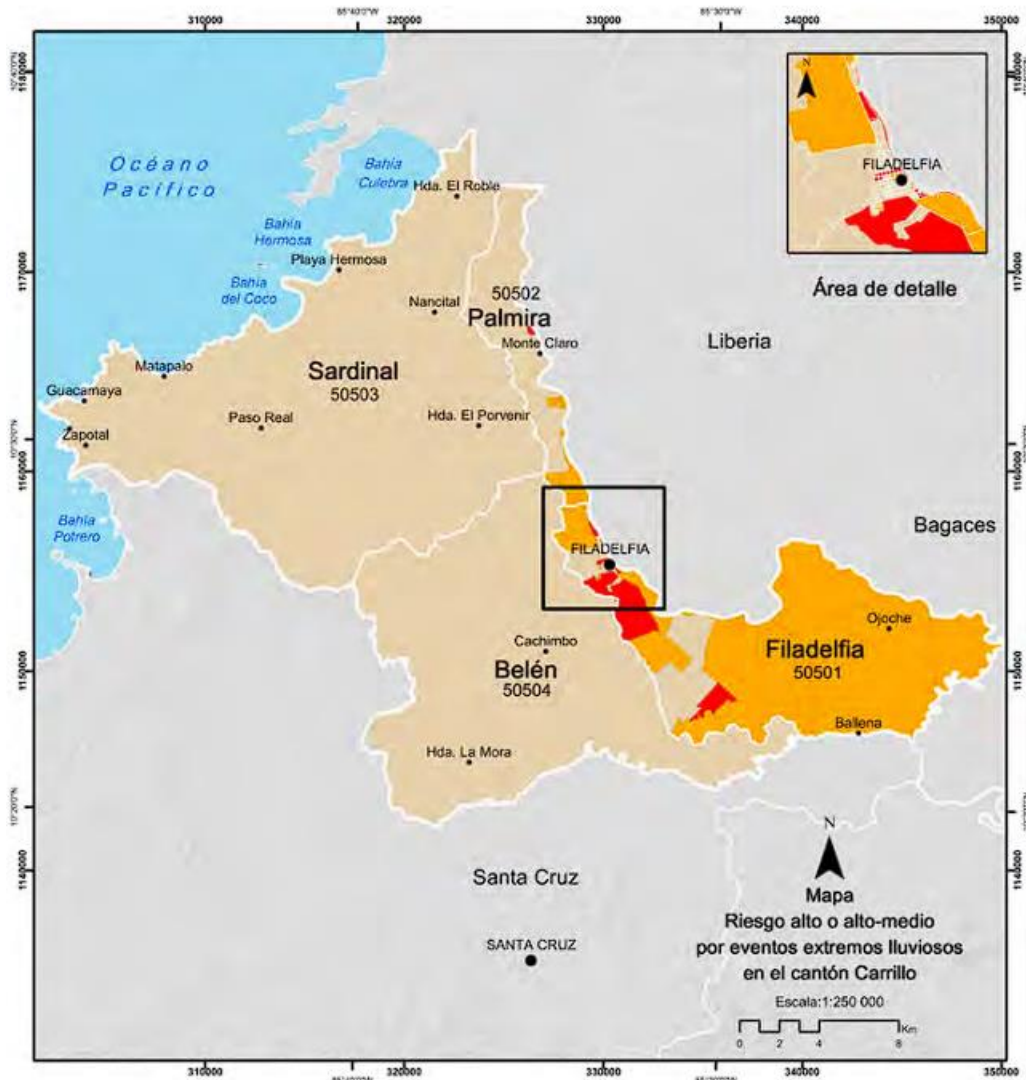


Fuente: Modificado de Renata et al., 2020.

II) Riesgo por eventos lluviosos extremos: Este escenario presenta una menor área de influencia y afecta a una menor cantidad de personas en comparación con el riesgo por eventos secos, donde la identificación de las zonas se puede realizar de una mejor manera al considerar solamente las Unidades Geoestadísticas Mínimas de mayor nivel de riesgo (Figura 2.8). Las cuales se evidencia en la margen derecha del Tempisque, la cual se presenta en la mayor parte del distrito central, en la cual según el censo del 2011, la población expuesta en esta zona asciende a 5,525 personas, de las cuales el 66% (3,668 personas) de la población en alto riesgo se encuentra en Filadelfia, mientras que el restante 34% (1,857 personas) está en el distrito de Palmira, a pesar de que los eventos lluviosos

extremos son de menor duración que los eventos secos extremos, estos son meramente significativos en el año, por lo que es importante evaluar y monitorear de manera continua los puntos cruciales (Renata et al., 2020, p. 81-84).

Figura 2.8: Escenario de riesgo ante eventos extremos lluviosos mediante el análisis de unidades geoestadísticas mínimas.



Fuente: Modificado de Renata et al., 2020.

2.3.2 Eventos históricos de inundación extremos de la zona

En el año 2001 con el paso del huracán Michelle por Centroamérica, provocó una serie de afectaciones en nuestro país. Perjudicando la agricultura, la infraestructura vial, los acueductos y alrededor de 2000 viviendas afectadas por las inundaciones. Zonas afectadas: Liberia, Nicoya, Santa

Cruz, Carrillo, Cañas, Tilarán, Nandayure, La Cruz, Hojancha, Puntarenas, Esparza, entre otros (Vallejos et al., 2017, p.13).

En el año 2017 el cantón de Carrillo se vio afectado por las fuertes lluvias, el desbordamiento del río Las Palmas afectó a las comunidades de Paso Tempisque y Palmira (Villalobos, 2017). En consecuencia, con la tormenta tropical Nate cientos de personas perdieron sus pertenencias en el barrio el Bambú, y estos tuvieron que ser resguardados en los albergues de la comunidad (Sancho, 2017).

En el año 2020 hubo desbordamiento de varios ríos, esto generó afectaciones en diversos cantones del pacífico norte, incluidos Carrillo. La saturación de los suelos hizo que los ríos y quebradas se llenaran más rápido, dicha situación hizo que varias familias tuvieran que dormir en albergues (Solano, 2020).

Conclusión

En este capítulo se generó el contexto necesario sobre los elementos fundamentales y más significativos que definen al cantón de Carrillo, denotando los antecedentes climáticos, además de la vulnerabilidad de la subcuenca ante fenómenos de inundación, entre otros, con el fin de dar una perspectiva integral de los factores que caracterizan las cualidades de la subcuenca. En relación con lo presentado en los dos primeros capítulos, se plantean los conceptos bases para iniciar el desarrollo del proyecto en los siguientes capítulos.

Capítulo 3 - Marco teórico

Este capítulo presenta las bases teóricas fundamentales para comprender en proceso hacia la elaboración de la práctica, además, de ello ayudan a desarrollar un entendimiento de los conceptos que se manejan en el lenguaje técnico del proyecto y así enfatizar en una explicación entendible sobre las posibles soluciones que se deriven de este estudio.

3.1 Generalidades sobre las cuencas hidrográficas

La forma en que los materiales erosionables y el recorrido del agua interactúan sobre el borde de un canal fluvial natural es la responsable de su morfología, en donde estas interacciones suceden o tienen lugar dentro del marco de dos fuerzas principales que afectan el flujo de agua: la primera de ellas es gravedad que atrae los objetos hacia el centro del planeta y segundo está la pendiente del canal, esta es la diferencia de altitudes del punto más alto al más bajo, no obstante la fricción, se opone al movimiento del agua, cabe resaltar que dependiendo de la velocidad del agua, se pueden presentar dos regímenes: laminar y turbulento (Ibanez et al., 2011, p. 10).

3.1.1 Pendiente

Uno de los parámetros más representativos que definen el relieve es la pendiente media de una cuenca, ya que la misma depende de la diferencia altitudinal del punto más alto y el de menor medida, con el fin de generar una suma de longitudes de las curvas de nivel que caracterizan la cuenca o su cauce principal, donde se toma en cuenta la distancia entre los dos puntos altitudinales en cada extremo (Viramontes-Olivas et al., 2007, p. 24).

3.1.2 Índice de compacidad

Para lograr una comparación adecuada y acertada sobre la forma de una cuenca de forma ideal, se debe contemplar la distancia que dicte el perímetro, que tome en cuenta la circunferencia de un círculo que mejor se acople a la superficie de la cuenca, este índice denota ya sea la menor o mayor compacidad de la cuenca a través de la relación que llegue a darse entre las dos variables, la circunferencia y el perímetro del círculo que se asemeje al área de la cuenca, por ello cuando se acerque el valor de la del índice a la unidad, esto quiere decir que se puede considerar que la cuenca tiene una forma que se parece más a un círculo, significando que se representa de manera más compacta y por ende, va a ir aumentando mediante la disminución de la compacidad (De Matauco, 2004, p. 315-316).

3.1.3 Uso de suelo

Es importante comprender cómo las actividades humanas influyen en los ecosistemas para lograr un futuro sostenible, en relación con la variabilidad climática. Esto requiere tomar en cuenta temáticas sobre la disponibilidad de los recursos naturales y cómo la población reacciona ante los cambios en su entorno. Existen dinámicas de cambio y uso del suelo complejas, que pueden tener consecuencias inesperadas en la estructura y funcionalidad del ambiente, donde estas dos variables tienen una gran influencia sobre el desarrollo sostenible urbano, en la cual el desarrollo de las

ciudades se acompaña de innumerables cambios morfológicos y funcionales del uso del suelo (Pinos, 2016, p.8).

3.1.4 Tipo de suelo

Según la información disponible en el mapa digital de suelos de Costa Rica, se denota la existencia de 12 grandes grupos de suelos que varían en cuanto a su composición, profundidad, textura, entre otras variables que se distribuyen de manera diferente a lo largo del país, en los cuales algunos de estos grupos incluyen los andosoles, los espodosoles, los histosoles, inceptisoles, litosoles, nitosoles, oxisoles, phaeozems, regosoles, solonchaks, vertisoles, y fluvisoles, cabe resaltar que es la utilidad de esta información radica en determinar la clasificación en la que se encuentra una zona determinada y con ello establecer un uso adecuado para las condiciones que definen las propiedades de cada tipo de suelo, como lo son minerales, nutrientes, infiltración y otros más (Universidad de Costa Rica, 2016).

3.1.5 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración, también conocido como el tiempo de respuesta y de equilibrio o ya sea como el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario, es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de desagüe, al mismo tiempo se caracteriza por ser lo que tarda una gota de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de desagüe, esto implica que, en general, el tiempo de concentración puede variar significativamente de un lugar a otro, dependiendo de la topografía, la vegetación y otros factores que afectan el escurrimiento y la infiltración del agua en el suelo (Vélez, 2011, p. 59).

Por otra parte, los métodos que se utilizan para diseñar sistemas hidrológicos tienen como objetivo principal modelar la forma en que una cuenca hidrográfica responde ante una tormenta. Por ende, este proceso implica una estimación cuidadosa del hidrograma de crecida resultante, donde el tiempo de concentración (t_c) se considera una medida fundamental que refleja la distribución temporal del hidrograma y otros valores característicos que son críticos para el diseño de estructuras hidráulicas, como presas, en donde la exactitud del diseño para este tipo de obras depende en gran medida de la precisión en el cálculo de este parámetro, así como del caudal máximo. Por esto mismo se emplean diversos métodos para modelar y predecir el comportamiento de una cuenca hidrográfica durante una tormenta, y poder diseñar estructuras hidráulicas resistentes y seguras en caso de eventos extremos (Bentancor y García, 2014, p. 106).

3.2 Efecto del Cambio Climático en la hidrología

Según el informe más reciente del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), las emisiones actuales de gases de efecto invernadero tendrán un impacto en el calentamiento global y en el clima a largo plazo, esto conlleva un aumento de eventos extremos y un patrón mundial de cambios en la escorrentía anual, con un aumento en las regiones de altas latitudes y una disminución en el sur de Europa, África occidental y el sur de Latinoamérica, además la región del Mediterráneo es especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático, ya que se espera que la precipitación media anual disminuya, mientras que la evapotranspiración aumenta debido al aumento de la temperatura, esto resultará en veranos más secos y un mayor riesgo de sequías, lo que reducirá los recursos hídricos subterráneos (Marcos-García, y Pulido-Velázquez, 2017, p. 36).

3.2.1 Periodos de retorno

El periodo de retorno es un concepto utilizado en el diseño de infraestructuras y sistemas para enfrentar eventos climáticos extremos, como lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes y otros eventos similares, este se define como el número de años promedio que se prevé que un evento extremo igual o mayor en magnitud ocurra nuevamente, en otras palabras, cuanto mayor sea la magnitud de un evento, menor será la frecuencia con la que este ocurre, este fenómeno es evidente en las precipitaciones, donde las precipitaciones intensas son menos frecuentes que las moderadas o débiles, por ello es fundamental tener en cuenta el periodo de retorno para la planificación y diseño de infraestructuras y sistemas, así como para evaluar la vulnerabilidad y resiliencia de las comunidades frente a los eventos climáticos extremos (Gutiérrez et al., 2011, p. 21).

3.2.2 Precipitación máxima diaria

La precipitación máxima diaria es la cantidad de lluvia que cae en un área en específico durante un periodo de 24 horas. Es un parámetro que se utiliza en el área de hidrología para comprender y pronosticar el comportamiento del agua en la atmósfera, este a su vez es expresada en milímetros (mm) (Chow et al., 1988, p.483).

3.2.3 Hietogramas

Un hietograma es un gráfico que va a representar la distribución temporal de la precipitación durante un evento de lluvia. Esta muestra la intensidad de la lluvia en función del tiempo es decir mm/hora, con esta representación se vuelve más sencillo determinar cuál fue la hora donde se dio la máxima intensidad de la precipitación y el valor de la misma (Villón, 2004, p 87).

Hay que destacar que los hietogramas vienen a formar una parte importante en el ámbito de realización de obras hidráulicas. Esto debido a que se contempla gracias a un histórico de precipitación, las condiciones de eventos anteriores que pueden manifestarse nuevamente, al utilizar esta información, las obras hidráulicas podrán resistir un evento similar al antecedente (García Mendoza, 2020).

3.3 Modelación hidrológica

La modelación hidrológica es una herramienta que se utiliza para simular los procesos físicos que ocurren en un sistema hidrológico, que en este caso sería la cuenca. Esto se logra haciendo uso de modelos matemáticos y computacionales que simulan el comportamiento de lagos, ríos, cuencas hidrográficas y el ciclo del agua en general. Para poder modelar se necesita información fisiográfica de la cuenca como: la delimitación, red de drenaje, pendientes, longitudes, área, uso de suelo, tipo de suelo, caudales, entre otros (Pusineri et al., 2005, p.1)

3.3.1 Hidrogramas

Un hidrograma se define como un gráfico que va a mostrar la variación del caudal en función del tiempo. Los hidrogramas sirven para conocer distintas características de un flujo como: el caudal máximo y el tiempo de concentración (Raghunath, 2006, p. 117-118).

Este método se basa en el análisis de la relación lluvia-escorrentía a nivel de cuenca, subcuenca o microcuenca, para la determinación de posibles avenidas y por ende su efecto en obras hidráulicas. Es de esta forma que se dispone un modelo lineal del sistema e invariable en el tiempo, donde como unidad de entrada se tiene la precipitación y de salida el caudal de escorrentía directa (Ayuso et al., 1994).

3.3.2 Inundación

Las inundaciones son producto de las fuertes lluvias, tormentas tropicales y huracanes, estos eventos provocan el desbordamiento o saturación de agua en áreas que normalmente están secas. Son pocas las partes del mundo donde la población está exenta a la ocurrencia de este fenómeno. Generalmente, las inundaciones requieren varias horas e incluso días para desarrollarse, lo que brinda a los residentes tiempo para prepararse o evacuar, sin embargo, en ocasiones, las inundaciones pueden ocurrir repentinamente y sin previo aviso (National Geographic, s.f).

3.3.3 Umbral de inundación

Un umbral de inundación es un nivel de flujo predefinido que indica cuando un cuerpo de agua ha alcanzado un nivel que puede llegar a provocar inundaciones en áreas cercanas (Cruz, 2020,

p. 27). A partir de esto se pueden emitir advertencias y alertas de inundación por parte de los organismos de emergencias hacia las comunidades que se encuentran en los distintos puntos de una cuenca hidrográfica.

A raíz de un umbral de inundación se puede determinar si un evento se puede considerar una amenaza y llegue a significar un peligro para la población, es por eso que se emiten distintos tipos de alerta dependiendo del grado de la amenaza. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2012), expresa el siguiente umbral según su intensidad y afectación, con el fin de realizar una adecuada respuesta ante una alerta (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Categoría de alertas según su grado de afectación.

| Tipo de alerta | Condición de alerta | Descripción |
|-----------------------|----------------------------|---|
| Aviso | Verde | Se activa cuando se detecta y localiza la presencia de un fenómeno natural cuya trayectoria y grado de peligrosidad pueden tener un impacto en todo el territorio nacional o en un área específica. |
| Alerta | Amarillo | Se activa cuando el fenómeno detectado presenta una tendencia peligrosa de crecimiento que puede llegar a afectar total o parcialmente el territorio nacional. Además, su afectación es inminente. |
| Alarma | Rojo | Se activa cuando se produce un daño repentino que impacta de manera inesperada en una parte o en la totalidad del territorio nacional. |

Fuente: Modificado de UNESCO, 2012.

3.3.4 HEC-HMS

HEC-HMS o (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) es un software de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Su uso es muy frecuente en el área hidrológica ya que permite simular distintos eventos hidrológicos, además, se puede aplicar para analizar inundaciones urbanas, frecuencia de inundaciones, crear sistemas de alerta temprana y restauración de cuerpos de agua (Halwatura y Najim, 2013, p. 156).

3.4 Gestión de Riesgo

Se define como un proceso que busca identificar, evaluar y tomar medidas para reducir o mitigar los riesgos a los que se enfrenta una organización, comunidad o sistema ante acontecimientos adversos o situaciones potencialmente peligrosas, y su principal propósito es el de crear estrategias para responder ante una amenaza incierta (Kunreuther et al., 2013, p. 1). Por otra parte, según Plate (2002, p.1) la gestión de riesgos en realidad tiene lugar en tres niveles diferentes de acciones: el primer nivel que es el operativo, se asocia a la explotación de un sistema existente, en segundo lugar el nivel de planificación de un proyecto, que se utiliza cuando se inicia un proyecto nuevo o la revisión de un proyecto existente, y finalmente el nivel de diseño del proyecto, que está integrado en el segundo nivel y describe el proceso de alcanzar una solución óptima para un sistema existente.

Con respecto a Costa Rica, existe una política nacional de gestión del riesgo (Ley N° 8488, artículo 5). Su objetivo es coordinar los instrumentos, programas y recursos públicos para llevar a cabo acciones ordinarias y extraordinarias, tanto a nivel institucional como sectorial, con el fin de prevenir desastres y atender emergencias en todas sus etapas. Para garantizar el cumplimiento de esta política, la Ley N° 8488 establece la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo. Estas medidas permiten que las organizaciones consideren el riesgo en sus procesos de planificación ordinaria y extraordinaria, de acuerdo con sus competencias (Mora et al., 2018, p.10).

Por otra parte, debido a su ubicación geográfica, clima y características geotectónicas e hidrometeorológicas, Costa Rica está expuesta a diversas amenazas de origen natural, como deslizamientos, inundaciones, sismos, vulcanismo, entre otras (CNE,2023). Sin embargo, el riesgo presente en este proyecto es ante las inundaciones, por ende, la gestión que se debe de dar es enfocadas a estas.

3.4.1 Sistema de alerta temprana

Un sistema de alerta temprana (SAT) es un conjunto de procesos de vigilancia, previsión y predicción de peligros, evaluación del riesgo y comunicación que permiten a las comunidades, gobiernos y empresas a detectar y prevenir eventos o situaciones adversas con anticipación y así reducir el riesgo de catástrofes. Por otra parte, para que un sistema de alerta temprana sea eficaz tiene que incluir cuatro elementos que son: el conocimiento del riesgo de catástrofes basado en la recopilación sistemática de datos y evaluaciones del riesgo de catástrofes; después, la detección, seguimiento, análisis y previsión de los peligros y sus posibles consecuencias; seguidamente, la difusión y comunicación, por parte de una fuente oficial, de alertas autorizadas, oportunas, precisas y

procesables e información asociada sobre la probabilidad y el impacto; y finalmente la preparación a todos los niveles para responder a las alertas recibidas (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2023).

3.4.2 Eventos hidrometeorológicos extremos

Se puede entender que un evento hidrometeorológico extremo es la aparición de un valor de una variable. Ya sea meteorológica o climática, por encima (o por debajo) de un valor umbral cercano a los extremos superior (o inferior) del intervalo de los valores observados de la variable (IPCC, 2012, p. 557).

Conclusión

El desarrollo de este capítulo permitió conceptualizar las bases teóricas en las que se cimenta la idea general del estudio. Significando una guía adecuada para generar información relevante a la hora de tomar decisiones que conlleva el proyecto en temas técnicos, ambientales y socioeconómicos.

Capítulo 4 - Estudios de prefactibilidad

En este capítulo se desarrollarán los estudios de prefactibilidad para el proyecto, permitiendo evaluar su potencial éxito y determinar si se justifica la inversión de recursos adicionales para llevarlo a cabo. Se toma como referencia Sapag et al. (2014) y de allí se seleccionaron estudios: técnico, legal, ambiental, social y económico-financiero.

4.1 Estudio técnico

Según Sapag et al., (2014) un estudio de prefactibilidad técnica consiste en un análisis exhaustivo que se realiza para evaluar la viabilidad técnica de un proyecto antes de tomar decisiones importantes sobre su implementación. Además, este va a proveer información para cuantificar el monto de las inversiones y de los costos de operación, como lo son los insumos y materiales requeridos para llevar a cabo el proyecto, los cuales se encuentran accesibles, ya que no son imposibles de adquirir por medios propios (Tablas 4.1 y 4.2).

Tabla 4.1: Insumos necesarios para el análisis hidrológico.

| Insumo | Cantidad |
|-----------------------------|----------|
| Datos hidrometeorológicos | 5 |
| Atlas digital de Costa Rica | 1 |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Tabla 4.2: Equipo y programas computacionales para el procesamiento.

| Insumo | Cantidad |
|-----------------|----------|
| Computadora | 2 |
| QGIS | 2 |
| HEC HMS | 2 |
| Microsoft Excel | 2 |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Tabla 4.3: Otros insumos requeridos para el proyecto.

| Insumo | Cantidad | Unidad |
|---------------------------|----------|--------|
| Servicio electricidad | 10 | Mes |
| Servicio agua potable | 10 | Mes |
| Servicio cable e internet | 10 | Mes |

| | | |
|-----------------------|---|---------|
| Giras | 3 | - |
| Materiales de campo | 2 | - |
| Ingeniero hidrológico | 2 | Persona |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

4.2 Estudio legal

Cualquier proyecto, independientemente de su rentabilidad, requiere cumplir con el marco legal vigente que incorpora disposiciones específicas establecidas por la sociedad. Estas disposiciones determinan lo que está permitido, prohibido o requerido legalmente. Para evaluar adecuadamente un proyecto y optimizar los resultados de la inversión, es necesario realizar un análisis exhaustivo del marco legal particular que le corresponde (Sapag et al., 2014).

Cabe resaltar que la viabilidad legal de este proyecto se fundamenta en los principios de la Ley de Planificación Urbana N° 4240, ya que mediante este estudio se refuerza la identificación de áreas adecuadas según su nivel de vulnerabilidad, tomando en cuenta medidas de mitigación de riesgos de inundaciones. Otro eje para la viabilidad del proyecto lo dicta la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N°8488, debido a que la aplicación de este estudio permitiría fomentar mejores acciones para prevenir la ocurrencia de desastres, por el hecho de que se estimula la respuesta a emergencias en un tiempo prudente. Por ende, estas Leyes y las demás presentes en el marco legal de la tabla 4.4, refuerzan la necesidad de realizar este tipo de estudios con el objetivo de mejorar la seguridad de la comunidad del Barrio Bambú.

Dicho lo anterior, en la siguiente sección se realiza una revisión del marco legal que aplica para este proyecto y que se encuentre vinculada con la gestión de riesgos de inundaciones. Esto con el fin de hacer constatar la viabilidad legal del proyecto para su ejecución (Tabla 4.4).

Tabla 4.4: Marco regulatorio legal asociado al proyecto.

| Marco legal | Descripción breve |
|-------------------------------------|--|
| Constitución política de Costa Rica | Artículo 50. Se establece que toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. La relación con |

| | |
|--|---|
| | este proyecto es que se busca prevenir el riesgo ante las inundaciones. |
| Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N°8488 | <p>Artículo 5. Esta política integra diferentes instrumentos, programas y recursos públicos para llevar a cabo acciones tanto ordinarias como extraordinarias, a nivel institucional y sectorial, con el objetivo de prevenir la ocurrencia de desastres y brindar respuesta a emergencias en todas sus etapas.</p> <p>Artículo 14. Se establece a la CNE como la entidad encargada de la prevención de riesgos y de gesticular los preparativos para una emergencia. Además, en el inciso “f” se menciona como se debe de promover y apoyar estudios e investigaciones que estén orientados a la prevención y mitigación de desastres, y a los preparativos para enfrentarlos.</p> |
| Ley Orgánica del ambiente N°7574 | <p>Artículo 1. Se procurará dotar, a los costarricenses y al Estado, de los instrumentos necesarios para conseguir un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.</p> <p>Artículo 15. Así como en artículo 14 de Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo se establece que El Estado y sus instituciones promoverán permanentemente la realización de estudios e investigaciones sobre el ambiente.</p> |
| Ley de Aguas N° 276 | Esta ley regula el uso, conservación, protección y aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos. Proporciona las pautas para la gestión del agua, incluyendo medidas para prevenir inundaciones y controlar el manejo de los cauces de los ríos. |
| Ley Forestal N° 7575 | Esta ley establece las normas para la conservación, protección y manejo sostenible de los recursos forestales. Es importante considerarla para garantizar la preservación de áreas boscosas |

| | |
|---|---|
| | que ayudan a prevenir la erosión del suelo y reducir el riesgo de inundaciones. |
| Ley de Planificación Urbana N° 4240 | Artículo 25. Se establecen los lineamientos para el ordenamiento territorial y la planificación urbana. Es importante considerarla para garantizar que los proyectos se desarrollen en áreas adecuadas y que se tomen en cuenta medidas de mitigación de riesgos de inundaciones en la planificación y diseño de la infraestructura. |
| Marco de Acción Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2015-2030 | En la sección “IV Prioridades de acción” establece la importancia del aumento en la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción |
| Decreto Ejecutivo No. 38842-MINAE | Este reglamento establece los requisitos para la evaluación de impacto ambiental y el control ambiental de proyectos. El reglamento ayuda a seguir los procedimientos establecidos y considerar los posibles impactos de las inundaciones en el entorno natural y humano del proyecto. |
| Resolución N° 1462-2018-SETENA | Artículo 5. Se establece que dentro las actividades, obras o proyectos que no requieren de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) se encuentran los estudios o actividades necesarios, para obtener información en la elaboración de herramientas o instrumentos de evaluación de impacto ambiental. Por ende, en un proyecto de esta índole no sería necesario un EIA. |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

4.3 Estudio ambiental

Todo proyecto requiere de un estudio de viabilidad ambiental, el cual es brindado por la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), para determinar la afectación potencial mediante diferentes tipos de trámites. El trámite D1 es implementado para actividades, obras o proyectos de

categoría de moderado y alto impacto ambiental potencial, y el D2 deberá ser utilizado para proyectos de bajo impacto ambiental potencial (SETENA, 2023).

El presente trabajo propone realizar un estudio hidrológico en la comunidad del barrio bambú de Filadelfia, Carrillo, Costa Rica. En un tramo del cauce principal del río de Las Palmas, el cual pertenece a la cuenca del Río Tempisque. Esto debido a que tiene una probabilidad de ocurrencia elevada de presentar fenómenos de inundación, por ello este tipo de estudios permite conocer el comportamiento del medio ambiente en situaciones de vulnerabilidad. Situaciones como la presencia de eventos de precipitación extrema. Con el fin de resguardar la seguridad de los habitantes, ya que como menciona el artículo 50 de la Constitución Política de Costa Rica, las personas tienen derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado (Sistema Costarricense de Información Jurídica, 1994).

En relación con la anterior, el proyecto se caracteriza por ser un estudio que no necesita de intervenciones directas sobre el medio ambiente. Esto debido a que se fundamenta sobre bases de datos digitales y la utilización de softwares que analizan la subcuenca sin la necesidad de generar alguna implicación física en el ecosistema. Lo cual denota que es un estudio con muy bajo impacto ambiental, llegando a generar información de aprovechamiento ambiental y social, debido a sus funciones y aplicaciones.

La Resolución N° 1462-2018-SETENA, menciona que las actividades de muy bajo impacto ambiental potencial no requieren ser sometidas a un proceso de evaluación de impacto ambiental ante la SETENA, debido a su muy bajo impacto potencial. Solo si las actividades humanas no llegan a tener algún tipo de impacto ambiental y no vulnera la calidad ambiental del entorno o algún tipo de sus elementos, ni alteración en las condiciones de salud de la comunidad (SETENA, 2018).

4.4 Estudio social

Esta sección toma en cuenta los principales aspectos sociales que se encuentran involucrados y perjudicados ante la manifestación de un fenómeno de inundación. Estos a su vez se relacionan con la ejecución del estudio hidrológico, donde se incluyen los actores claves en la toma de decisiones, además de las partes beneficiadas por su aplicación. Con el fin de minimizar las pérdidas materiales mediante la acción en un tiempo prudente que disminuya la afectación por el riesgo que conlleva esta problemática sobre la integridad de las vidas humanas.

4.4.1 Actores Claves del estudio

El estudio hidrológico es una herramienta que debe ser utilizada de forma integral y que a su vez tome en cuenta la participación de cada uno de los actores involucrados. Los cuales brindaran soporte al estudio y aplicación a los datos resultantes, con el fin de optimizar y potencializar su utilidad (Tabla 4.5).

Tabla 4.5: Actores sociales fundamentales para el manejo de emergencias por inundación.

| Grupos Claves | Relación con el proyecto |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Municipalidad de Carrillo | Directo |
| Comisión Nacional de Emergencia | Indirecto |
| Universidad Nacional | Directo |
| Comité Comunal de Emergencias | Indirecto |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Nota: La labor interinstitucional es una herramienta crucial para la mitigación de los impactos potenciales ante la materialización de una emergencia, por ello, las agrupaciones destacadas en la tabla 5 proporcionan la opción de realizar planes de acción tomando en cuenta información técnica relevante para la toma de decisiones.

4.4.2 Impactos en la sociedad

Unos de los impactos más destacables generados por las inundaciones son las pérdidas materiales, ya que significa un costo social alto para las poblaciones afectadas. Esto se debe a que se requiere de una reparación o readquisición de los bienes que durante el evento de emergencia se vieron meramente dañados. Esta situación se considera un problema severo para la economía de la población del Barrio Bambú. Además, estos fenómenos ocurren con frecuencia e intensidad, lo que resalta la necesidad de tomar acciones preventivas y de anticipación para disminuir la carga socioeconómica que conlleva estas emergencias.

En relación con lo anterior, Alpízar y Carvajal (2014), mencionan que estos los costos asociados a estos eventos deben ser examinados desde la perspectiva de la definición de desastre de origen natural. Esta definición establece que la coincidencia de un fenómeno natural peligroso con ciertas condiciones vulnerables es lo que genera el riesgo. Por lo tanto, el riesgo estaría ligado a la simultaneidad de los procesos naturales y las estructuras sociales.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, la aceptación social de este proyecto radica en que, gracias a un sistema de alerta temprana que favorezca la respuesta en un tiempo prudente permita minimizar los costos asociados al paso de un evento de precipitación extrema que desencadene una inundación en la población del Barrio Bambú.

4.4.3 Partes beneficiadas

La implementación de estudios hidrológicos trae consigo aspectos positivos. Los cuales pueden ser aprovechados por las partes involucradas, con diferentes niveles de aplicación (Tabla 4.6).

Tabla 4.6: Grupos beneficiados por la aplicación de estudios hidrológicos.

| Grupos Beneficiados | Beneficio del estudio |
|------------------------------|---|
| Municipalidad de Carrillo | La obtención de información técnica permite un adecuado abordaje de emergencias, además de mejorar la capacidad de prevención, la gestión municipal de riesgo y la organización interinstitucional. |
| Comité Comunal de Emergencia | La implementación de tiempos de reacción ante la posible llegada de una inundación, permiten comprender y atender de mejor forma el problema. |
| Población del Barrio Bambú | Una mejor planificación en tiempo prudente permite disminuir la vulnerabilidad y pérdidas materiales por la llegada de la inundación. |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Nota: El análisis de las condiciones hidrológicas de la subcuenca del río Las Palmas es una herramienta que genera información de suma importancia, la cual puede ser útil en cualquier nivel de organización, ya que guía a los actores claves a tomar mejores decisiones que fomenten una planificación y gestión de mayor eficacia.

4.5 Estudio económico- financiero

Esta sección pretende destacar las implicaciones del proyecto en términos de costos. Con este fin, se presentará una estimación de los gastos necesarios para el estudio. Estos se detallarán a continuación:

4.5.1 Estudio financiero

A continuación, se destacan los costos indirectos del proyecto, los cuales son gastos proyectados en un periodo de tiempo de 10 meses. Seguidamente los costos directos, que se pueden cuantificar por cantidad y no por tiempo (Tabla 4.7).

Tabla 4.7: Presupuesto global del proyecto.

| Costos Indirectos | | | | |
|-------------------------------------|----------------|----------|--------------|---|
| Rubro | Costo Unitario | Cantidad | Precio total | Observaciones |
| Servicio de cable e Internet (Tigo) | €37,500.00 | 10 | €375,000.00 | Se requiere una velocidad de internet que permita el desarrollo adecuado de las actividades, se toma en cuenta los 10 meses de trabajo. |
| Servicio Electricidad (ICE) | €20,000.00 | 10 | €200,000.00 | |
| Servicio agua potable (AyA) | €7,000.00 | 10 | €70,000.00 | |
| QGIS | - | 1 | - | Software de información geográfica. |
| Excel | - | 1 | - | Programa para el procesamiento y análisis de datos. |
| HEC HMS | - | 1 | - | Software para el proceso de modelación hidrológica. |

| | | | | |
|---------------------------|----------------|----------|----------------|--|
| | | | | |
| Atlas 2014 | - | 1 | - | Base de datos. |
| Subtotal | | | €645,000.00 | |
| Costos directos | | | | |
| Rubro | Costo Unitario | Cantidad | Precio total | Observaciones |
| Giras de Campo | €24,000.00 | 3 | €72,000.00 | Se incluye transporte y alimentación para 2 personas. |
| Kit de primeros auxilios | €7,900.00 | 2 | €15,800.00 | Se incluye |
| Computadora | €700,000.00 | 2 | €1,400,000.00 | Dada la naturaleza del proyecto se necesitan computadoras potentes que logren correr los programas sin ningún inconveniente. |
| Honorarios | €557,876.92 | 2 | €11,157,538.40 | Se toma en cuenta a dos ingenieros, cada uno trabajando 10 meses. |
| Datos hidrometereológicos | - | - | - | - |
| Subtotal | | | €12,645,338.40 | |
| Otros | | | | |
| Subtotal | | | €13,290,338.40 | Indirectos + Directos |
| Imprevistos | | 5% | €664,516.92 | Se contempla un 5% para cada uno de los dos ingenieros. |
| IVA | | 13% | €1,727,743.99 | |
| Total | | | €15,682,599.31 | |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

4.5.2 Estudio Económico

La implementación de ese tipo de estudios permite generar un factor clave denominado costos ahorrados. Este permite visualizar el impacto positivo que puede llegar a tener la realización del proyecto en relación con la reducción de las pérdidas económicas, tanto de la municipalidad de Carrillo en términos de gastos administrativos, operacionales y de reconstrucción, como para la comunidad del Barrio Bambú que presentan pérdidas materiales en sus hogares. Esto debido a que después de la materialización de un desastre natural, como una inundación, quedan daños reversibles e irreversibles para ambas partes. Por ende, una temprana anticipación de este tipo de eventos extremos permite ahorrar tanto a la municipalidad como a los pobladores una cantidad significativa de dinero. Mediante acciones de respuesta en un tiempo prudente de reacción, permitiendo tomar las medidas necesarias para minimizar los daños ocasionados en los bienes materiales.

Por otra parte, cabe destacar que los daños provocados por las inundaciones generan una pérdida económica directa, ya que los propietarios deben invertir en reparaciones o reconstrucción. Además, los bienes que se pierden pueden no estar cubiertos completamente por los seguros, lo que aumenta aún más la carga económica que no todos tienen la capacidad de cubrir (Tabla 4.8).

Tabla 4.8: Perdidas tanto económicas como materiales de algunos residentes del Barrio Bambú.

| Nombre | Años de residencia | Pérdidas materiales | Pérdidas Económicas |
|--------------------------|---------------------------|---|----------------------------|
| María Esther Angulo Piña | 20 | Ropa, lavadora, refrigerador y reconstrucción de la casa. | 300 mil colones |
| José Roque Bonilla Cruz | 28 | Negocio (pulpería). | 2 millones de colones |
| Yerlin Falcón Medina | 3 | Ropa y electrodomésticos. | 300 mil colones |
| Marcela | 14 | Electrodomésticos, ropa y muebles. | 600 mil colones |
| Aiza Mendoza | 20 | Todo lo material. | 1 millón de colones |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Conclusión

Esta parte del proyecto toma en cuenta la metodología descrita por Sapag et al (2014), para elaborar un análisis de prefactibilidad en los ámbitos ambiental, social, técnico y económico-financiero. Por ello, se concluye que el trabajo es viable para su ejecución, ya que no representa ningún riesgo para el ambiente, cabe resaltar que, en términos de costos, este estudio no requiere de inversiones y, además, el resultado de dicho proyecto trae repercusiones positivas para la comunidad y la información técnica de la región.

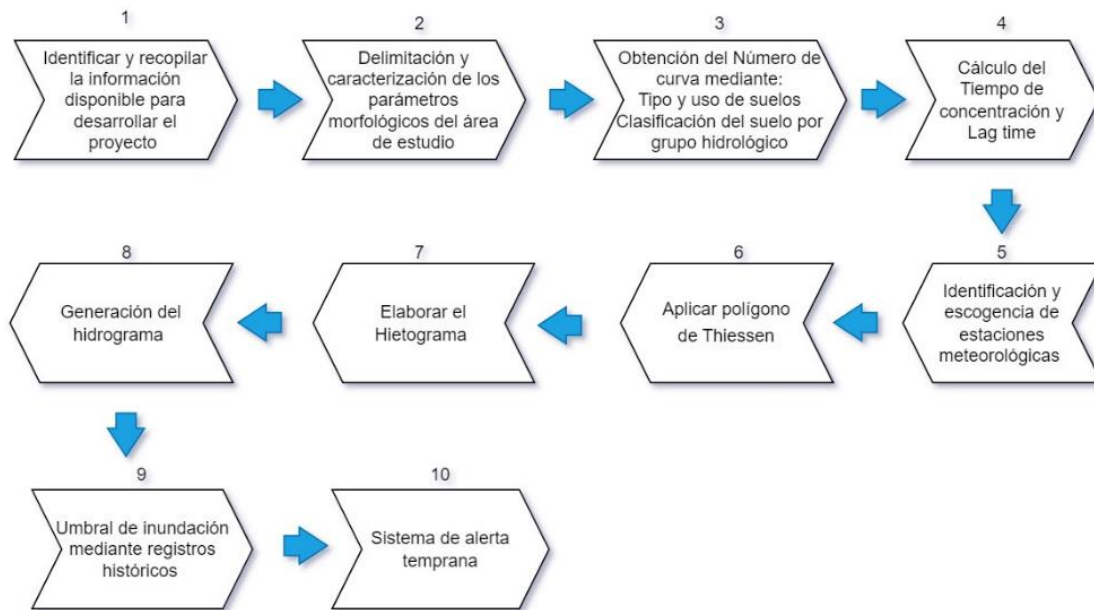
Capítulo 5. Metodología

En este capítulo, se presenta el enfoque y los procedimientos utilizados para llevar a cabo la investigación. Donde se incluye la caracterización de la subcuenca, la descripción de las fórmulas utilizadas, las técnicas de recolección de datos y el análisis estadístico. Esto con el objetivo de obtener resultados significativos y responder a los objetivos planteados en este proyecto.

5.1 Descripción general de la metodología

Con respecto a la metodología empleada en el proyecto, como objeto principal sería la elaboración de un sistema de alerta temprana. Sin embargo, para poder elaborar dicho sistema se necesita la creación de un estudio hidrológico. A partir de los resultados obtenidos se van a poder generar los umbrales de alerta (Figura 5.1). En relación con lo anterior, la metodología a implementar en la cual se va a fundamentar el proyecto comprende una estrategia mixta (Sapag et al., 2014).

Figura 5.1: Resumen de la metodología a implementar para la realización del proyecto.



Fuente: Matamoras-Montoya y Zeledón, 2023.

5.2 Población y muestra

En este apartado es importante definir que la población hace referencia a un grupo definido, limitado y accesible de casos que servirá como base para la selección de la muestra, dicho grupo debe de cumplir con una serie de criterios preestablecidos. Además, cabe destacar que cuando hablamos de población de estudio no solo se limita a seres humanos, sino que también se pueden incluir animales, muestras biológicas, objetos, familias, organizaciones, entre otros (Arias, et al, p. 202). Por otra parte, la muestra es un segmento de la población en el cual se realizará la investigación, existen distintas formas de determinar la cantidad de elementos de la muestra, tales como fórmulas, lógica y otros. Cabe destacar que la muestra debe ser representativa de la población en estudio (López, 2004,

p. 69). Dicho lo anterior, en este proyecto la población serían las inundaciones y la muestra sería el barrio Bambú, Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica. Cabe mencionar que en este caso la muestra sería intencionada.

5.3 Métodos y herramientas seleccionadas

Con el fin de llevar a cabo el proyecto, es necesario determinar la cronología de los pasos a realizar, por ende, se detallarán a continuación:

5.3.1 Para obtención de datos

I) Información disponible: este paso conlleva una revisión bibliográfica de bases de datos histórica de los eventos de precipitación extrema que han tenido lugar en la Vertiente del Pacífico. Con el fin de comprender el comportamiento de estos fenómenos en la región, además de antecedentes sobre estudios de la misma índole en el área de estudio.

II) Delimitación y Caracterización del área de estudio: para empezar con la delimitación de la subcuenca se utilizó un modelo de elevación digital (MED), para ello se descargó directamente el modelo desde la página de U.S. Geological Survey. Ya una vez procesado el MED con el programa Sistema de Información Geográfica Cuántico (QGIS) se continuó con la delimitación de la subcuenca para poder obtener los parámetros de forma de esta, así como las características del sistema de drenaje y su relieve.

El Atlas digital de Costa Rica es una base de datos que fue desarrollada para aquellos profesionales con conocimientos en sistemas de información geográfica (SIG), que requieren hacer análisis espaciales en Costa Rica o generar sus propios mapas temáticos. En este se pueden encontrar datos geoespaciales de elevación, geología, zonas de vida, ríos, cobertura vegetal de diferentes años, zonas bióticas, sismos, temperatura, precipitación, suelos y red de caminos (Ortiz, 2015). Su uso en este proyecto es de relevancia dada las capas que este facilita, como los ríos y cuencas, con el fin de ser implementadas para la caracterización de la subcuenca.

Qgis es un software que permite trabajar con sistemas de información geográfica, conocido como GIS los cuales se caracterizan por facilitar la visualización, el análisis y almacenaje de datos específicos de un área o espacio físico, lo cual permite relacionar la información generada con aspectos urbanos del mapa y fenómenos geográficos, fomentando la aplicación de una amplia gama de herramientas para la elaboración de mapas digitales, moderaciones,

crear o generar datos geoespaciales, entre muchos otros, ya que este programa es de código libre para plataformas como linux, unix, mac y Microsoft windows, permitiendo así la manipulación de formatos raster y vectoriales, además de bases de datos (Universidad de Veracruz y CUOM, s.f.). Como se mencionó al principio, este software permite la delimitación y la obtención de parámetros del área de estudio (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Métodos para el cálculo de los parámetros morfométricos de la subcuenca de estudio.

| Parámetro | Forma de obtención |
|------------------------------|---|
| Área de la cuenca | Se estima a partir de la delimitación digital y uso del programa QGIS 3.22.7 |
| Perímetro de la cuenca | Se estima a partir del uso del programa QGIS 3.22.7 |
| Longitud del cauce | Se estima a partir del uso del programa QGIS 3.22.7 |
| Índice de compacidad | <p>El índice de compacidad se determina mediante la siguiente fórmula establecida por Gravelius:</p> $Kc:0,28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \dots \text{Ecuación 5.1}$ <p>Kc= Coeficiente de compacidad.</p> <p>P= Perímetro de la cuenca (km).</p> <p>A= Área de la cuenca (km²).</p> |
| Pendiente media de la cuenca | Se estima a partir del uso del programa QGIS 3.22.7 |
| Altitud máxima | Se estima a partir del MED a través del uso del programa QGIS 3.22.7 |
| Altitud mínima | Se estima a partir del MED a través del uso del programa QGIS 3.22.7 |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

III) Número de curva: es un método desarrollado por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales, este permite estimar la escurrentía potencial en función de características físicas de la cuenca, como la densidad, el tipo y el tratamiento de las coberturas del suelo, así como su grupo hidrológico (Díaz y Mercado, 2017, p. 454). Para la estimación del número de curva se necesita la combinación entre el uso del suelo y el tipo de suelo hidrológico.

Para lograr determinar el uso de suelo de la subcuenca del Río Las Palmas se utilizará una imagen satelital LandSat 8 y se recortará en base al shape de la subcuenca. Seguidamente con ayuda del Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) de QGIS se realizará una clasificación supervisada del área del estudio y se le asignará una clase a cada polígono para la definición de firmas espectrales características del uso del suelo.

Para identificar el tipo de suelo es necesario contar con el mapa digital de suelos de Costa Rica, ya que se caracteriza por mostrar la clasificación que tienen los suelos en forma de órdenes y subórdenes, cabe resaltar que el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, ha realizado esfuerzos para mejorar y actualizar el mapa digital de suelos y la base de datos de perfiles de suelos de Costa Rica, cabe mencionar que ahora dicha capa alcanza 1500 perfiles de suelos de todo el país con información geográfica, física, química morfológica de estos, los cuales se pueden exportar a softwares como Qgis (UCR, 2016). De esta forma se puede observar el tipo de suelo que prevalece en el área de estudio y así determinar su tipo de suelo.

Para realizar la clasificación del tipo de suelo por grupo hidrológico se realizará a partir del trabajo realizado por Bogantes et al. (2002), denominado zonificación geotécnica general de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos, donde a partir de un archivo tipo shape se recortará en base a la subcuenca del Río Las Palmas. Después, dependiendo de las características del suelo se clasificará en un determinado grupo. Para la clasificación del grupo hidrológico de suelos se considerará lo expuesto por U.S. Department of Agriculture (2009):

Grupo A: aquellos suelos en los cuales su composición predominan las partículas arenosas, lo que permite que el agua se percole fácilmente y deriva en un bajo nivel de escurrentía cuando se encuentran húmedos.

Grupo B: en este grupo entran los suelos cuyas partículas son moderadamente gruesas a moderadamente finas. Se consideran suelos con una capacidad de escorrentía efectiva moderadamente baja cuando se encuentran húmedos.

Grupo C: suelos en los que en su composición predominan partículas moderadamente finas a finas. Se caracterizan por tener un potencial de escorrentía moderadamente alto.

Grupo D: aquellos suelos cuyas partículas son mayoritariamente finas (texturas arcillosas) en donde la tasa de infiltración es baja. Tienen un potencial de escorrentía alto.

IV) Cálculo del tiempo de concentración y Lag Time: el tiempo de concentración determina la duración de una gota de agua que cae desde el origen de un río, hasta el final del cauce o punto de aforo. Para este estudio se tomará en cuenta la fórmula de Kirpich para determinar dicho tiempo, la cual se muestra a continuación:

Ecuación 5.1: Fórmula de Kirpich para el tiempo de concentración.

$$T_c = 0,000323 \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right) \quad \dots \text{Ecuación 5.2}$$

Fuente: Béjar, 2002.

Donde:

L: Longitud del cauce principal en metros.

S: Pendiente del río en m/m.

Tc: Tiempo de concentración en horas.

Nota: el Lag Time se obtiene al multiplicar el tc por 0.6.

V) Estaciones meteorológicas: para la obtención de la información hidrometeorológica se identificaron las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, esto con el fin de tener resultados más representativos. Seguidamente, se solicitará a la entidad correspondiente los datos de precipitación máxima diaria, esto en relación con los eventos hidrometeorológicos más significativos que han ocurrido en los últimos 20 años en el área de estudio (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Estaciones meteorológicas seleccionadas.

| Nombre de estación | Código | Coordenadas | | Propietario |
|--------------------|--------|-----------------|------------------|-------------|
| | | Latitud / Norte | Longitud / Oeste | |
| La Guinea | 74067 | 10.4193 | -85.4734 | IMN |
| Hacienda Tempisque | 74011 | 10.5000 | -85.5699 | SENARA |
| Aeropuerto Liberia | 74051 | 10.5890 | -85.5521 | IMN |
| Sardinal | 190101 | 10.5124 | -85.6426 | AyA |
| Llano Grande | 74020 | 10.5983 | -85.5397 | IMN |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

El SNIT (Sistema Nacional de Información Territorial) es un sistema de información geoespacial que se utiliza en Costa Rica. Este se crea como una iniciativa gubernamental que tiene como objetivo principal facilitar la gestión y el acceso a la información geográfica del país (Orozco & Cedeño, 2018, p. 600). Con respecto al uso que se le va a dar en este proyecto, va a ser de gran ayuda ya que en este se encuentran “capas” que ayudan a la caracterización de la subcuenca y el caso de las estaciones, esta herramienta permite transformar coordenadas de ubicación de estaciones a la proyección CRTM05 que es la destinada para Costa Rica.

5.3.2 Para procesamiento de datos

1) *Polígono de Thiessen:* el polígono de Thiessen toma en cuenta lo que es el área de influencia de cada estación meteorológica estudiada mediante el trazado de polígonos de Voronoid, los cuales según las regiones determinadas por análisis clúster para establecer grupos homogéneos de estaciones con los datos estadísticos descriptivos de cada estación, para esta labor se requiere la base de datos de estaciones meteorológicas cerca del área de estudio, el software Excel y Autocad, con el fin de agrupar datos y realizar Los polígonos, generando así una precipitación promedio entre esas estaciones, la cual se tomará en cuenta para generar el hietograma (Flores-Quispe et al., 2022, p. 48-51).

Para poder realizar este polígono se debe tomar en cuenta la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de esta cuenca de estudio identificando el área de influencia de cada pluviómetro, con el

objetivo de formar triángulos entre las estaciones más cercanas al unir estas con segmentos rectos sin que se corten entre sí, seguidamente se requiere de trazar líneas perpendiculares saliendo de todos los lados de los triángulos las cuales al unirse, conforman una serie de polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación (Universidad Nacional del Nordeste, s.f.) (Figura 5.2).

Seguidamente, se muestran los datos y la ecuación necesaria para poder realizar el análisis correspondiente. Tomando en cuenta las precipitaciones según la ubicación de cada estación meteorológica.

Ecuación 5.23: Fórmula del método de Polígono de Thiessen.

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_i^n A_i P_i \dots \text{Ecuación 5.3}$$

Fuente: Béjar, 2002.

Donde:

P_{med} = precipitación media

A_t = área total de la cuenca

A_i = área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i

P_i = precipitación de la estación i

N = número de estaciones tomadas en cuenta

II) Hietograma: para la obtención del hietograma es necesario contar con los servicios del Instituto Nacional de Meteorología de Costa Rica, AyA y Senara. Esto mediante una solicitud, con el fin de obtener una base de datos de 25 años como periodo de retorno, proveniente de la estación cercana a la zona de estudio y que se encuentran en su potestad. Además de ello, los datos proporcionados contarán con la información de precipitaciones máximas mensuales para cada uno de esos 25 años, con su debida distribución de la lluvia en un lapso de 24 horas, lo cual es fundamental para generar el hietograma. Para obtener una precipitación unificada de las estaciones, es necesario que la precipitación que se obtenga sea

determinada por el dato de cada estación en relación con el porcentaje del área de influencia, según el método de los polígonos de Thiessen (Vidaurre y Cruzado, 2019).

III) Hidrograma Unitario SCS: técnicamente los hidrogramas unitarios se emplean para determinar la dinámica que caracteriza la distribución temporal de la lluvia y el escurrimiento superficial hasta la salida de la cuenca o algún punto de aforo establecido. Existen varios hidrogramas, pero los más utilizados son el hidrograma unitario instantáneo, el hidrograma unitario sintético, se basa mediante las características fisiográficas de la cuenca a estudio (Ojeda y Villaseñor, 1989). Cabe resaltar que la herramienta para generar el hidrograma es el software HEC-HMS, el cual toma en cuenta la metodología SCS hidrograma unitario para establecer los parámetros necesarios para su modelación, factores como el número de curva, Tiempo de Concentración, área de la cuenca y el hietograma son fundamentales para su generación.

Para determinar los hidrogramas de crecida del río Las Palmas se implementará el programa HEC-HMS 4.11, los métodos hidrológicos y de pérdidas usados para la transformación de precipitación a caudales fueron desarrollados por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS). Para su ejecución, como primer paso se debe generar un esquema de la red fluvial, seguidamente, se crean los datos de pluviómetros, después, se deben crear los modelos meteorológicos, seguidamente, se crea el control de especificación y finalmente se crea una simulación y se ejecuta.

IV) Umbral de Inundación: este segmento se realizará mediante búsqueda histórica de eventos de precipitación extrema dentro de un periodo de retorno de 25 años, con el fin de considerar y relacionar los eventos con los hidrogramas generados. Posteriormente, se realizará un gráfico en Excel que determine un umbral según la intensidad del fenómeno hidrometeorológico y el caudal máximo que este pueda llegar a generar. Además, se añade el factor de tiempo, ya que el hidrograma unitario denota el comportamiento del evento de crecida desde que se origina hasta que termina, determinando así el tiempo en el que se puede llegar a reaccionar ante un fenómeno natural como lo es en estos casos un huracán o tormenta tropical.

5.3.3 Para interpretación de datos

I) Sistema de alerta temprana: se pretende tomar en cuenta el umbral de inundación establecido mediante los hidrogramas generados y los datos históricos de eventos

meteorológicos extremos. Esto tiene como objetivo generar un sistema que relacione la intensidad de los eventos con los caudales proporcionados, lo que dará como resultado un tiempo de reacción ante este tipo de eventos. Dicho lapso permitirá avisar a los habitantes del Barrio Bambú para que actúen dentro del tiempo indicado y así evitar cualquier tipo de pérdidas.

5.3.4 Para validación de datos

Esta sección no se considera como un paso de la metodología ya que no es necesaria para generar el resultado final. Sin embargo, el método de validación permite dar un segundo criterio con el fin de garantizar la credibilidad a los resultados mediante otra forma de comprobación. En este caso de estudio, se pretende realizar comparaciones de los caudales generados con los registrados, ya sea por la Municipalidad de Carrillo o estudios anteriores en el mismo cuerpo de agua.

5.3. Otros aspectos que considerar

El cronograma y el presupuesto son elementos fundamentales en la gestión de proyectos, ya que desempeñan un papel crucial en el éxito y la ejecución adecuada de cualquier proyecto. Estos nos permiten planificar y organizar las actividades que se van a realizar y los recursos necesarios para su ejecución.

5.3.1 Cronograma de actividades y Ruta crítica

En el anexo 9 se presenta el cronograma del proyecto donde se puede observar las actividades más importantes a realizar, así como la ruta crítica donde se determinan qué actividades son dependientes de las otras y cuáles pueden ser desarrolladas de forma independiente.

5.3.2 Presupuesto

Este apartado determina el costo requerido para llevar a cabo el proyecto, tomando en cuenta todos los insumos necesarios, equipos, giras a campo y gastos de servicios básicos. Cabe resaltar que los costos serán presupuestados por medio propios, ya que no se recibe ningún apoyo económico por parte de la Universidad y ni de la Municipalidad de Carrillo.

El monto total tomando en cuenta todos los insumos consta de aproximadamente 15,682,599.31 colones, el cual fue estimado en el apartado 4.5.1 Estudio financiero del Capítulo IV-Estudios de prefactibilidad, el cual consideró cada aspecto necesario para realizar de la mejor manera el estudio hidrológico en el Barrio Bambú de Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica.

5.3.3 Ética en la investigación

Cada investigación científica debe acatar los principios básicos que aseguren si se lleva a cabo en beneficio de la humanidad. Para evitar cualquier daño inadmisibles tanto para los sujetos de estudio como para la sociedad en general. Por ende, es esencial que la finalidad de un estudio y las implicaciones de sus resultados se ajusten a normas éticas fundamentales establecidas (Belmonte, 2009, p.7). Dicho lo anterior, en este trabajo se van a respetar las normas éticas, de manera que cada información que se obtenga de fuentes bibliográficas va a ser referenciada de manera correcta y con su respectivo autor, además, toda información proporcionada que sea de carácter sensible no será divulgada.

Conclusión

Este capítulo tiene como fundamento demostrar los pasos a seguir para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos, además de la metodología a seguir para generar los resultados que den fin al proyecto. Por ende, el capítulo seis pondrá en marcha lo anteriormente planteado para el análisis de los resultados, los cuales se derivarán de la metodología expuesta.

Capítulo 6 - Resultados y discusión

En este capítulo se presentan y discuten los principales resultados y hallazgos con base a los objetivos planteados y a la metodología propuesta en el capítulo 5.

6.1 Introducción

A continuación, se analizan y se interpretan los datos recopilados, se comparan con la literatura existente y se exploran las implicaciones de los resultados, además, se examinarán los hallazgos en profundidad. Este capítulo representa un hito significativo de todo lo que ha sido este proyecto, donde se destacan las contribuciones originales de este trabajo y se arroja luz sobre su relevancia en el ámbito correspondiente de estudio.

6.2 Análisis de resultados

A continuación, se exponen los resultados obtenidos del proyecto, estos se fundamentan en la metodología mencionada en el capítulo anterior (Figura 5.1) y que describe los pasos que se deben realizar para su cometido, los cuales se detallan a continuación:

6.2.1 Paso 1: Identificación y recopilación de información disponible

Como primera fase se tiene la identificación y recopilación de información disponible, esta fue clave para poder sentar las bases y dar inicio al proyecto. Durante esta etapa, se llevaron a cabo reuniones con miembros de la Municipalidad de Carrillo, esto permitió obtener información valiosa sobre el estado de la subcuenca, datos sobre eventos pasados de inundaciones y cómo estos eventos afectan a la comunidad. Además, se realizó revisión bibliográfica para recopilar antecedentes y estudios previos relevantes, que proporcionaron una base sólida para el proyecto.

Se realizó la solicitud de datos hidrometeorológicos históricos de distintas estaciones al Instituto Meteorológico Nacional, esto con el objetivo de respaldar nuestro análisis. Además, se da un enfoque en identificar las fechas y circunstancias en las que ocurrieron las inundaciones en la región, permitiendo así una comprensión profunda de los eventos hidrológicos pasados y su impacto en el área de estudio.

A continuación, se muestran las distintas inundaciones que han ocurrido en Carrillo y alrededores y en el barrio El Bambú, además se menciona el evento que provocó la inundación.

Tabla 6.1: Línea del tiempo de inundaciones registradas en el Barrio Bambú.

| Año | Mes | Evento | Descripción |
|------------|------------|---------------|---|
| 1998 | 07 octubre | Huracán Mitch | La población de Filadelfia fue llevada a los albergues en Liberia y Filadelfia. Inundaciones en Los Barrios de Bambú, Barrio Los Ángeles. |

| | | | |
|------|--------------|--------------------------------------|--|
| 1999 | 18 setiembre | Huracán Floyd | La población de Filadelfia fue llevada a los albergues en Liberia y Filadelfia. Inundaciones en Barrio Los Jocotes, Bambú, Barrio La Cruz, Barrio Los Ángeles, Barrio Santa Lucía. Río Tempisque golpea el Puente a la altura de Guardia de Liberia. |
| 2006 | 14 octubre | Inundaciones Sistema de Baja Presión | La población de Filadelfia fue llevada a los albergues en Liberia y Filadelfia. Inundaciones en Barrio Los Jocotes, Bambú, Barrio La Cruz, Barrio Los Ángeles, Barrio Santa Lucía. |
| 2007 | 10 octubre | Inundaciones | La población de Filadelfia fue llevada a los albergues en Liberia y Filadelfia. Inundaciones en Barrio Los Jocotes, Bambú, Barrio La Cruz, Barrio Los Ángeles, Barrio Santa Lucía. Río Tempisque golpea el Puente a la altura de Guardia de Liberia. |
| 2016 | 25 noviembre | Huracán Otto | La población de Bambú fue llevada al albergue en Filadelfia. |
| 2017 | 05 octubre | Tormenta tropical Nate | La población de Filadelfia fue llevada al albergue en Filadelfia. Inundaciones en Barrio Los Jocotes, Bambú, Barrio La Cruz, Barrio Los Ángeles, Barrio Santa Lucía. |
| 2020 | 04 noviembre | Huracán Eta. | La población de Filadelfia fue llevada al albergue en Filadelfia. Inundaciones en Barrio Los Jocotes, Bambú, Barrio La Cruz, Barrio Los Ángeles, Barrio Santa Lucía. |

Fuente: Alemán Álvarez, 2023.

6.2.2 Paso 2: Delimitación y caracterización de los parámetros morfométricos

Las características morfométricas de una cuenca se pueden interpretar como atributos propios de la misma representada de forma numérica, los cuales permiten hacer una comparación de una parte de la superficie terrestre con otra. Además, según Consorcio Pompa Quindio (2018) estas características van

a afectar al comportamiento hidrológico de la cuenca entre los que predomina el clima y el terreno a su vez influyendo en factores como la escorrentía, infiltración y precipitación. Enseguida, se muestran las características morfométricas obtenidas en la subcuenca del Río Las Palmas, en ella se establecen valores relacionados a la forma, relieve y sistema de drenaje (Tabla 6.2).

Tabla 6.2: Parámetros morfométricos de la subcuenca del Río Las Palmas, Filadelfia, Guanacaste.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|------------------------------|--------------|-----------------|
| Área | 220,3 | Km ² |
| Perímetro | 69 | km |
| Longitud del cauce principal | 23 | km |
| Altura máxima | 486 | msnm |
| Altura media | 106 | msnm |
| Altura mínima | 20 | msnm |
| Índice de compacidad | 1,3 | - |
| Factor de forma | 0,4 | - |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Con respecto al tamaño de la subcuenca, se tiene que mide 220,3 km², cabe destacar que la delimitación realizada fue de solo la parte alta y media de la subcuenca, esto debido a que el punto de aforo era el barrio El Bambú. Además, según Campos (1998) las cuencas cuyo tamaño se encuentren dentro de los 25 a 250 km² se catalogan como pequeñas, por ende, la subcuenca de Las Palmas se clasificaría como tal.

Después, el índice de compacidad (kc) de Gravelius indica la forma de la cuenca dependiendo del valor que se obtenga, que en este caso fue de 1,3 por lo que la subcuenca es oval redonda. Seguidamente, con el índice de factor de forma en la subcuenca Las Palmas el resultado es de 0,4, Gravelius establece que valores inferiores a 1 la cuenca tiende ser alargada y con baja susceptibilidad a avenidas.

6.2.3 Paso 3: Obtención del número de curva

Para la obtención del número de curva primeramente se calcularon los porcentajes de tipo y uso del suelo en la subcuenca del río Las Palmas, con el fin de conocer la distribución de cada uno de estos. Además, se determinó la clasificación por grupo hidrológico según el tipo de suelo, esto para

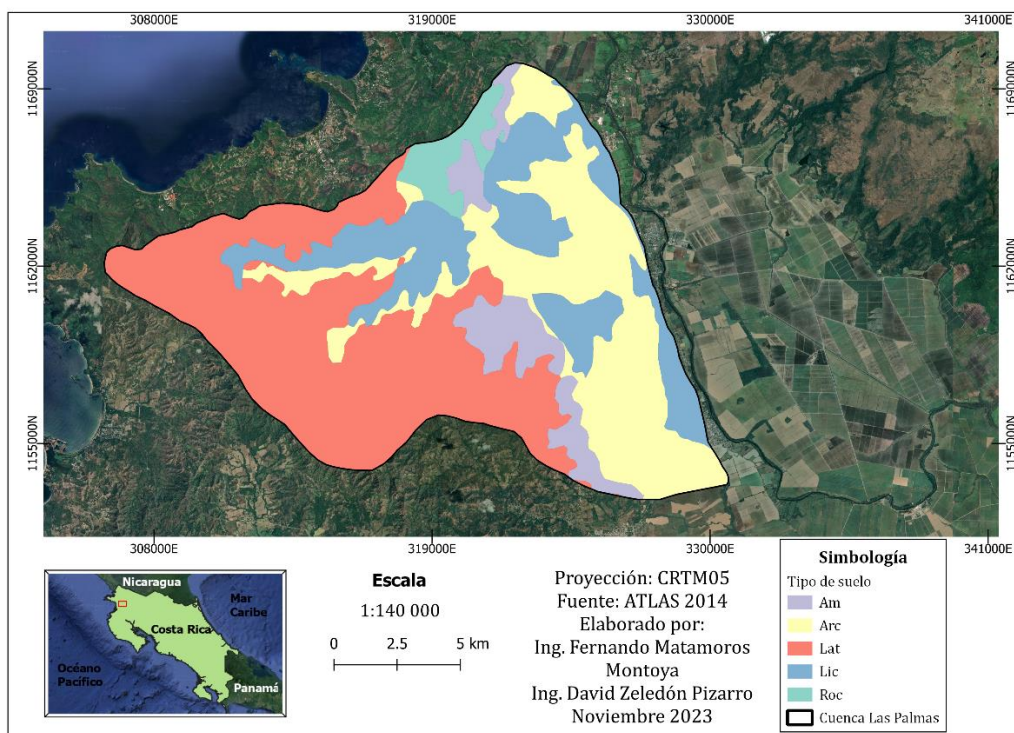
poder correlacionar el uso de suelo con la capacidad de infiltración del suelo según su composición. Para ello se requieren de los siguientes datos:

1) *Tipo de suelo*: mediante el software QGIS se editó la capa de usos de suelo obtenida de Bogantes (2002), la cual determina el tipo de suelo en la tesis de “Zonificación Geotécnica General de Costa Rica”. Dicha clasificación cuenta con su respectiva nomenclatura (Figura 6.1), la cual cuenta con la descripción de la composición de cada una de ellas.

Cabe destacar que los tipos de suelo predominantes en la subcuenca son Am, Arc, Lat, Lic y Roc. Bogantes (2002), menciona que los suelos Am son menos arcillosos pero pedregosos y además tienen presencia de caolita; los Arc cuentan con estratos de arcilla; los Lat son arcillas limosas; por último, los Roc son rocas meteorizadas.

Una vez realizada la clasificación se trasladan los valores del área y nomenclatura de los tipos de suelo presentes en el área de estudio a Excel, con el fin de conocer mediante un gráfico, el porcentaje de cada elemento.

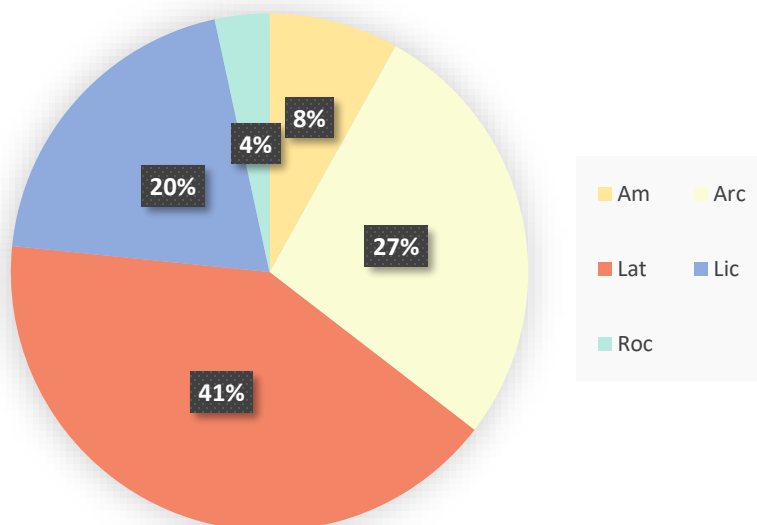
Figura 6.1: Clasificación del suelo según su composición.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

La clasificación determina que existe un 41% de suelos tipo Lat, seguido de un 27% Arc, un 20% Lic, 8% Am y únicamente un 4% Roc (Figura 6.2). Lo anterior denota que los suelos más significativos por tener mayor porcentaje de área son Lat, Arc y Lic, estos se caracterizan por tener composiciones limo arcillosas y estratos de arcilla.

Figura 6.2: Distribución porcentual del tipo de suelo en el área de estudio.



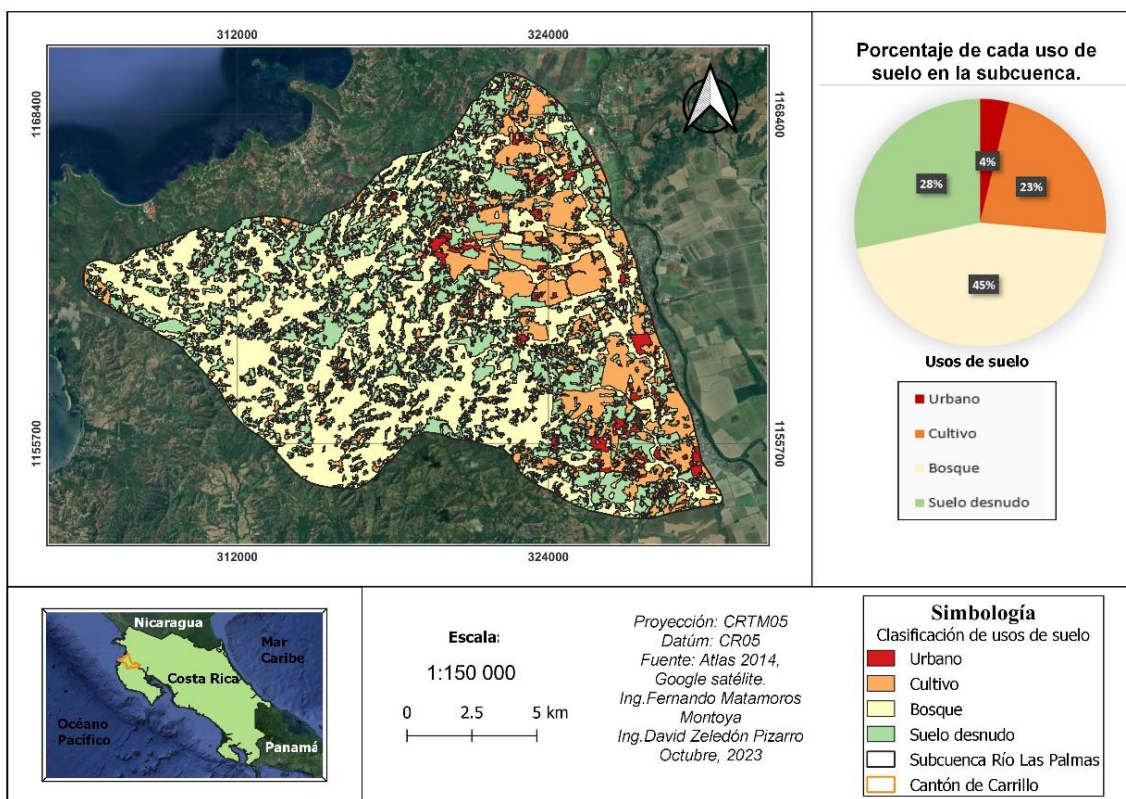
Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

II) Uso de suelo: mediante una clasificación supervisada realizada con el software QGIS e imágenes satelitales del satélite Landsat 8, se logró determinar las distribuciones de cada uso de suelo. Donde se identificaron cuatro principales usos: urbano, bosque, suelo desnudo y cultivos (Figura 6.3), siendo esta última la que se encuentra más conglomerada en la parte Este de la subcuenca.

Una vez realizada la clasificación se exportaron las áreas resultantes de cada uso de suelo a Excel, con el fin de generar un gráfico que represente de forma porcentual cada uso del suelo (Figura 6.3). Gracias a ello, se determinó que existe un 45% de uso de suelo destinado a bosques siendo el valor más elevado en el área de estudio, seguido de un 28% de suelo desnudo y un 23% de cultivos, y en última posición está el uso urbano con un mínimo de 4%.

El 28% de suelo desnudo puede deberse a una actividad alta de deforestación, lo cual incrementa la capacidad de escorrentía superficial del suelo, generando que gran parte de la precipitación no se infiltre y llegue a los cuerpos de agua que drenan la subcuenca.

Figura 6.3: Clasificación supervisada del uso de suelo en la subcuenca del río Las Palmas.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

III) *Clasificación grupo hidrológico:* para realizar la clasificación del grupo hidrológico suelos se considerará lo expuesto por U.S. Department of Agriculture (2009). A continuación, se observa el tipo de suelo y la descripción que posee cada grupo (Tabla 6.3).

Tabla 6.3: Clasificación hidrológica de los suelos.

| Grupo | Descripción |
|-------|--|
| A | Aquellos suelos en los cuales su composición predominan las partículas arenosas, lo que permite que el agua se percole fácilmente y deriva en un bajo nivel de escorrentía cuando se encuentran húmedos. |

| | |
|---|---|
| B | En este grupo entran los suelos cuyas partículas son moderadamente gruesas a moderadamente finas. Se consideran suelos con una capacidad de escorrentía efectiva moderadamente baja cuando se encuentran húmedos. |
| C | Suelos en los que en su composición predominan partículas moderadamente finas a finas. Se caracterizan por tener un potencial de escorrentía moderadamente alto. |
| D | Aquellos suelos cuyas partículas son mayoritariamente finas (texturas arcillosas) en donde la tasa de infiltración es baja. Tienen un potencial de escorrentía alto. |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Analizando la descripción de cada grupo de suelo hidrológico y tomando en consideración que en la zona de estudio la mayor parte de los suelos son limos arcillosos, el grupo que posee las características más certeras a este tipo de suelo sería el B.

IV) Cálculo del número de curva: una vez obtenidos los valores de área para cada uso de suelo, estas se expresan en fracción en relación con el 100% del área total. Luego, una vez identificada la composición del tipo de suelo para determinar la clasificación por grupo hidrológico, se procede a multiplicar la fracción por los valores ya establecidos para el tipo B y así obtener el CN. La sumatoria de cada uno de los CN da como resultado el valor final total para la subcuenca del río Las Palmas, siendo así un 70,62. Este resultado determina que tiene una escorrentía superficial moderada, ya que el rango de este parámetro es de entre 1 a 100 (Tabla 6.4).

Tabla 6.4: Cálculo del número de curva.

| Uso | Área km ² | Área % | Fracción | Clasificación B | CN |
|---------------|-------------------------|--------|----------|--------------------|-------|
| Urbano | 8,24 | 3,74 | 0,04 | 98 | 3,66 |
| Cultivo | 50,04 | 22,71 | 0,23 | 78 | 17,71 |
| Bosque | 99,63 | 45,21 | 0,45 | 55 | 24,87 |
| Suelo desnudo | 62,46 | 28,34 | 0,28 | 86 | 24,38 |

| | | | | | |
|-------|--------|-----|---|---|-------|
| Total | 220,37 | 100 | 1 | - | 70,62 |
|-------|--------|-----|---|---|-------|

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.2.4 Paso 4: Cálculo del tiempo de concentración y lag time

Para el debido cálculo del tiempo de concentración se requiere de la implementación de la fórmula de Kirpich, donde según la Ecuación 5.2, anteriormente descrita en el Capítulo 5. Se necesitó de la longitud del cauce y la pendiente del río.

Una vez obtenidos los valores de longitud y pendiente mediante el software QGIS (Tabla 6.5), se realizó la sustitución de esos parámetros en la ecuación anteriormente mencionada y así se determinó que el tiempo de concentración para el área de estudio es de aproximadamente 3.3 horas. Cabe resaltar que el lag time se calcula multiplicando el t_c en minutos por 0.6, parámetro necesario para la modelación del hidrograma.

Tabla 6.5: Tiempo de concentración de la subcuenca del río Las Palmas.

| Parámetros | Valor | Unidades |
|----------------------------------|-------|----------|
| L: Longitud del cauce principal. | 23000 | m |
| S: Pendiente del río. | 0.020 | m/m |
| Tc: Tiempo de concentración. | 3.3 | horas |
| Lag time | 118.8 | minutos |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.2.5 Paso 5: Identificación y escogencia de estaciones meteorológicas

Con respecto a la información hidrometeorológica, las instituciones que poseen estaciones dentro del área de estudio eran el Instituto Meteorológico Nacimiento y Acueductos y Alcantarillados. Se solicitó información desde el año 1995 al 2022, cabe destacar que ninguna estación poseía ese registro de años completo, siendo Aeropuerto Liberia oeste 07 la que presentó el mayor número de años (Tabla 6.6).

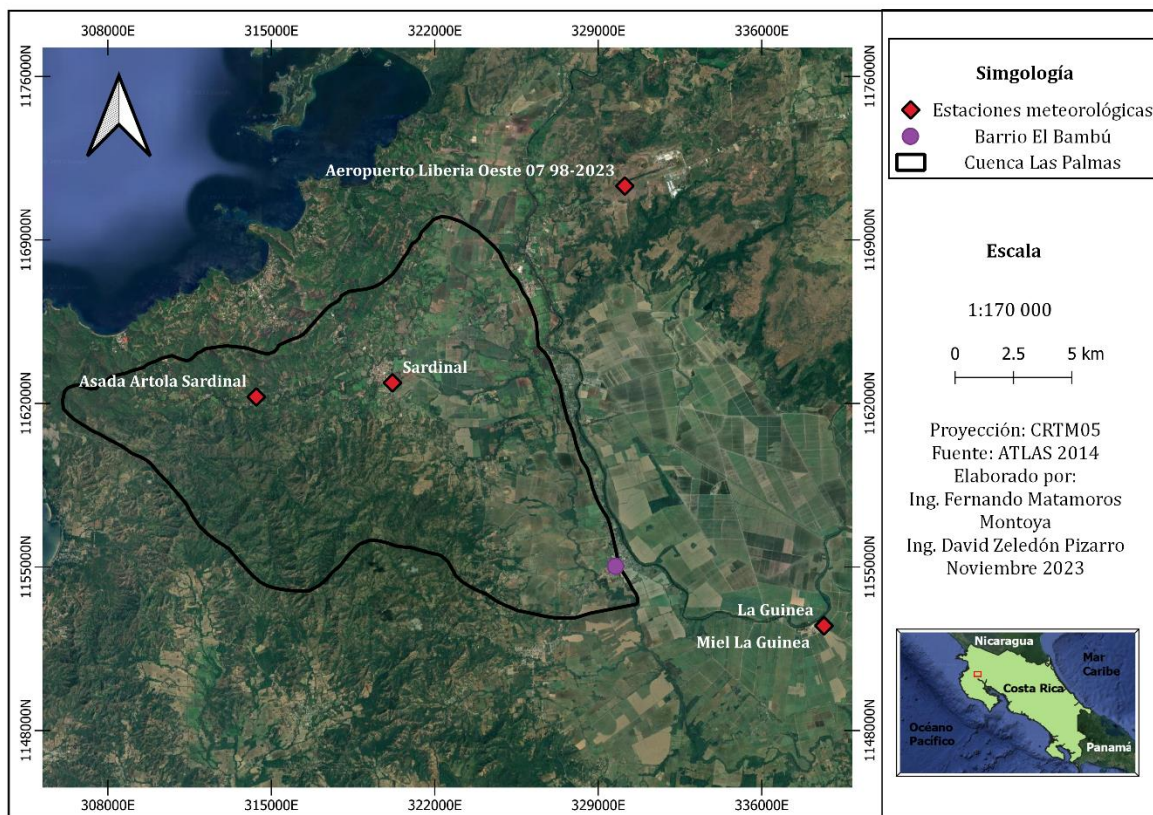
Tabla 6.6: Estaciones meteorológicas utilizadas.

| Nombre | Código | Período | | Registro (años) | Propietario |
|--------------------------------|--------|---------|------|--------------------|-------------|
| | | Inicio | Fin | | |
| Asada Artola Sardinal | 74081 | 2017 | 2022 | 5 | IMN |
| La Guinea | 74006 | 1995 | 2006 | 11 | IMN |
| Miel La Guinea | 74076 | 2013 | 2022 | 9 | IMN |
| Sardinal | 19010 | 2012 | 2022 | 11 | AyA |
| Aeropuerto Liberia Oeste 07 | 74051 | 1999 | 2022 | 23 | IMN |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Seguidamente, se puede observar la ubicación espacial de las estaciones utilizadas, donde se puede apreciar que las estaciones Asada Artola Sardinal (74081) y Sardinal (19010) se ubican en lo que sería la parte media-alta de la subcuenca siendo estas de las más representativas. Por otro lado, las estaciones La Guinea (74006) y Miel La Guinea (74076) se localizan una a la par de la otra en la parte baja de la subcuenca. Finalmente, la estación Aeropuerto Liberia Oeste 07 (74051) es la que está más alejada del área de estudio, sin embargo, se tomó en consideración ya que posee el mayor registro de datos (Figura 6,4).

Figura 6.4: Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.2.6 Paso 6: Aplicar el polígono de Thiessen

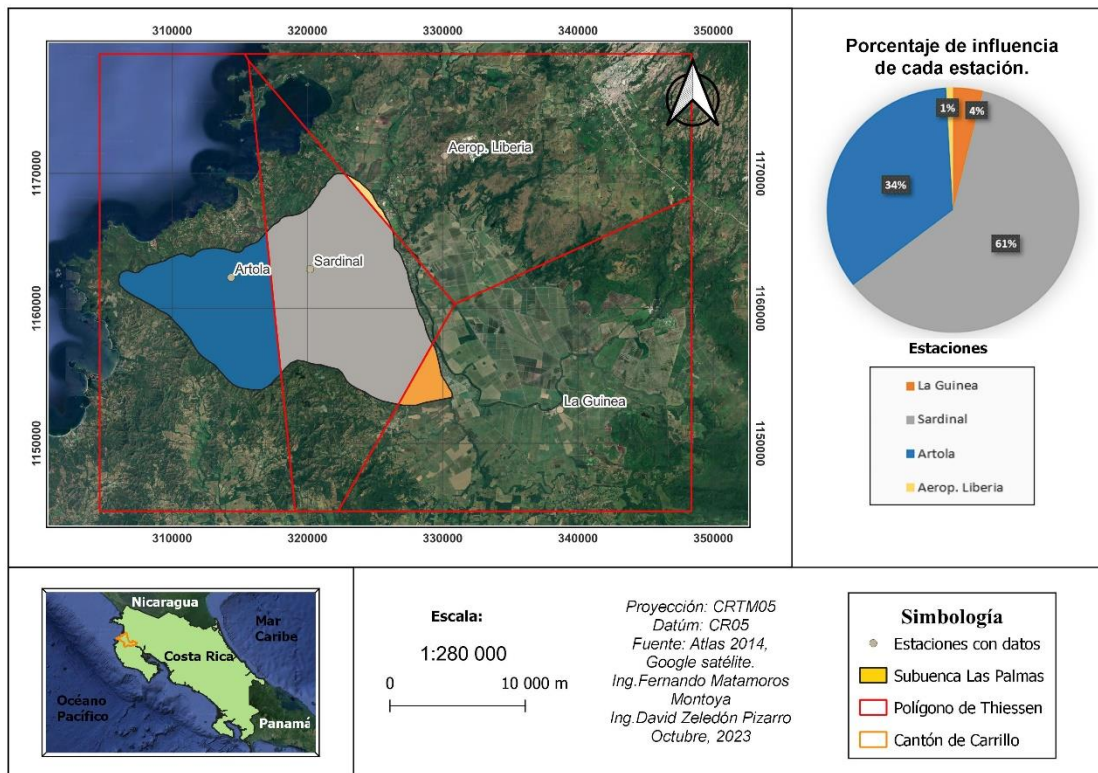
Mediante la implementación del software QGIS y la ubicación de las estaciones meteorológicas con la información solicitada vista desde una imagen satelital se realizó un polígono de Thiessen, también conocido como polígono de Voronoi.

Esto nos permitió determinar las áreas y el grado de influencia de cada estación sobre la subcuenca del río Las Palmas, las cuales se representaron en un gráfico. Esto refleja que, para la estación del Aeropuerto de Liberia, se presenta un porcentaje de influencia del 1%, para La Guinea y Miel la Guinea, ubicadas en el mismo sitio, tienen un 4%, siendo las estaciones con menor influencia sobre la subcuenca.

Las estaciones más representativas son las de Artola con un 34% y la de Sardinal con un 61% de influencia, lo cual determina que estas dos estaciones son las que más veracidad en la información van a tener. Sin embargo, no se descarta el peso de los datos de las estaciones más alejadas para la

realización del proyecto, ya que son estaciones con gran cantidad de información recopilada (Figura 6.5).

Figura 6.5: Polígono de Thiessen para conocer el grado de influencia de las estaciones a utilizar.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.2.7 Paso 7: Elaboración del hietograma

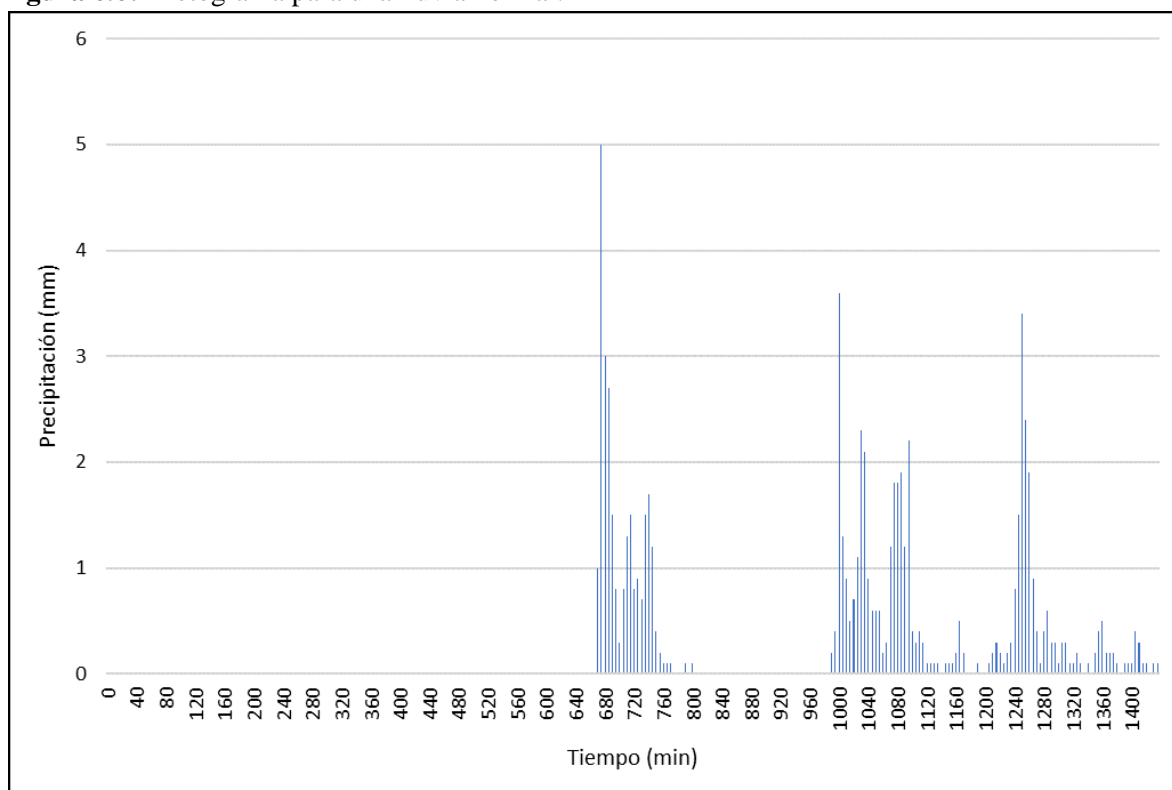
Mediante la recopilación de información meteorológica solicitada al AyA, se identificaron tres sucesos de intensidades distintas. Posteriormente, con la distribución de la lluvia en 24 horas de estos eventos se procedió a relacionar la intensidad en torno al tiempo. Uno de ellos es la tormenta tropical Nate con la mayor cifra de precipitación en el periodo estudiado, seguido de la tormenta tropical Marco y por último una lluvia normal.

Lo anterior con el fin de generar hietogramas para precipitaciones graduales, de diferentes intensidades. Lo cual fomentará una percepción más amplia del comportamiento de dichos eventos entre ellos, ya que los tres tienen intensidades distintas en relación con la cantidad de lluvia que dichos fenómenos hidrometeorológicos presentaron a la hora de arribar a Costa Rica.

Cabe destacar que dicha información proviene de la estación meteorológica con más influencia en el área de estudio, la cual es la de Sardinal, propiedad del AyA. Lo cual da un grado de precisión bastante acertado para la realización del estudio. Además de ello, dicha estación es la única de las demás que guarda la distribución de la lluvia cada 5 min, facilitando la generación de los hietogramas (Figura 6.6).

El hietograma anterior (Figura 6.6), muestra una lluvia normal de aproximadamente 74.2 mm para el año 2019. Lo cual permite apreciar la distribución en 24 horas de la precipitación, sus picos más altos y comportamiento en el tiempo. En este caso no se manifiesta en todo un día, sino en lapsos de tiempo cortos.

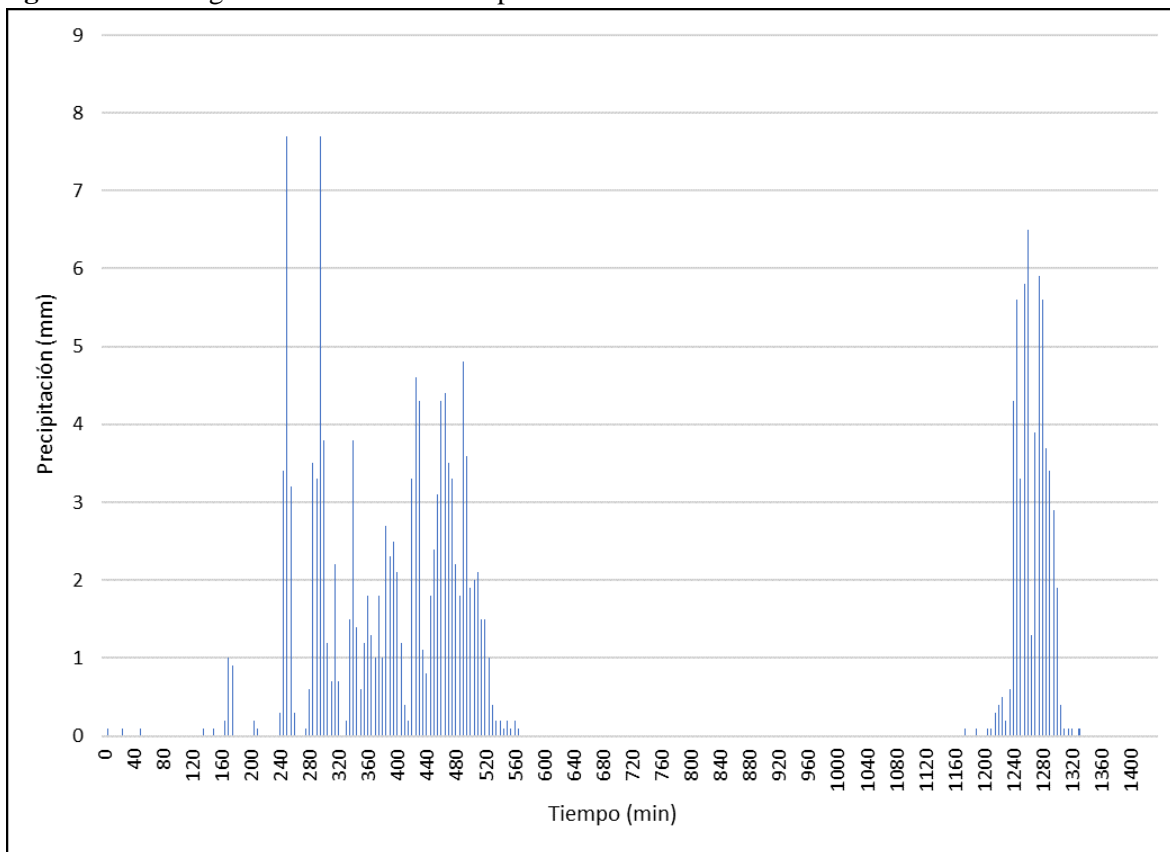
Figura 6.6: Hietograma para una lluvia normal.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Para el hietograma de la tormenta tropical Marco (Figura 6.7), esta tuvo lugar el 25 de agosto del año 2020 y cuenta con una precipitación de 186.7 mm en 24 horas.

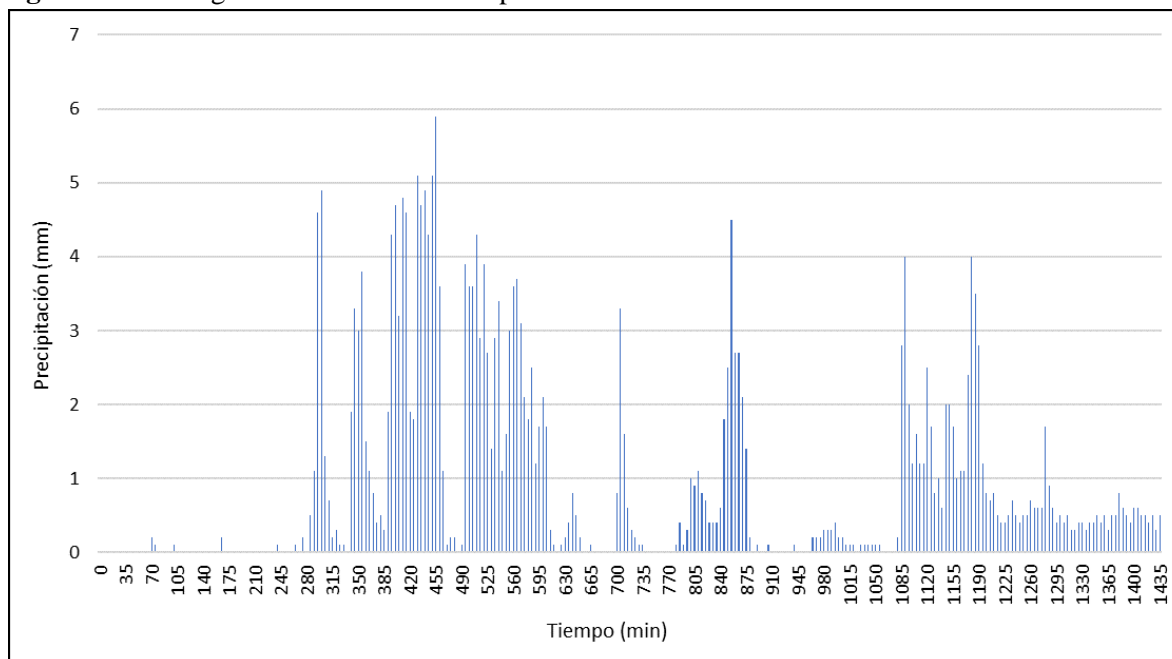
Figura 6.7: Hietograma de la tormenta tropical Marco.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

El hietograma para el evento de la tormenta tropical Nate denota la mayor precipitación registrada en la base de datos solicitada (Figura 6.8), llegando a 263.2 mm de lluvia en 24 horas. Además, es posible observar que se dan picos de precipitación en lapsos cortos de tiempo, lo cual denota un comportamiento fluctuante de la lluvia tanto espacial como temporal.

Figura 6.8: Hietograma de la tormenta tropical Nate.



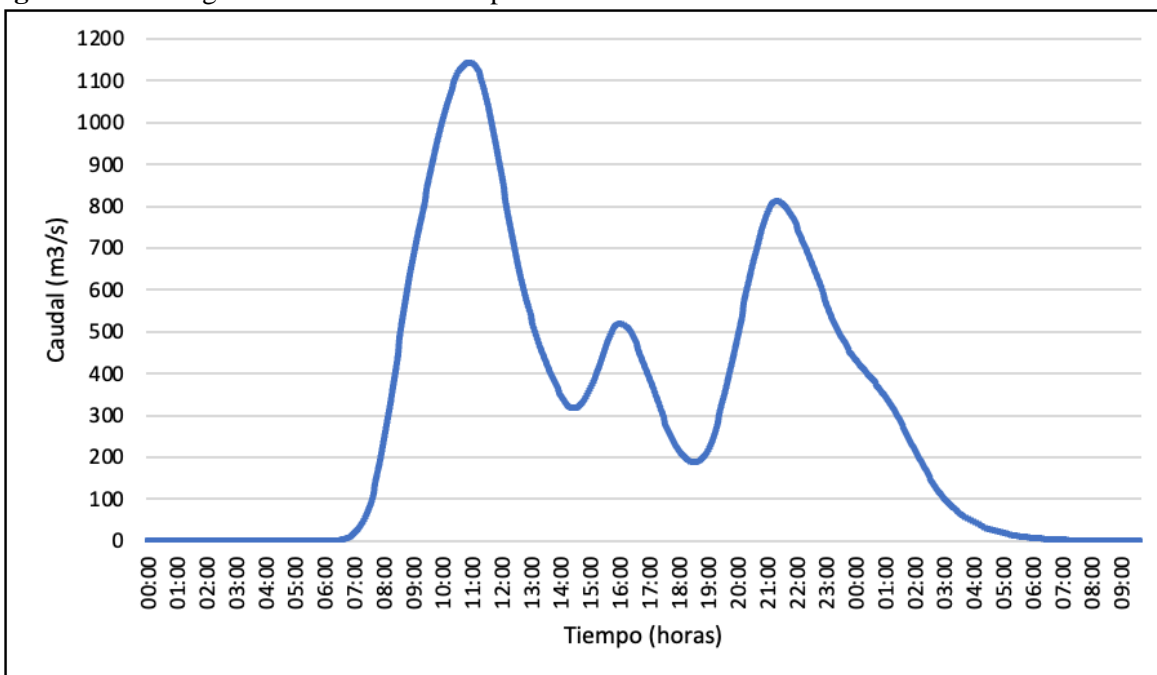
Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.2.8 Paso 8: Generación del hidrograma

A continuación, se presentan los hidrogramas generados a partir de los hietogramas previamente descritos en paso anterior. Estos hidrogramas representan la variación en el tiempo del caudal de agua y fueron modelados utilizando el software HEC-HMS. Con esta representación gráfica y los datos derivados de nuestros análisis, se ofrecerá una visión detallada de cómo los distintos eventos hidrometeorológicos como lo son tormenta tropical Nate, tormenta tropical Marco y un evento normal del año 2019 afectan la respuesta de la subcuenca, lo que contribuirá a un mejor entendimiento de los patrones de flujo de agua.

Para el hidrograma de la tormenta tropical Nate (figura 6.8) se logra observar cómo este evento alcanzó el caudal máximo de 1142 m³/s a las 10:55 am para después disminuir su intensidad gradualmente, sin embargo, se aprecia como este no finaliza y tiene otro aumento de intensidad de las 19:00 h a las 22:00 h.

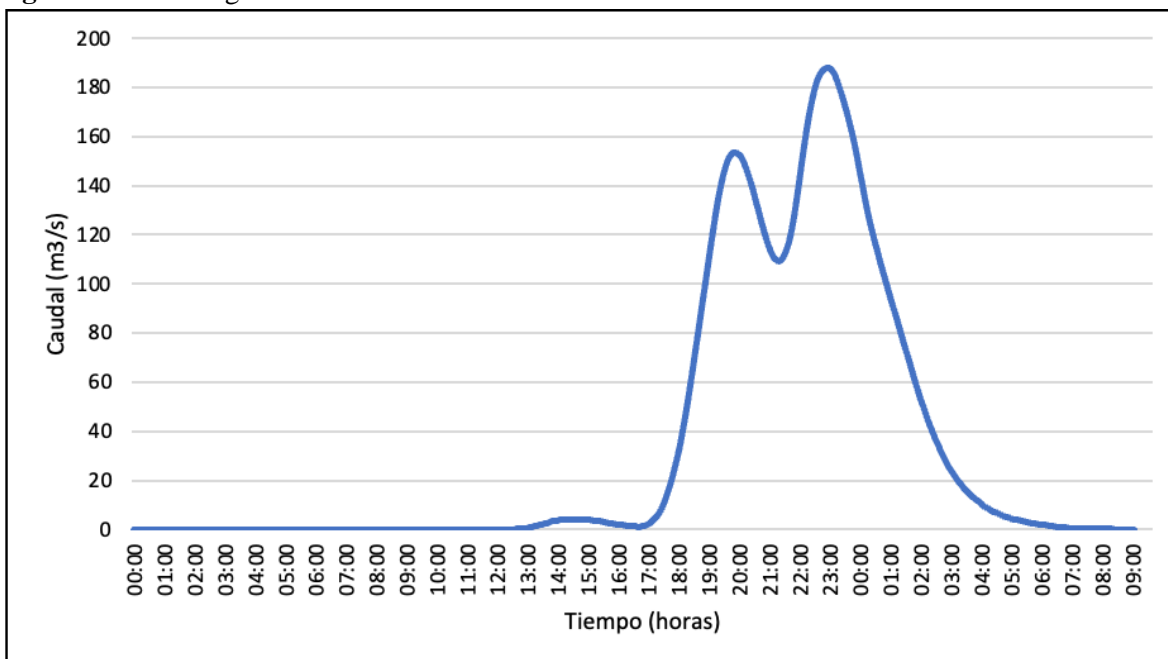
Figura 6.9: Hidrograma de la tormenta tropical Nate.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Seguidamente, se muestra un hidrograma de un evento que se considera normal y no extremo cómo los otros dos. En este se observa como existe un primer pico de intensidad donde se alcanza un caudal de 154 m³/s a las 19:55 h y un segundo pico donde se presenta un caudal de 188 m³/s a las 23:00 h siendo este el valor más alto que se da en el evento (Figura 6.10).

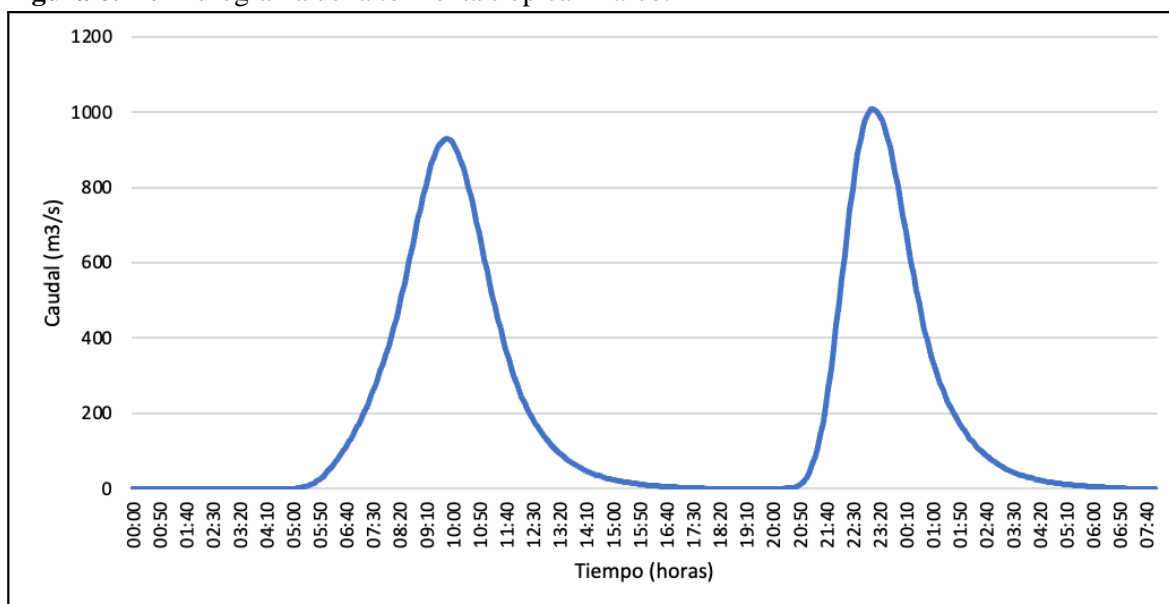
Figura 6.10: Hidrograma evento 2019.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

A continuación, se representa el comportamiento de la tormenta tropical Marco, en esta se puede observar cómo se dan dos picos, el primero tiene una duración de aproximadamente 6 horas y a las 9:50 h se da el caudal máximo de 930 m³/s, después, en el segundo pico se presenta el caudal máximo alcanzando un valor de 1008 m³/s a las 23:10 h.

Figura 6.11: Hidrograma de la tormenta tropical Marco.



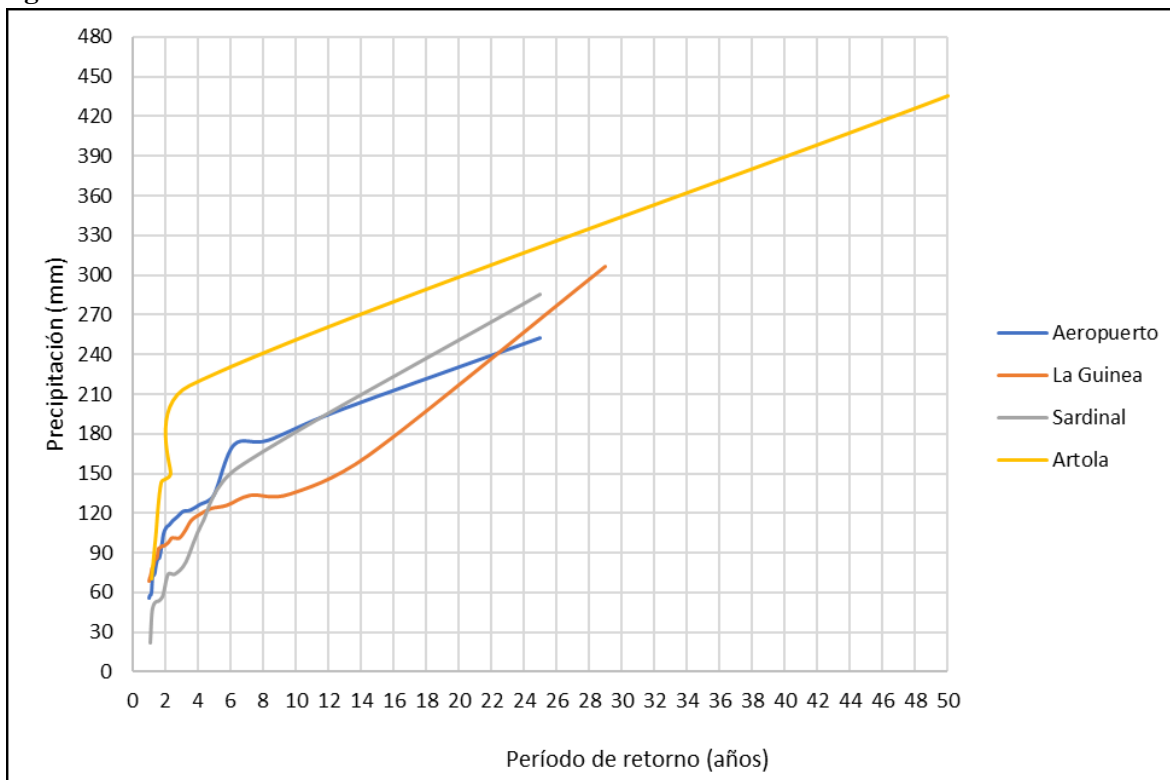
Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.2.9 Paso 9: Elaboración del umbral de inundación

Para la realización del umbral, se representó el comportamiento de la precipitación registrada en cada estación en relación con el periodo de retorno de cada intensidad (Figura 6.12). Donde cada estación tiene su propia trayectoria, sin embargo, el comportamiento o la tendencia de las lluvias es similar, por ello se puede asociar un evento de inundación según su intensidad con el tiempo de retorno.

Las estaciones del Aeropuerto de Liberia, Sardinal y Guinea tienen niveles de precipitación muy similares. Sin embargo, Artola es la que registró mayores cantidades de precipitación, elevando su magnitud de medición en la escala, no obstante, su tendencia suele ser la misma que las anteriores estaciones. Por esto mismo, se toman como referencia para dictar el grado de reincidencia de cada evento de pequeña a gran categoría, con el fin de reforzar la información que abarca el umbral de inundación (Figura 6.13).

Figura 6.12: Periodos de retorno asociados a cada estación.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Otro aspecto importante para la realización del umbral de inundación fue obtener las fechas en las que estos eventos extremos arribaron en el barrio El Bambú de Filadelfia. Ya con esta información, proporcionada por José Francisco Alemán Álvarez, expresidente de la Comisión de Emergencias Local de Carrillo, se procedió a relacionar las 8 fechas con su intensidad de lluvia. Se encontraron los datos de precipitación para cinco eventos registrados y únicamente tres restantes se quedaron sin respaldo por falta de información específica de las estaciones (Tabla 6.7).

Cabe mencionar que, para el huracán Floyd se utilizó un registro proporcionado por José Francisco Alemán Álvarez, perteneciente a la estación ubicada en Playas del Coco. Dicha estación por su lejanía no es contemplada en el estudio, sin embargo, funciona de referencia para completar ese dato faltante. Los eventos sin una precipitación asociada quedan fuera del umbral de inundación, por falta de datos que consoliden la intensidad y magnitud de esos fenómenos.

Una vez asociada la intensidad con los eventos, es posible determinar la cantidad de lluvia que puede desencadenar una inundación en el Barrio Bambú, gracias a la confirmación del suceso. Lo cual da lugar a la clasificación de las alertas según la intensidad de la lluvia que desata un evento de

inundación. Por consiguiente, mediante la anterior interpretación, se tiene que las precipitaciones de 109 a 442 mm han causado eventos extremos de inundación en el área de estudio, por ello se contempla en el umbral (Tabla 6.7).

Tabla 6.7: Registro de los eventos de inundación en el Barrio Bambú.

| Año | Fecha | Evento | Precipitación (mm) | Estación | Período de retorno (años) |
|------------|------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1998 | 22 de Octubre | Huracán Mitch | - | - | - |
| 1999 | 18 de Septiembre | Huracán Floyd | 442 | Playas del Coco | 50 |
| 2006 | 14 de Octubre | Sist. Baja Presión | - | - | - |
| 2007 | 10 de Octubre | Sist. Baja Presión | - | - | - |
| 2016 | 25 de Noviembre | Huracán Otto | 109 | Aeropuerto De Liberia | 2 |
| 2017 | 04 de Octubre | Tormenta tropical Nate | 263.2 | Sardinal | 25 |
| 2020 | 25 de Agosto | Tormenta tropical Marco | 186.7 | Sardinal | 10 |
| 2020 | 04 de Noviembre | Huracán Eta | 168 | Artola | 8 |

Fuente: Modificado de Alemán Álvarez, 2023.

Cabe resaltar que, mediante una revisión de mapas de Costa Rica, tanto de alerta como de precipitación de la Comisión Nacional de Emergencia y del Instituto Nacional de Emergencia, se respaldaron los rangos de alerta (Tabla 6.8). Se tiene que hay gran asertividad, basándose en los registros de inundación que, la alerta Naranja y la Roja van a manifestar un fenómeno de inundación.

Tabla 6.8: Niveles de alerta según umbral de inundación.

| Condición de alerta | Umbral según la precipitación en 24 horas | Unidad | Periodos de retorno |
|---------------------|---|--------|---------------------|
| Verde | 60-80 | mm | media año |
| Amarillo | 80-100 | mm | 1 año |
| Naranja | 100-150 | mm | 2 a 5 años |
| Roja | 150 > | mm | 5 > años |

Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.2.10 Paso 10: Propuesta SAT Bambú

1) *Sistemas de alerta temprana en Costa Rica:* debido a su ubicación geográfica, Costa Rica es propensa a la afectación de eventos hidrometeorológicos que provocan inundaciones. No obstante, a pesar de esa vulnerabilidad son pocos los estudios que existen en el país en lo que al tema de inundaciones se refiere y el cómo actuar ante ellas. A raíz de las distintas catástrofes es que se le ha dado más importancia a este tema, como es el caso de la cuenca del río Sarapiquí que el 08 de enero del 2009 ocurrió un terremoto en la zona de Cinchona provocando el cambio del paisaje y la respuesta hidrológica de la cuenca, por lo que surgieron nuevas zonas inundables. Debido a estas circunstancias se vieron en la necesidad de monitorear y caracterizar los riesgos, por lo que con ayuda de distintas instituciones lograron crear el “Proyecto Piloto sobre Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para Amenazas Hidrometeorológicas en Costa Rica”.

Cabe destacar que, para la elaboración del SAT para el barrio El Bambú el proyecto piloto previamente mencionado va a ser utilizado como una base, esto debido a la falta de información que existe a nivel nacional.

II) *Componentes fundamentales para el funcionamiento del SAT:* para que un sistema de alerta temprana de inundaciones sea eficaz debe de satisfacer las necesidades de las personas expuestas ante riesgo de inundaciones. Tiene que estar centrado en la población y debe de ser inclusivo. Enseguida se pueden observar los cuatro componentes fundamentales para que el SAT sea efectivo, los cuales son: conocimiento sobre los riesgos, capacidad de respuesta, difusión y comunicación y monitoreo y alerta (Figura 6.13).

Figura 6.13: Elementos principales que conforman un SAT.



Fuente: Modificado de Organización Meteorológica Mundial, 2018.

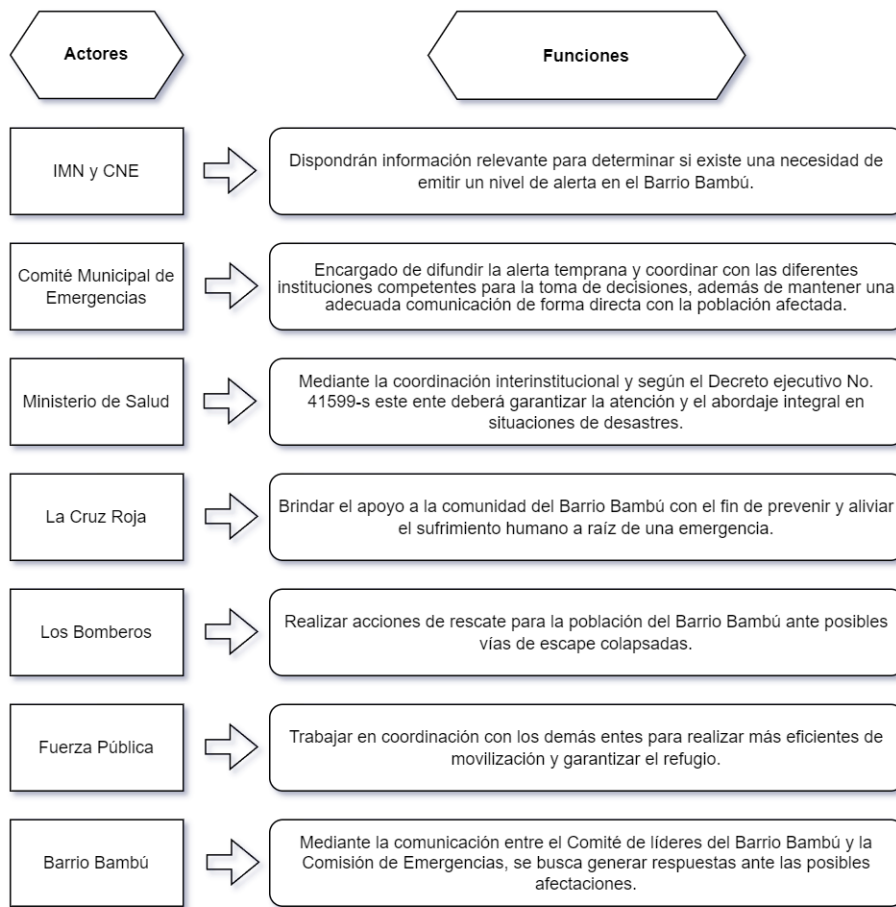
1. Conocimiento de los riesgos: los riesgos surgen cuando los peligros y las vulnerabilidades aparecen juntos en un lugar determinado. Para realizar la evaluación de riesgos se debe de

hacer una recopilación y análisis metódicos de los datos, además, se debe tener en consideración la naturaleza cambiante de las amenazas y debilidades relacionadas con factores como la urbanización, la modificación del uso del suelo, la degradación ambiental y el cambio climático. Por lo tanto, las evaluaciones y los mapeos de riesgos contribuyen a incentivar a las personas, priorizar las necesidades de los sistemas de alerta temprana y guiar la preparación para prevenir desastres y responder a ellos (Organización Meteorológica Mundial, 2018, p.3).

2. Capacidad de respuesta: es fundamental que las comunidades tengan una comprensión de sus riesgos, muestren respeto por los sistemas de alerta y estén capacitadas para reaccionar adecuadamente. La educación y la preparación desempeñan un papel fundamental en este sentido. Además, la existencia de planes de gestión de desastres bien elaborados y probados resulta esencial. La comunidad debe estar plenamente informada sobre las alternativas seguras, las rutas de evacuación disponibles y las medidas para prevenir daños y pérdidas materiales (UN International Strategy for Disaster Reduction, 2006, p.2).
 3. Difusión y comunicación: para que una advertencia sea eficaz, esta debe de ser accesible, fácil de comprender y ser viable para los receptores. En el momento de realizar el diseño de estrategias de comunicación y difusión, es importante tener en consideración el acceso de la población a la tecnología, la alfabetización, las lenguas locales y las diferencias entre grupos de una misma comunidad. Se deben realizar revisiones cada cierto tiempo basadas en simulacros y sucesos reales para identificar las deficiencias de la estrategia e introducir mejoras para que los avisos lleguen a más personas (Flood Resilience Portal, 2021).
 4. Monitoreo y alerta: es fundamental que los avisos lleguen a las personas que están expuestas, por lo tanto, se debe de difundir la información de tal manera que sea sencilla, útil y fácil de comprender. Además, de manera previa se debe de escoger con antelación cuales van a ser los sistemas de comunicación para que el mensaje llegue al mayor número de personas posible, para prevenir el fallo de cualquiera de los canales, y para reforzar el mensaje de alerta.
- III) Actores clave en la aplicación del SAT*: la aplicación de un sistema de alerta temprana es una labor sumamente importante y compleja, esto debido a que involucra a una gran cantidad de instituciones. Estas a su vez, tienen que movilizar personas, materiales, aplicar protocolos, entre otros, por esto mismo se detalla el orden de los principales actores involucrados (figura 6.14). Cabe destacar que el pilar fundamental de los actores es tanto la Comisión Nacional de Emergencias y el Instituto Meteorológico Nacional, debido a que son los encargados de brindar información del estado general del país, ante un evento extremo.

El IMN en estos casos proporciona un monitoreo del comportamiento de las precipitaciones de un evento, lo cual permite aplicar de antemano el SAT Bambú en conjunto a las demás instituciones. El rol de la municipalidad es determinar mediante los umbrales de inundación, las acciones a proceder y por ende a comunicarse con las autoridades competentes. Esto con el fin de gestionar de manera eficiente las acciones de salvaguarda de la población del Barrio Bambú.

Figura 6.14: Orden de los principales actores que deben actuar en la aplicación del SAT.



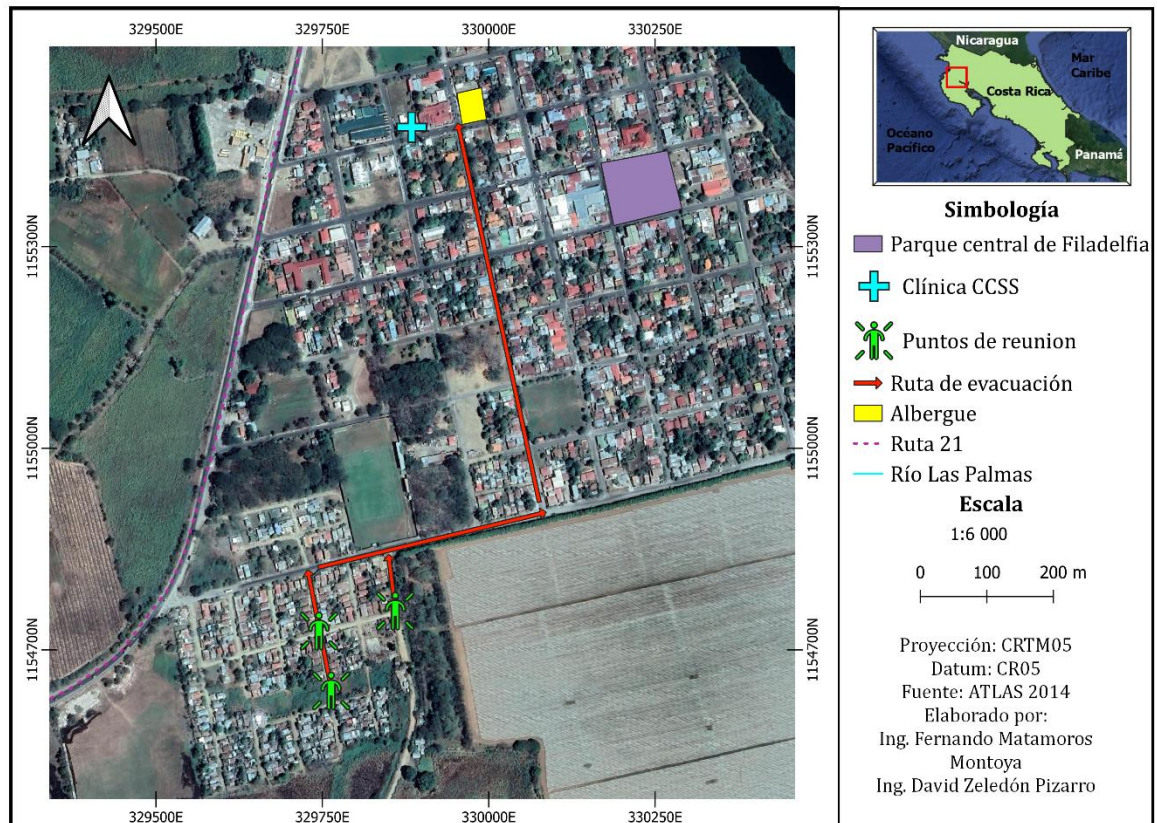
Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

IV) Ruta de evacuación: como uno de los puntos principales se tiene que definir cuál sería una posible ruta de evacuación para los habitantes del barrio El Bambú, para ello se hizo una visita

al lugar y con ayuda del Comité Comunal de Emergencia del barrio nos indicaron cuales eran los lugares que se inundaban de primero y los puntos de reunión que ellos tenían definidos. En base a esta información se hicieron una serie de mapas expuestos a continuación.

Primeramente, se establece una posible ruta de evacuación donde se pueden observar los puntos de reunión, estos puntos fueron definidos por el Comité Comunal de Emergencia del barrio El Bambú, es ahí donde los afectados toman los autobuses que los van a llevar hacía el albergue que en este caso es el salón comunal de Filadelfia, Carrillo (Figura 6.15).

Figura 6.15: Ruta de evacuación del barrio El Bambú hacía el albergue.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Seguidamente, se hizo un mapa de manera más específica y enfocado en el barrio propiamente, en este se puede observar con mayor claridad donde están ubicados los puntos de reunión y la ruta de evacuación (Figura 6.16).

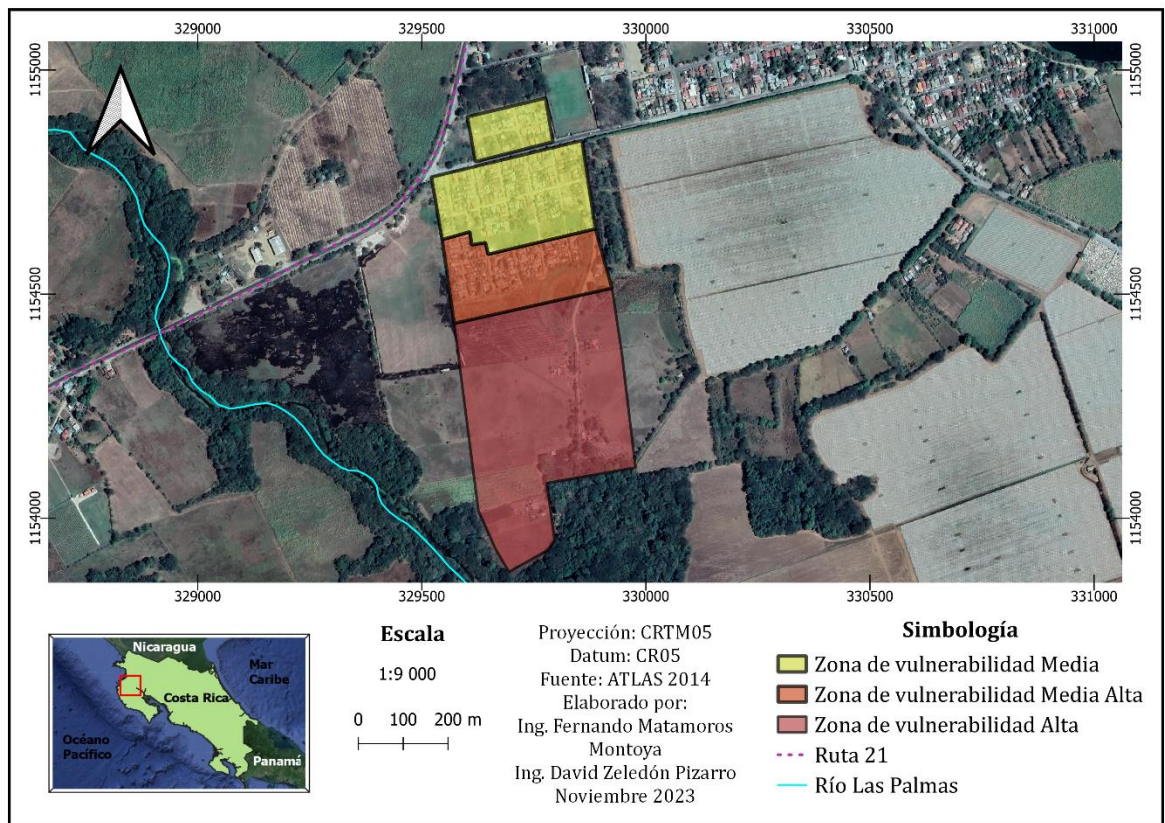
Figura 6.16: Puntos de reunión en el barrio El Bambú.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

Después, se determinaron las zonas más vulnerables que hay en el barrio El Bambú, y en base a esta información se hizo un mapa que indica dichas zonas de vulnerabilidad, donde el color rojo representa una vulnerabilidad alta siendo esta la primera zona que se va a inundar, el naranja es una zona con vulnerabilidad media alta, y el amarillo con una vulnerabilidad media. Cabe destacar, que todas las zonas son vulnerables, lo que cambia es el orden en el cual se van a inundar (Figura 6.17).

Figura 6.17: Clasificación de zonas de vulnerabilidad por inundación en el barrio El Bambú.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

V) *Diseño del SAT*: para el desarrollo del sistema de alerta temprana se va a disponer de cuatro niveles, los cuales son verde, amarillo, naranja y rojo. Estas clasificaciones son las mismas utilizadas por la Comisión Nacional de Emergencias, sin embargo, para este estudio se han proporcionado rangos específicos para el Barrio Bambú. Esto debido a que se requiere de mecanismos que aceleren la pronta y eficaz respuesta ante un evento de inundación.

La denominada propuesta SAT Bambú (Figura 6.18), muestra los cuatro niveles de alerta con su respectivo rango de precipitación asociado. Además de ello, describe la forma más apropiada de actuar ante un posible evento de inundación y uno inminente. Cabe resaltar que es necesario un abordaje interinstitucional para la correcta aplicación del SAT Bambú, debido a la amplia gama de afectaciones que se manifiestan.

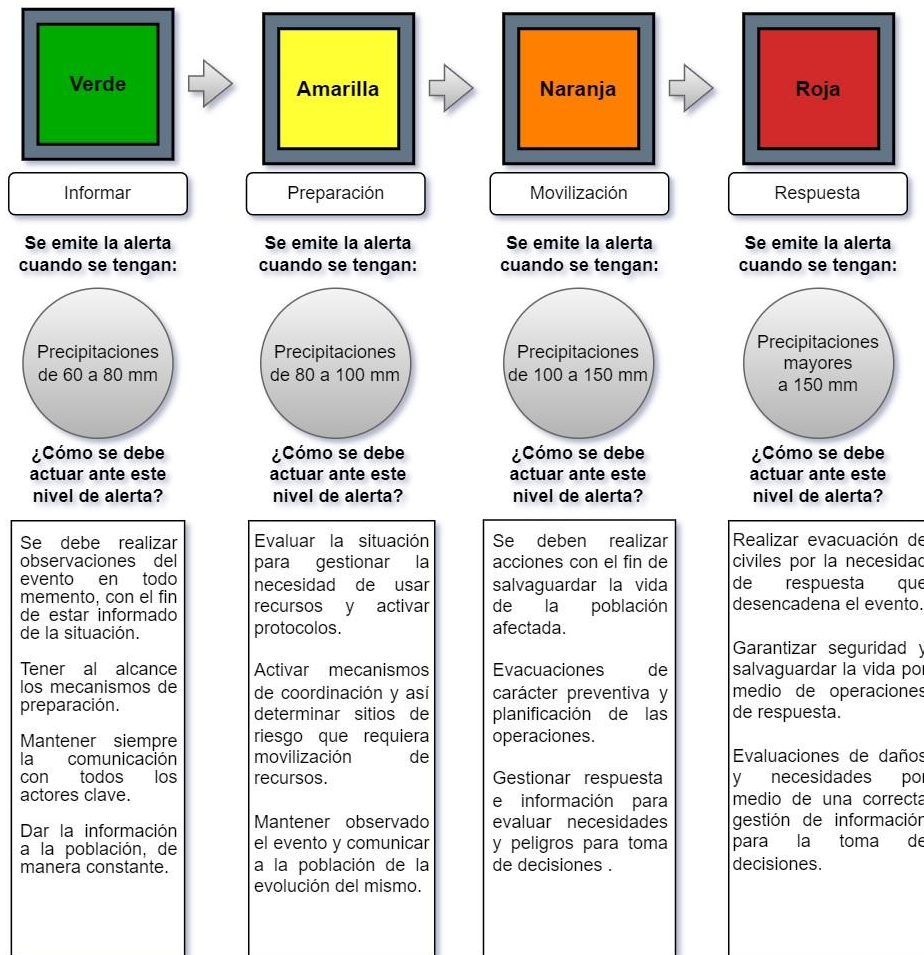
Siguiendo con el rango de alertas, el color verde representa un aviso de carácter más informativo que de alerta, lo cual requiere de mantener la atención sobre cambios que se puedan presentar en cualquier momento. El rango de esta alerta va desde los 60 mm a los 80 mm, lo cual se puede caracterizar como lluvias normales, sin embargo, la prolongación de estas precipitaciones puede aumentar la vulnerabilidad.

Para la alerta amarilla, se le identifica como un aviso que denota preparación, esto debido a que son precipitaciones de mayor intensidad que lo normal. Estas pueden desencadenar otro tipo de desastres, por ende, se requiere de un proceso de evaluación de la situación y su desarrollo. El rango de esta alerta va de 80 mm a 100 mm, una cantidad de precipitación considerable, que puede aumentar no tan significativamente el caudal normal del río las Palmas.

La alerta naranja representa una situación delicada, donde adquiere un estado de movilización, con el fin de salvaguardar a la población. En donde se generan acciones preventivas para minimizar cualquier daño tanto en la salud humana como en los bienes. El rango de esta alerta va desde los 100 mm hasta los 150 mm, donde dicha precipitación puede alterar el nivel del caudal base del río las Palmas generando desbordamientos. Por ende, se requiere de una buena gestión que evalúe riesgos y necesidades, que puedan surgir en esta situación.

Por último, la alerta roja significa un desastre asegurado, se requieren acciones de respuesta rápida y eficiente. Se deben realizar operaciones de rescate y resguardo, esto debido a que las inundaciones manifestadas son críticas y las pérdidas de bienes están aseguradas, además del peligro que corren las vidas humanas. Esta alerta tiene un rango inicial de 150 mm, sin embargo, al sobrepasar esta cifra en adelante, el carácter siempre será de clasificación roja.

Figura 6.18: Propuesta SAT Bambú.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.3 Discusión de los principales resultados

A continuación, se presentará la discusión de los resultados más relevantes que se han encontrado en el transcurso del proyecto, categorizados de la siguiente manera: principales hallazgos del proyecto, cumplimiento de resultados y efectividad de la metodología aplicada que tienen una importancia significativa a la hora de comprender la toma de decisiones durante el proceso de generación de resultados.

6.3.1 Discusión de los principales hallazgos del proyecto

I) Deficiencia en la gestión de la información hidrometeorológica: a la hora de revisar los datos de las estaciones meteorológicas obtenidas, se identificó que varias de ellas no registraron información en el periodo de tiempo solicitado (1995 - 2022). Por ejemplo, las estaciones con mayor grado de influencia en la subcuenca como Artola, tiene registro del 2017 al 2022 y Sardinal del 2012 al 2022. Generando un vacío de información en los años anteriores, que significa un obstáculo para poder determinar el comportamiento de las precipitaciones en un lapso adecuado.

II) Debilidad en el seguimiento de registro de eventos históricos: es de destacar que, al buscar información de los eventos históricos de inundación ocurridos en el Barrio Bambú, se encontró que dicha información no existe. Esto debido a que la Municipalidad de Carrillo no se encargaba de esa labor en el pasado, sino que era trabajo del Comité de Emergencia de Carrillo. Debido a esto, se procedió a su debida consulta, en este caso la encargada de esa información murió hace tiempo y por ende no se dio seguimiento al respaldo. Se desconoce si el motivo de dicha falta de información es por desinterés o por una mala organización. Lo cual nos deja únicamente con los informes de la Comisión Nacional de Emergencias, el cual tiene registros de inundaciones en Carrillo, pero no en el Barrio Bambú.

III) Necesidad de una estación hidrometeorológica: debido a la ausencia de una estación hidrometeorológica en la zona se tuvo que solicitar los datos de las estaciones más cercanas al área de estudio, esto provoca que los resultados obtenidos no fueran tan representativos como se desearía, si no, que estos fueron una estimación de las condiciones que se dan en la zona. Debido a lo anteriormente mencionado, una estación hidrometeorológica ubicada en Filadelfia brindaría información en tiempo real de la precipitación que está ocurriendo en la zona de estudio, esto serviría para saber cuándo es necesario empezar a activar el sistema de alerta temprana.

IV) Necesidad de un estudio de hidráulica fluvial: este proyecto se enfocó principalmente en el área hidrológica, sin embargo, se logró identificar que para poder desarrollar un sistema de alerta temprana que sea más acertado y confiable se tienen que considerar distintas variables que pueden estar influyendo en la inundación del barrio El Bambú, no solo las precipitaciones que se dan en la zona. Entre dichos estudios se encuentran los topográficos, estos nos pueden brindar más detalle y serían importantes para poder comprender como es el terreno en esa zona y así poder determinar cuáles áreas son potencialmente inundables. Por otra parte, un estudio hidráulico del comportamiento del río Las Palmas sería un buen complemento con el

topográfico y de esa forma se podrían determinar las tirantes del río en zonas claves y el comportamiento de este antes las distintas avenidas.

V) Falta de comunicación y coordinación entre las distintas partes involucradas: durante la visita de campo se identificó que en el barrio El Bambú no existe un plan de emergencia como tal ante una inundación, además, se notó que cuando ocurre un fenómeno de estos no existe una persona encargada de tomar registro del evento. Al momento de realizar la consulta a la Municipalidad, el comité cantonal de emergencias y el cuerpo de bomberos no sabían dónde podría estar esa información que en buena práctica debería de existir.

6.3.2 Sobre los objetivos planteados

A continuación, se discutirán cada uno de los objetivos, con el fin de determinar si lo planteado se ha podido cumplir con la obtención de los resultados:

I) Sobre el objetivo primero: el primer objetivo trataba de caracterizar la subcuenca hidrográfica del río Las Palmas y del río Sardinal mediante la revisión de los parámetros fisiográficos y morfométricos para así interpretar su funcionalidad hidrológica y respuesta ante distintos eventos extremos, esto se logró con el uso del software QGIS.

Como resultado se pudo obtener la Tabla 6.2 y 6.5 en la cual se observan los parámetros fisiográficos y morfométricos, que determinan las características básicas del área de estudio. De la misma manera, en la Figura 2.4, se representa satelitalmente el área de estudio, donde se detalla la ubicación del río Las Palmas como cauce principal y el río Sardinal como tributario. Además de ello, se representan las elevaciones de la subcuenca, ejemplificando las alturas máximas con una coloración roja y mínimas las mínimas con azul.

II) Sobre el objetivo segundo: se puede asegurar que se cumplió este objetivo, según lo evidenciado en la Sección 6.2.9, donde se detalla el proceso para la elaboración del umbral de inundación. Cabe destacar la Tabla 6.8, la cual muestra los rangos del umbral de inundación, en donde las alertas Naranja y Roja pueden desencadenar dicho desastre en la zona.

Además, este objetivo se complementa con la información recopilada de la Sección 6.2.1, que se caracteriza por ser la parte basal del estudio, ya que consiste en recopilar datos relevantes para el estudio. En esta parte se destaca la Tabla 6.1, la cual es un registro de los eventos de inundación con fecha, lo cual, al asociarlo con la información de la precipitación de las estaciones, se obtuvo el umbral de grandes eventos.

III) Sobre el objetivo tercero: este objetivo se cumplió según lo esperado, en la Sección 6.2.7 y las Figuras 6.6, 6.7 y 6.8 representan los hietogramas correspondientes a la distribución de la lluvia asociado a eventos de precipitación, estos se lograron modelar con los datos meteorológicos de la estación Sardinal que pertenece al AyA.

IV) Sobre el objetivo cuarto: el presente objetivo se cumplió según lo esperado, esto conforme a lo demostrado en la Sección 6.2.8, ya que se expone la reacción de la subcuenca a la presencia de diferentes precipitaciones. Además, al relacionarlo con la Tabla 6.6 que relaciona los eventos de inundación con su respectiva precipitación, se determina la posible caudal quimera una

Cabe destacar que las Figuras 6.9, 6.10 y 6.11 representan el comportamiento de los caudales máximos en función del tiempo, siendo los más extremos, las referentes a precipitaciones de 263.2 y 186.7 mm. Las anteriores precipitaciones generaron caudales máximos superiores a 1000 m³/s, caso contrario para la precipitación de 74.2, que generó 188 m³/s como máximo.

Lo anterior denota la vulnerabilidad de la subcuenca a precipitaciones de gran intensidad, las cuales fomentan la generación de caudales pico sumamente elevados. Esto si se compara con el caudal generado por una intensidad por debajo de los 100 mm, como lo muestra la Figura 6.11, la cual no está asociada a un evento extremo, sino a una situación más frecuente.

V) Sobre el objetivo quinto: este objetivo se realizó con éxito, la información se encontrará en Sección 6.2.10, donde se presentan las partes fundamentales que requiere un sistema de alerta temprana para su correcta implementación. Además, la Figura 6.13 representa los elementos de un SAT para mayor entendimiento y gestión, donde la Figura 6.14 es de suma relevancia para su aplicación, ya que muestra las instituciones que deben reaccionar ante una alerta emergencia.

Las Figuras 6.15, 6.16 y 6.17 son mapas que determinan las rutas de evacuación que deben tomar los habitantes del barrio El Bambú, además de detallar el orden de las zonas que primeramente se inundan. La Figura 6.18 es la culminación de la propuesta del SAT Bambú, donde se dictan los rangos de precipitación asociado a su nivel de alerta y las acciones que se deben tomar en cada escala de emergencia.

6.3.3 Sobre el diseño metodológico del proyecto

La metodología planteada para llevar a cabo la resolución de los objetivos fue significativamente eficiente y funcional. Cabe destacar que esto no la abstuvo de poder presentar cambios en ciertos puntos, esto debido a las limitaciones de información como lo fue con las estaciones meteorológicas y el registro histórico de eventos de inundación.

Los cambios realizados según la Figura 5.1 (“Resumen de la metodología a implementar para la realización del proyecto” ubicada en el capítulo 5), son sobre los puntos 6 Aplicación del polígono de Thiessen y 9 Generar un umbral de inundación mediante registros históricos.

La poca disponibilidad de información climatológica con respecto a bases de datos completas de los periodos solicitados (1995-2022), causó modificaciones al aplicar el punto 6 y 9. Ya que, al conocer el porcentaje de influencia de cada estación, se descartaron algunos eventos por no tener registro de estos en las estaciones más representativas.

Lo anterior afecta al punto 6, ya que se pretendía generar una precipitación promedio unificada de las estaciones, para elaborar el hietograma de cada evento. Sin embargo, se utilizó la de la estación con mayor grado de influencia en la subcuenca del río Las Palmas, la cual es la que está ubicada en Sardinal, seguida de la de Artola.

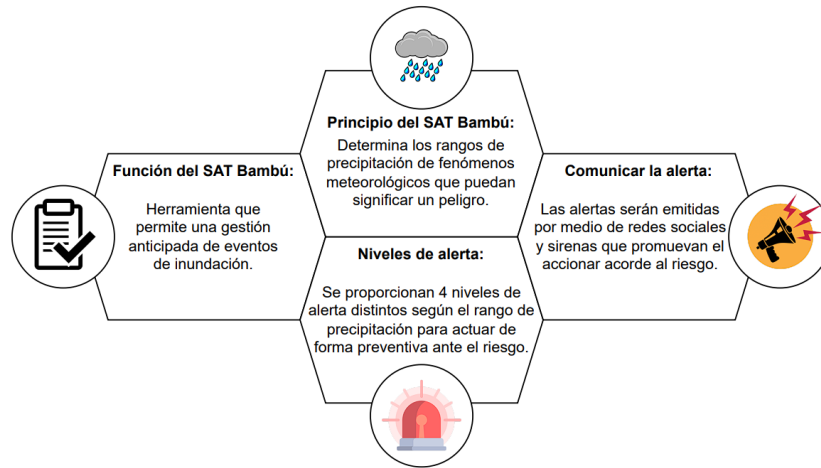
Con respecto al punto 9, se presentó dificultad para obtener los registros históricos debido a una mala gestión de dicha información, lo cual redujo los eventos estudiados. Además, el hecho de que algunas fechas de eventos registrados de inundación en el Barrio Bambú no tengan datos asociados de precipitaciones en las estaciones cercanas, reduce la estimación del Umbral. No obstante, se contó con información de alertas de la Comisión Nacional de Emergencias, para detallar de forma general los eventos de inundación en el cantón de Carrillo. Además de contar con los mapas de isoyetas asociados a las alertas del CNE, esto proporcionó información relevante para plantear los rangos de la alerta en relación con la precipitación.

6.3.4 Sobre la solución propuesta

Como puntos a mejorar, sería bueno que se hiciera un simulacro para ver la capacidad de respuesta de las distintas instituciones y actores, de esa forma se pueden identificar los puntos de debilidad y así trabajar en ellos. Además de ello, es necesario determinar la efectividad del sistema de alerta temprana propuesto, en términos de aplicación y reacción,

1) Respecto al SAT elaborado:

Figura 6.19: Sistema del SAT Bambú.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.

6.4 Conclusión

Este capítulo tiene como base demostrar la aplicación de la metodología, esto para dar respuesta a los objetivos del proyecto y poder fundamentar la propuesta del sistema de alerta temprana. Por ello, el capítulo 6 demarca los pasos a seguir para la obtención de los resultados, cumpliendo con la metodología propuesta en el anterior capítulo.

Capítulo 7 – Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de los principales resultados y hallazgos obtenidos en el desarrollo de este proyecto.

7.1 Conclusiones

El presente capítulo detallará de manera precisa, las principales consideraciones obtenidas en base al contenido del proyecto, representados en cada uno de los capítulos anteriores. Cabe destacar que mediante el proceso que se ha llevado a cabo para su realización, se brindan recomendaciones para mejorar los resultados obtenidos.

7.1.1 Sobre las consideraciones generales

La caracterización morfológica de la subcuenca del río Las Palmas determinó que su capacidad de respuesta ante eventos hidrometeorológicos es de aproximadamente de 3.3 horas según la aplicación de la fórmula de Kirpich.

Los registros de eventos más representativos que han causado inundaciones en el barrio El Bambú permitieron determinar los principales rangos de precipitación asociados al fenómeno identificado. Dictando así que la tormenta tropical Nate, la cual generó 263.2 mm en 24 horas, es el valor más alto registrado. También se determinó que con el huracán Eta que generó 168 mm de lluvia en 24 horas, el cual manifestó un fenómeno de inundación, estos rangos de precipitación permitieron establecer la cantidad de lluvia que aumenta el caudal del río a niveles alarmantes.

Los hietogramas generados a partir de la precipitación máxima diaria y su distribución en 24 horas son de gran relevancia para conocer el comportamiento de una tormenta en la zona de estudio, además, dichos hietogramas van a servir como fuente de información para la elaboración de nuevos estudios hidrológicos para la provincia de Guanacaste.

Los hidrogramas asociados a fenómenos que causaron inundaciones en el barrio El Bambú determinan que precipitaciones superiores a 100 mm de lluvia generan niveles muy elevados de caudal, causando que arriben crecidas de 500 m³/s hasta 1142 m³/s como lo fue en el caso de la tormenta tropical Nate. Por ende, a partir de rangos mayores a los 100 mm de lluvia, el comportamiento del caudal presenta una tendencia exponencial y sumamente mayor a la modelada con precipitaciones más bajas.

El diseño de la propuesta de un sistema de alerta temprana ante inundaciones en el barrio El Bambú, Filadelfia, Guanacaste, Costa Rica, se logró de manera exitosa gracias a la colaboración de la Municipalidad de Carrillo, el Comité Comunal del barrio El Bambú y la Comisión Nacional de Emergencias, así mismo, se cumplió con el objetivo general de este proyecto.

Con las entrevistas realizadas a la población del barrio El Bambú y los hietogramas generados se logró determinar que al menos una vez al año se presenta una inundación en el barrio El Bambú, por lo tanto, la implementación de un sistema de alerta temprana es una necesidad urgente.

7.1.2 Consideraciones para la Municipalidad de Carrillo

La propuesta de alerta temprana brindada es una herramienta de gran valor, que necesita de la colaboración interinstitucional para obtener resultados eficientes. El SAT Bambú a pesar de ser una propuesta, es un punto de partida fundamental para la gestión del riesgo para el sitio de estudio. La

obtención de diferentes caudales máximos y periodos de retorno asociados a cada color de alarma proporciona una visión más amplia de la problemática, lo cual permitirá que se den a cabo tomas de decisiones más certeras en momentos de emergencia.

Cabe destacar que dicho estudio viene a formar parte de un pilar importante para la generación de estudios e información técnica que, hasta la fecha ha existido un déficit en las bases de datos del municipio. Por ende, queda en evidenciado que existen carencias de monitoreo y respaldo de información, aspectos que son de gran relevancia para la investigación de los efectos causados por fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Hay que tomar en cuenta que la información primordial que va a activar el rango de alertas proviene de las estaciones más representativas de la subcuenca, las cuales son Artola y Sardinal. Otro factor crucial son los pronósticos meteorológicos que proporciona el IMN, ya que son de suma importancia para emitir la alerta temprana, para preparar a la población a los escenarios previstos.

Esto favorecerá una mejor movilización y respuesta de los actores clave, para realizar acciones con seguridad y evitar cualquier afectación a la integridad humana.

7.1.3 Consideraciones para el Comité Comunal de Emergencia

Se observó como el Comité Comunal de Emergencia del barrio El Bambú es organizado y posee una buena comunicación con la Municipalidad de Carrillo y el CNE, sin embargo, les hace falta preparación más técnica relacionada a cómo actuar ante las inundaciones.

7.2 Recomendaciones

En esta sección se presentan las acciones concretas que pueden aplicarse para abordar desafíos y mejorar prácticas, a su vez, ofreciendo una guía útil para futuros proyectos, investigaciones o implementaciones que se vayan a realizar.

7.2.1 Sugerencias generales

El estudio realizado a pesar de tomar en cuenta una gran cantidad de factores como lo son morfométricos, hidrológicos y meteorológicos, no se encuentra absuelto a la opción de mejora. Esto debido a que se requiere de más estudios técnicos que tomen en cuenta otros elementos que puedan atribuir al efecto de las inundaciones en el Barrio Bambú. Estudios como lo son el efecto del nivel freático de las aguas subterráneas en la contribución al caudal del río las Palmas, además de la marea alta que se origina en la desembocadura del río Tempisque.

Es necesario considerar estaciones meteorológicas con bases de datos más completas y extensas de precipitación, que tengan registrados los mismos eventos meteorológicos. Esto para generar una precipitación unificada promedio mediante polígonos de Thiessen, correlacionando la precipitación con el grado de influencia de cada estación meteorológica. Esto con el fin de conocer el comportamiento de la precipitación tanto espacial como temporalmente de cada evento en la subcuenca a estudio.

7.2.2 Sugerencias para la Municipalidad de Carrillo

Debido a la importancia que puede llegar a tener para la población un SAT es necesario complementarlo con otros estudios como topográficos y de modelación hidráulica, esto serviría para poder determinar con mayor certeza cuáles zonas son más propensas a que se inunden, determinar la profundidad del flujo para esas zonas inundadas y la velocidad que este lleva. Esto se podría realizar en conjunto con una universidad como un proyecto final de graduación o con una empresa especializada en este tipo de estudios. Realizando la consulta con el Ing. Dennis Calderón Valverde, se comenta que un levantamiento de datos mediante un vuelo LIDAR puede rondar los ₡8 000 000.00, no obstante, este precio puede variar según qué tanta área de desee abarcar.

Para tener un mejor registro y control de los datos de la precipitación que se dan específicamente en el área de estudio, se recomienda la instalación de una estación meteorológica automática para poder medir distintitos parámetros. Esto ayudaría a la Municipalidad de Carrillo a poder ver en tiempo real cual es la precipitación y no tener que depender de terceros para obtener ese dato. Con respecto a la ubicación de la estación meteorológica, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones: que el equipo se coloque en un terreno llano, preferiblemente no debería haber laderas empinadas en las proximidades, que no exista algún edificio, árbol, muro u objeto que obstaculice la estación y que este en una propiedad cerrada para que no entren personas no autorizadas (OMM, 2010, p. 1-4).

7.2.3 Sugerencias para el Comité Municipal de Emergencia

Se requiere de la realización de capacitaciones sobre gestión de riesgo y funcionamiento de los sistemas de alerta temprana para los líderes y población de la comunidad del Barrio Bambú. Esto con fin de preparar a los actores sociales que están en contacto con la problemática, y así generar respuestas más efectivas en los momentos de emergencia. Ya que una población organizada y capacitada fomentará una mejor toma de decisiones, mejorando la movilización, acción y la salvaguarda de la comunidad.

Es fundamental realizar simulacros en el Barrio Bambú por parte de los entes capacitados, con el fin de identificar las mejores rutas de evacuación. Además, se debe tener noción de las zonas más vulnerables e inicialmente expuestas al inicio de un evento de inundación, para que preparen medidas de acción. Por último, es necesario un sistema de comunicación rápida, ya sea por medio de redes sociales o un sistema de alarma sonora para avisar con anticipación el aumento del nivel del agua, tomando en cuenta el umbral de inundación propuesto.

8. Bibliografía

- Alpízar, M. y Carvajal, J. 2014. Distribución espacial de las inundaciones en Costa Rica, 10 años de sus efectos. *Revista En Tomo a la Prevención*, (13), p. 16. <http://revistaentorno.desastres.hn/pdf/spa/doc1302/doc1302-contenido.pdf>
- Béjar, M. V. 2004. *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ayuso, J. L., Peña, A., y Montesinos, M. P. 1994. Estimación del hidrograma unitario. Estudio comparativo de cuatro métodos lineales. *Ingeniería del agua*, 1(2), 21-32. <https://iwaponline.com/IA/article/1/2/21/68132/Estimacion-del-hidrograma-unitario-Estudio>
- Béjar, M. V. 2002, *Hidrología*, segunda edición, Max soft. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Belmonte, M., 2009, Requisitos éticos en los proyectos de investigación. *Otra oveja negra*, Elsevier, 11 (1), pp. 7-13. doi: 10.1016/j.semreu.2009.09.005
- Bentancor, L., Silveira, L., y García Petillo, M. 2014, Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 18(2), p. 106. (Consultado: el 28 de mayo de 2023). Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v18n2/v18n2a12.pdf>
- Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C., y Vásquez, A. 2002. Zonificación Geotécnica General de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos. In VIII Geotechnics National Seminar and III Center American Encounter of Geotechnical People (pp. 159-181).
- Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C., y Vásquez, A. 2002. Zonificación Geotécnica General de Costa Rica considerando elementos edáficos y climáticos. In VIII Geotechnics National Seminar and III Center American Encounter of Geotechnical People (pp. 159-181).
- Campos, D y Quesada, A. 2017. Impacto de los eventos hidrometeorológicos en costa rica, periodo 2000-2015, *Geo UERJ*, 0(30). doi: 10.12957/geouerj.2017.26116.
- Campos, D. 1998. *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina.
- Cepredenac. 2015. Sistema de alerta temprana Costa Rica. Fomento de Resiliencia ante Inundaciones y Sequía. <https://www.cepredenac.org/wp-content/uploads/2022/12/PROPUESTA-PROTOCOLO-DE-COMUNICACION-COSTA-RICA.pdf>
- Chavarría, O. A. 1999. Gentes e inundaciones en los pueblos del Tempisque. *Revista Geográfica de América Central*, 1(37), 109-127. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/1728/1635>
- Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. 1988. *Applied Hydrology*, McGraw Hill Higher Education, Maidenhead.

CNE. S.f. Comisión Nacional de Emergencias, Costa Rica, (Consultado: el 21 de mayo de 2023). Disponible en:

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_amaneza/guanacaste/Carrillo%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf

CNE. s.f. Deslizamientos, Inundaciones y sismos. (Consultado: el 11 de mayo de 2023). Disponible en:

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomentaciones_consejos/documentos/Folleto_Deslizamientos.pdf

Comisión Nacional de Emergencia (CNE)., Comité Local de Emergencia de Carrillo (CLE)., y Dirección de Planes y Operaciones (DPO). 1993. Comisión Nacional de Emergencias, Costa Rica, (Consultado: el 21 de mayo de 2023). Disponible en: <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc5212/doc5212.htm>

Consortio Pompa Quindio. 2018. Plan De Ordenación Y Manejo De La Cuenca Del Río La Vieja. Bogotá D.C.

Obtenido de: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2020-02/Documento_General_POMCA_LaVieja.pdf

Cruz, J. 2020. *Análisis regional de caudales para determinar umbrales de inundación en la región hidrológica VI del Pacífico del Perú*, Trabajo fin de grado, Universidad Señor de Sipán.

Cubero, C y Carvajal, J. 2014. Distribución espacial de las inundaciones en Costa Rica, 10 años de sus efectos, *Revista En Tomo a la Prevención*, 13 (12), pp. 15-20.

De Matauco, A. I. G. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicados a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (38), p. 315-316. (Consultado: el 25 de mayo de 2023). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1079160>

Díaz, A y Mercado, T. 2017. Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG, *Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 452-470

Duarte, S. M. 2022. Interacción de fenómenos naturales y actividades antropogénicas en la Cuenca del Río Tempisque en la Provincia de Guanacaste, Costa Rica: Interaction of natural phenomena and anthropogenic activities in the Tempisque River Basin at the Province of Guanacaste, Costa Rica. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(5), 54-74.

- Durán, D. C., y Román, A. Q. 2017. Impacto de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica, periodo 2000-2015. *Geo Uerj*, (30), 440-465. <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/26116/20979>
- Elizondo-Carmona, Y., Brenes, M., Rojas, M., y Ortiz, R. 2020. Implementación de un sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río Torres, San José, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 33(2), 17-25.
- Espinoza, L. 2018. *Modelación hidrodinámica del río Las Palmas y un trayecto del río Tempisque para determinar áreas de afectación en eventos extremos, permitiendo visualizar su influencia sobre la red de canales del proyecto Paacume*. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11288/modelacion_hidrodinamica_rio_palmas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Evans, D., Gruba, P. y Zobel, J. 2014. *How to write a better thesis?* Cham, Suiza: Springer International Publishing.
- Fabre, M. S., Ferrer, D. B., Mur, D. M., Ojeda, A. O., Notivoli, R. S. y Sánchez, S. 2015. Las crecidas del Ebro medio en el comienzo del siglo XXI. In *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* pp. 1853-1862. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio.
- Few, R., Ahern, M., Matthies, F., Kovats S. 2004. *Floods, health and climate change: a strategic review*, University of East Anglia, Norwich.
- Flood Resilience Portal. 2021. What makes an effective flood early warning system? Disponible en: <https://floodresilience.net/what-makes-an-effective-flood-early-warning-system/> (Consultado: el 6 de noviembre de 2023).
- Flores-Quispe, E. L., Flores-Condori, E., y Huaquisto-Cáceres, S. 2022. Regionalización de precipitación máxima diaria en Moquegua Perú. *Revista Científica de la UCSA*, 9(2), p. 43-57. Disponible en: <http://scielo.iics.una.py/pdf/ucsa/v9n2/2409-8752-ucsa-9-02-43.pdf>
- García Mendoza, J. V. 2020. Determinación del hietograma de tormenta sintético para la microcuenca " El Zapallo" en la zona periurbana de la ciudad de Portoviejo (Doctoral dissertation, PUCE-Manabí). <http://201.159.223.245:8080/bitstream/handle/123456789/75/Garc%c3%ada%20Mendoza%2c%20Jos%c3%a9%20Vicente.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- García, E y Replogle, J. 2016. *Río Tempisque, medio siglo de concesiones (casi) a ciegas*, La Voz de Guanacaste, (Consultado: el 25 de junio 2023). Disponible en: <https://vozdeguanacaste.com/rio-tempisque-medio-siglo-de-concesiones-casi-a-ciegas/>
- Gutiérrez Lozano, J., Vargas Tristán, V., Romero Rodríguez, M., Plácido de la Cruz, J. M., Aguirre Bortoni, M. D. J., y Silva Espinoza, H. T. 2011. Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México, *Investigaciones geográficas*, (76), p. 21. (Consultado: el 25 de mayo de 2023). Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112011000300003&script=sci_arttext
- Halwatura, D. y Najim, M. 2013. *Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment*, *Environmental modelling & software: with environment data news*, 46, pp. 155–162. doi: 10.1016/j.envsoft.2013.03.006.
- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., y Gisbert Blanquer, J. M. 2011. Morfología de las cuencas hidrológicas, p. 10. (Consultado: el 25 de mayo de 2023). Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfologia%20cuenca.pdf?sequence=1>
- Instituto de Desarrollo Rural (Inder). 2016. *Caracterización del Territorio Santa Cruz-Carrillo*, Inder, (Consultado: el 21 de mayo 2023). <https://www.inder.go.cr/santacruz-carrillo/Caracterizacion-territorio-SantaCruz-Carrillo.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional. s.f. Clima de costa rica y variabilidad climática. IMN. (Consultado el 5 de mayo 2023). <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/PacificoNorte.pdf/4a0e8960-8c51-4390-8a8d-73d9d825d59b>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jiménez-Ramón, J. A., y González-Jiménez, E. 2001. La cuenca del Río Tempisque: perspectivas para un manejo integrado, Costa Rica, (ISBN 9968-9717-4-X.). p. 44. <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/623/documents/CR540mgt.pdf>

Kunreuther, H., Heal, G., Allen, M., Edenhofer, O., Field, C. B., & Yohe, G. 2013. *Risk management and climate change*, *Nature Climate Change*, 3(5), 447–450. doi:10.1038/nclimate1740

La nación. 2017. Costa Rica. (Consultado: el 14 de mayo de 2023). <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/imagenes-secuelas-de-la-tormenta-nate-en-guanacaste/X5N4G6GQPJF4BLL7CLZGQDGDRU/story/>

López, P. 2004. Población muestra y muestreo, *Punto Cero*, 09(08), 69-74. (Consultado: el 25 de junio de 2023) Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&tlng=es.

Marcos-García, P., y Pulido-Velázquez, M. 2017. Cambio climático y planificación hidrológica: ¿es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación? *Ingeniería del agua*, 21(1), p. 36. (Consultado: el 25 de mayo de 2023). Disponible en: <https://iwaponline.com/IA/article-abstract/21/1/35/68575>

Mateo-Vega, J, 2001, Características generales de la cuenca del Río Tempisque. La cuenca del río Tempisque. Perspectivas para un manejo integrado. Organización para Estudios Tropicales, San José, Costa Rica, p. 32-72.

Mena, A. 2019. El uso del lenguaje no sexista en la comunicación organizacional: Una propuesta desde la academia. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. P.2-3. https://oacg.fcs.ucr.ac.cr/images/TFGs/Mena2019_tesis_de_licenciatura_.pdf

Microsoft. 2023. Tareas básicas en Excel, soporte técnico de Microsoft 365. (Consultado el 18 de junio). Disponible en: <https://support.microsoft.com/es-es/office/tareas-b%C3%A1sicas-en-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca>

Ministerio de Salud. 2019. Decreto ejecutivo No. 41599-s-Ministerio de Salud. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos-left/documentos-ministerio-de-salud/ministerio-de-salud/legislacion-sanitaria/leyes-decretos-y-directrices/informes-leyes-decretos/5959-decreto-no-41599-s-denominado-oficializacion-de-la-norma-de-atencion-integral-de-la-salud-mental-y-de-abordaje-psicosocial-en-situaciones-de-emergencias-y-desastres-en-los-escenarios-de-servicios-de-salud-y-en-la-comunidad/file#:~:text=Garantizar%20la%20atenci%C3%B3n%20integral%20de,seguimiento%20de%20normativa%20nacional%20espec%C3%ADfica>.

Mora, A., Quirós, G., Romero, L y Araya, R. 2018. Gestión municipal del riesgo de desastres: aspectos básicos a considerar para la organización y funcionamiento de las Oficinas Municipales de Gestión del Riesgo de Desastre (OMGRD), CNE, San José.

- Moreno, D, Quiñones Bolaños, É y Tovar, L. 2014. Los Sistemas de Alerta Temprana, SAT, una herramienta para la prevención de desastres por inundación y efectos del cambio climático, *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 9(1), pp. 7-24.
- Municipalidad de Carrillo. 2017. *Entorno y Demografía - Municipalidad de Carrillo*, [Municarrillo.go.cr.](https://www.municarrillo.go.cr/), (Consultado: el 21 de mayo 2023). Disponible en <https://www.municarrillo.go.cr/index.php/nuestro-canton/entorno-y-demografia>.
- National Geographic. s.f. *Flood*, National Geographic Society. (Consultado el 5 de junio de 2023). Disponible en: <https://education.nationalgeographic.org/resource/flood/>.
- Odio, N. 2020. *Comunidades de la cuenca baja del río Tempisque se preparan para desarrollar turismo rural*, Universidad de Costa Rica, (Consultado: el 25 de junio 2023). <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2020/06/02/comunidades-de-la-cuenca-baja-del-rio-tempisque-se-preparan-para-desarrollar-turismo-rural.html>.
- Ojeda, C. G. y Villaseñor, J. Á. R. 1989. Programa hidrología de superficie: Hidros. Tecnología y ciencias del agua, 53-58. <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/595/499>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2012. *Sistemas de Alerta Temprana Manual Informativo Apoyo al Ministerio de Educación de Nicaragua*, San José, Costa Rica.
- Organización Meteorológica Mundial. 2018. Sistemas de Alerta Temprana Multirriesgo: Lista de verificación. Obtenido de: https://library.wmo.int/viewer/60606/download?file=MHEW-A-Checklist_es.pdf&type=pdf&navigator=1.
- Organización Panamericana de la Salud. S.f. La OPS insta a reforzar la vigilancia de enfermedades tras inundaciones, Paho.org. (Consultado: el 15 de mayo de 2023). Disponible en: <https://www.paho.org/es/noticias/24-2-2022-ops-insta-reforzar-vigilancia-enfermedades-tras-inundaciones>.
- Orozco, R. & Cedeño, B. 2018. Servicio de mapoteca virtual de la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. *Revista Geográfica de América Central*, 3(61E), 597-607. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/11255/14375>.
- Ortíz, E. 2015. Atlas Digital de Costa Rica está a disposición del público, *Investiga TEC*, 23. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/2330/2119.
- Pinos Arévalo, N. J. 2016. Prospectiva del uso de suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial-Caso cantón Cuenca. *Estoa*. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, 5(9), p. 8. (Consultado: el 25 de mayo de 2023). Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-92742016000100001.

- Plate, E. 2002. *Flood risk and flood management*, Journal of hydrology, 267(1–2), pp. 2–11. doi: 10.1016/s0022-1694(02)00135-x.
- Pusineri, G., Pedraza, R. y Lozeco, C. 2005. *Uso de modelos digitales de elevación y de sistemas de información geográfica en la modelación hidrológica*, Geográfica digital, 2(3), p. 1. doi: 10.30972/geo.232664.
- Raghunath, H. 2006. *Hydrology: Principles, analysis and design*, New Age International.
- Retana Barrantes, J, A., Calvo Méndez, M. y Sanabria Valverde, N. 2020. Descripción de riesgo ante eventos hidrometeorológicos extremos en el norte de Costa Rica. Cantones de La Cruz, Nicoya, Hojancha, Liberia, Carrillo, Cañas, Santa Cruz, Guatuso, Los Chiles y Upala, IMN. (Consultado: el 21 de mayo de 2023). Disponible en: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/RiesgoEventosHE-ZonaNorte/offline/RiesgoEventosHE-ZonaNorte.pdf>
- Retana, J. 2012. Eventos hidrometeorológicos extremos lluviosos en Costa Rica desde la perspectiva de la adaptación al cambio en el clima, Revista de ciencias ambientales, 44(2), p. 5. doi: 10.15359/rca.44-2.1.
- Sancho, M. 2017. *Vecinos de Filadelfia buscan algo que rescatar y esperanza tras inundaciones*, crhoy, obtenido de cr.hoycom: <https://www.crhoy.com/nacionales/vecinos-de-filadelfia-buscan-algo-que-rescatar-y-esperanza-tras-inundaciones/>
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R. y Sapag., J.M .2014. *Preparación y evaluación de proyectos*. Mc Graw Hill Interamericana.
- Setena. 2018. Acuerdo de la comisión plenaria modificación al artículo 7 de la resolución no. 2373-2016-SETENA. Costa Rica. <https://www.setena.go.cr/Downloads/documentos/Normativa/RES-1462-2018.pdf>
- Setena. 2023. Trámites para Viabilidad Ambiental. Consultado el 08 de junio del 2023. <https://www.setena.go.cr/es/FAQs>
- Sistema Costarricense de Información Jurídica (SCIJ). 1994. Derechos y Garantías Sociales. Consultado el 08 de junio del 2023. http://www.pgrweb.go.cr/scij/busqueda/normativa/normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=871&nValor3=101782&nValor5=4898

SNIT. s.f. Instituto Geográfico Nacional, Costa Rica, (Consultado: el 21 de mayo de 2023). Disponible en: https://www.snitcr.go.cr/ign_glosario

Solano, H. 2020. *Fuertes lluvias en Guanacaste mantienen a 398 personas en nueve albergues*. La Nación. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/fuertes-lluvias-en-guanacastes-mantienen-a-19/FTUVTHGSPBBSNMA35OURAYGS6Q/story/>

U.S. Department of Agriculture. 2009. Hydrologic soil groups, Natural Resources Conservation Service, Ed. USA: USDA, cap. 7, pp. 1-3

UN International Strategy for Disaster Reduction. 2006. Developing Early Warning Systems: A Checklist. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. EWC III Third International Conference on Early Warning. Disponible en: <http://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/checklist/English.pdf>

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. s.f. Undrr.org. (Consultado: el 29 de mayo de 2023). Disponible en: <https://www.undrr.org/terminology/early-warning-system>

Universidad de Costa Rica. 2016. CIA actualiza mapa digital de suelos de Costa Rica. Consultado el 24 de mayo del 2023. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2016/08/04/cia-actualiza-mapa-digital-de-suelos-de-costa-rica.html>.

Universidad de Costa Rica. 2016. CIA actualiza Mapa Digital de Suelos de Costa Rica. Consultado el 18 de junio. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2016/08/04/cia-actualiza-mapa-digital-de-suelos-de-costa-rica.html>

Universidad de Veracruz y Coordinación Universitaria de Observatorios Metropolitanos, s.f. Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS, P. 1-2. Disponible en: <https://www.uv.mx/cuo/files/2013/05/Manual-QGIS-CUOM.pdf>

Universidad Nacional del Nordeste. S.f. Procesamiento de los datos de precipitación. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56353057/doc_hidrologia-libre.pdf?1524084740=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDoc_hidrologia.pdf&Expires=1687664551&Signature=ZWt2ySVXufhOAX8LfUIYfAdLg3U8c69IkO9uN8NUuxPQueVVTaP22brLoOj3x-TO2O8e68boJJct4h5Rw~Gt-R53104VfZdAHk4O2G60lmcIOErEc90LPuwhP5UWH84hjqG15rsqGzinkQhgRAqwyC-CpfPmeGeO8cibaWovOc1OrPskET09QhIxW~R2qDpL6gbsEp0q3ZNSzIInlERFvDGrXYtbWtw2hAKZckx2JmFrBF7Fmb3R4SMkIWwGmzSzKESvJ4942VXpT9~UdlfSPVO~x8DW71fiaG8x2gz54FciwCA~JL04qgiiLEvCquJWBHtGgFXhbFNK57555dwqA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Vallejos, S., Esquivel, L., e Hidalgo, M. 2017. *Eventos Hidrometeorológicos. Histórico de Desastres en Costa Rica*, San José, C.R.: CNE
- Vélez Upegui, J. J., y Botero Gutiérrez, A. 2011. Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. *Dyna*, 78(165), p. 59. (Consultado: el 25 de mayo de 2023). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v78n165/a06v78n165.pdf>
- Vidaurre, J. F. H., y Cruzado, S. 2019. Hietograma e hidrograma unitario de tormentas de la microcuenca Tres Ríos. Cajamarca. *Revista Caxamarca*, 18(1-2), p. 15. Disponible en: <file:///C:/Users/User/Downloads/75-Texto%20del%20art%C3%ADculo-329-1-10-20210212.pdf>
- Villalobos, W. 2017. *Inundaciones obligan a abrir albergues y cerrar rutas en Guanacaste*, La Voz de Guanacaste, Obtenido de La Voz de Guanacaste: <https://vozdeguanacaste.com/inundaciones-obligan-a-abrir-albergues-y-cerrar-rutas-en-guanacaste/>
- Villón, M. 2004. *Hidrología*, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago.
- Viramontes-Olivas, Ó. A., Escoboza-García, LF, Álvarez, CP, Álvarez, AP, Reyes-Gómez, VM, y Pérez-Márquez, A. 2007. Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua*, 1 (3), p. 24. (Consultado: el 25 de mayo de 2023). Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/a6cb/3ed3665aa65eae79f20e7448ba9d4c819778.pdf>

9. Anexos

Anexo 1. Valores de los hietogramas característicos usando la estación Sardinal.

| Tiempo (min) | Nate | 2019 | Marco |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Distribución % | Distribución % | Distribución % |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 5 | 0.000 | 0.000 | 0.054 |
| 10 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 20 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 25 | 0.000 | 0.000 | 0.054 |
| 30 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 35 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 40 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 45 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 50 | 0.000 | 0.000 | 0.054 |
| 55 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 60 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 65 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 70 | 0.076 | 0.000 | 0.000 |
| 75 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 80 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 85 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 90 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 95 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 100 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 105 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 110 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 115 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 120 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 125 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 130 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 135 | 0.000 | 0.000 | 0.054 |
| 140 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 145 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 150 | 0.000 | 0.000 | 0.054 |
| 155 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 160 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 165 | 0.076 | 0.000 | 0.107 |
| 170 | 0.000 | 0.000 | 0.536 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 175 | 0.000 | 0.000 | 0.482 |
| 180 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 185 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 190 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 195 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 200 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 205 | 0.000 | 0.000 | 0.107 |
| 210 | 0.000 | 0.000 | 0.054 |
| 215 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 220 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 225 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 230 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 235 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 240 | 0.038 | 0.000 | 0.161 |
| 245 | 0.000 | 0.000 | 1.821 |
| 250 | 0.000 | 0.000 | 4.124 |
| 255 | 0.000 | 0.000 | 1.714 |
| 260 | 0.000 | 0.000 | 0.161 |
| 265 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 270 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 275 | 0.076 | 0.000 | 0.054 |
| 280 | 0.000 | 0.000 | 0.321 |
| 285 | 0.190 | 0.000 | 1.875 |
| 290 | 0.418 | 0.000 | 1.768 |
| 295 | 1.748 | 0.000 | 4.124 |
| 300 | 1.862 | 0.000 | 2.035 |
| 305 | 0.494 | 0.000 | 0.643 |
| 310 | 0.266 | 0.000 | 0.375 |
| 315 | 0.076 | 0.000 | 1.178 |
| 320 | 0.114 | 0.000 | 0.375 |
| 325 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 330 | 0.038 | 0.000 | 0.107 |
| 335 | 0.000 | 0.000 | 0.803 |
| 340 | 0.722 | 0.000 | 2.035 |
| 345 | 1.254 | 0.000 | 0.750 |
| 350 | 1.140 | 0.000 | 0.321 |
| 355 | 1.444 | 0.000 | 0.643 |
| 360 | 0.570 | 0.000 | 0.964 |
| 365 | 0.418 | 0.000 | 0.696 |
| 370 | 0.304 | 0.000 | 0.536 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 375 | 0.152 | 0.000 | 0.964 |
| 380 | 0.190 | 0.000 | 0.536 |
| 385 | 0.114 | 0.000 | 1.446 |
| 390 | 0.722 | 0.000 | 1.232 |
| 395 | 1.634 | 0.000 | 1.339 |
| 400 | 1.786 | 0.000 | 1.125 |
| 405 | 1.216 | 0.000 | 0.643 |
| 410 | 1.824 | 0.000 | 0.214 |
| 415 | 1.748 | 0.000 | 0.107 |
| 420 | 0.722 | 0.000 | 1.768 |
| 425 | 0.684 | 0.000 | 2.464 |
| 430 | 1.938 | 0.000 | 2.303 |
| 435 | 1.786 | 0.000 | 0.589 |
| 440 | 1.862 | 0.000 | 0.428 |
| 445 | 1.634 | 0.000 | 0.964 |
| 450 | 1.938 | 0.000 | 1.285 |
| 455 | 2.242 | 0.000 | 1.660 |
| 460 | 1.368 | 0.000 | 2.303 |
| 465 | 0.418 | 0.000 | 2.357 |
| 470 | 0.038 | 0.000 | 1.875 |
| 475 | 0.076 | 0.000 | 1.768 |
| 480 | 0.076 | 0.000 | 1.178 |
| 485 | 0.000 | 0.000 | 0.964 |
| 490 | 0.038 | 0.000 | 2.571 |
| 495 | 1.482 | 0.000 | 1.928 |
| 500 | 1.368 | 0.000 | 1.018 |
| 505 | 1.368 | 0.000 | 1.071 |
| 510 | 1.634 | 0.000 | 1.125 |
| 515 | 1.102 | 0.000 | 0.803 |
| 520 | 1.482 | 0.000 | 0.803 |
| 525 | 1.026 | 0.000 | 0.536 |
| 530 | 0.532 | 0.000 | 0.214 |
| 535 | 1.102 | 0.000 | 0.107 |
| 540 | 1.292 | 0.000 | 0.107 |
| 545 | 0.418 | 0.000 | 0.054 |
| 550 | 0.608 | 0.000 | 0.107 |
| 555 | 1.140 | 0.000 | 0.054 |
| 560 | 1.368 | 0.000 | 0.107 |
| 565 | 1.406 | 0.000 | 0.054 |
| 570 | 1.178 | 0.000 | 0.000 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 575 | 0.798 | 0.000 | 0.000 |
| 580 | 0.684 | 0.000 | 0.000 |
| 585 | 0.950 | 0.000 | 0.000 |
| 590 | 0.456 | 0.000 | 0.000 |
| 595 | 0.646 | 0.000 | 0.000 |
| 600 | 0.798 | 0.000 | 0.000 |
| 605 | 0.646 | 0.000 | 0.000 |
| 610 | 0.114 | 0.000 | 0.000 |
| 615 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 620 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 625 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 630 | 0.076 | 0.000 | 0.000 |
| 635 | 0.152 | 0.000 | 0.000 |
| 640 | 0.304 | 0.000 | 0.000 |
| 645 | 0.190 | 0.000 | 0.000 |
| 650 | 0.076 | 0.000 | 0.000 |
| 655 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 660 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 665 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 670 | 0.000 | 1.348 | 0.000 |
| 675 | 0.000 | 6.739 | 0.000 |
| 680 | 0.000 | 4.043 | 0.000 |
| 685 | 0.000 | 3.639 | 0.000 |
| 690 | 0.000 | 2.022 | 0.000 |
| 695 | 0.000 | 1.078 | 0.000 |
| 700 | 0.304 | 0.404 | 0.000 |
| 705 | 1.254 | 1.078 | 0.000 |
| 710 | 0.608 | 1.752 | 0.000 |
| 715 | 0.228 | 2.022 | 0.000 |
| 720 | 0.114 | 1.078 | 0.000 |
| 725 | 0.076 | 1.213 | 0.000 |
| 730 | 0.038 | 0.943 | 0.000 |
| 735 | 0.038 | 2.022 | 0.000 |
| 740 | 0.000 | 2.291 | 0.000 |
| 745 | 0.000 | 1.617 | 0.000 |
| 750 | 0.000 | 0.539 | 0.000 |
| 755 | 0.000 | 0.270 | 0.000 |
| 760 | 0.000 | 0.135 | 0.000 |
| 765 | 0.000 | 0.135 | 0.000 |
| 770 | 0.000 | 0.135 | 0.000 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| 775 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 780 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 785 | 0.152 | 0.000 | 0.000 |
| 790 | 0.038 | 0.135 | 0.000 |
| 795 | 0.114 | 0.000 | 0.000 |
| 800 | 0.380 | 0.135 | 0.000 |
| 805 | 0.342 | 0.000 | 0.000 |
| 810 | 0.418 | 0.000 | 0.000 |
| 815 | 0.304 | 0.000 | 0.000 |
| 820 | 0.266 | 0.000 | 0.000 |
| 825 | 0.152 | 0.000 | 0.000 |
| 830 | 0.152 | 0.000 | 0.000 |
| 835 | 0.152 | 0.000 | 0.000 |
| 840 | 0.228 | 0.000 | 0.000 |
| 845 | 0.684 | 0.000 | 0.000 |
| 850 | 0.950 | 0.000 | 0.000 |
| 855 | 1.710 | 0.000 | 0.000 |
| 860 | 1.026 | 0.000 | 0.000 |
| 865 | 1.026 | 0.000 | 0.000 |
| 870 | 0.798 | 0.000 | 0.000 |
| 875 | 0.532 | 0.000 | 0.000 |
| 880 | 0.076 | 0.000 | 0.000 |
| 885 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 890 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 895 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 900 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 905 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 910 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 915 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 920 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 925 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 930 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 935 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 940 | 0.038 | 0.000 | 0.000 |
| 945 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 950 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 955 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 960 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 965 | 0.076 | 0.000 | 0.000 |
| 970 | 0.076 | 0.000 | 0.000 |

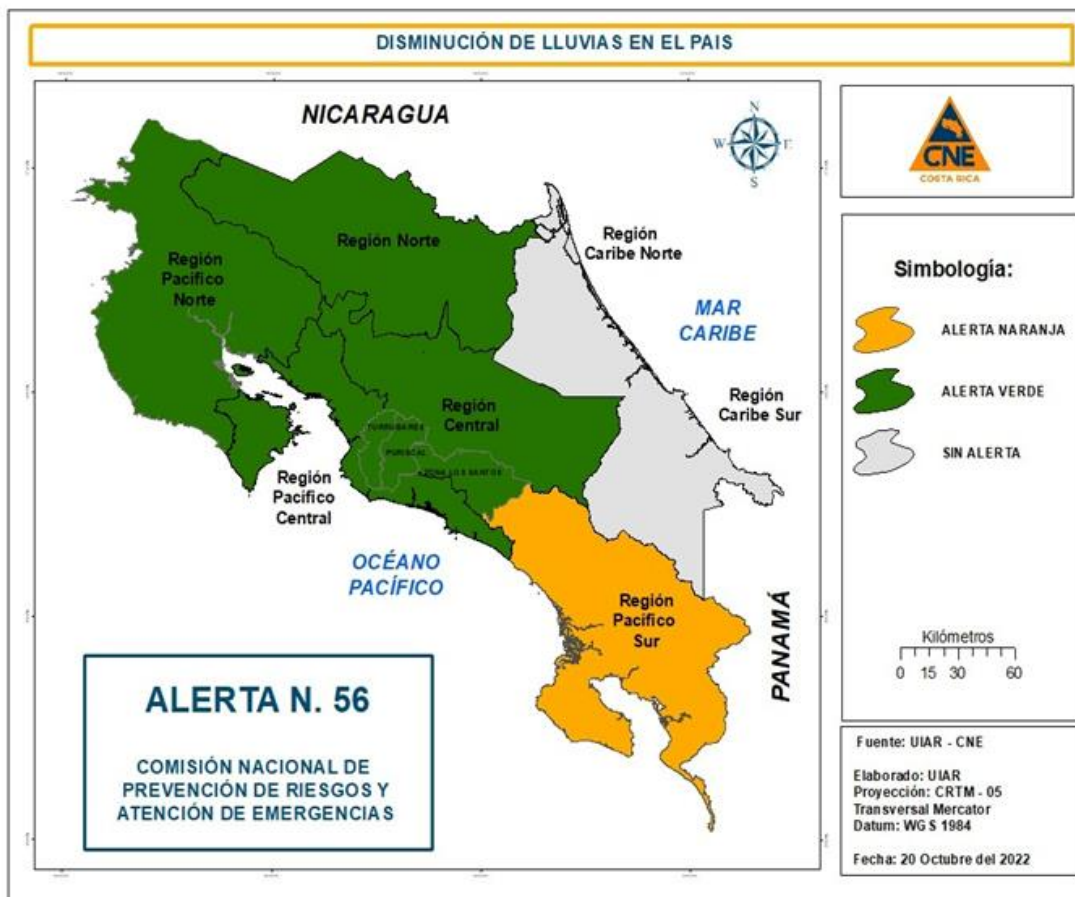
| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 975 | 0.076 | 0.000 | 0.000 |
| 980 | 0.114 | 0.000 | 0.000 |
| 985 | 0.114 | 0.000 | 0.000 |
| 990 | 0.114 | 0.270 | 0.000 |
| 995 | 0.152 | 0.539 | 0.000 |
| 1000 | 0.076 | 4.852 | 0.000 |
| 1005 | 0.076 | 1.752 | 0.000 |
| 1010 | 0.038 | 1.213 | 0.000 |
| 1015 | 0.038 | 0.674 | 0.000 |
| 1020 | 0.038 | 0.943 | 0.000 |
| 1025 | 0.000 | 1.482 | 0.000 |
| 1030 | 0.038 | 3.100 | 0.000 |
| 1035 | 0.038 | 2.830 | 0.000 |
| 1040 | 0.038 | 1.213 | 0.000 |
| 1045 | 0.038 | 0.809 | 0.000 |
| 1050 | 0.038 | 0.809 | 0.000 |
| 1055 | 0.038 | 0.809 | 0.000 |
| 1060 | 0.000 | 0.270 | 0.000 |
| 1065 | 0.000 | 0.404 | 0.000 |
| 1070 | 0.000 | 1.617 | 0.000 |
| 1075 | 0.000 | 2.426 | 0.000 |
| 1080 | 0.076 | 2.426 | 0.000 |
| 1085 | 1.064 | 2.561 | 0.000 |
| 1090 | 1.520 | 1.617 | 0.000 |
| 1095 | 0.760 | 2.965 | 0.000 |
| 1100 | 0.456 | 0.539 | 0.000 |
| 1105 | 0.608 | 0.404 | 0.000 |
| 1110 | 0.456 | 0.539 | 0.000 |
| 1115 | 0.456 | 0.404 | 0.000 |
| 1120 | 0.950 | 0.135 | 0.000 |
| 1125 | 0.646 | 0.135 | 0.000 |
| 1130 | 0.304 | 0.135 | 0.000 |
| 1135 | 0.380 | 0.135 | 0.000 |
| 1140 | 0.228 | 0.000 | 0.000 |
| 1145 | 0.760 | 0.135 | 0.000 |
| 1150 | 0.760 | 0.135 | 0.000 |
| 1155 | 0.646 | 0.135 | 0.000 |
| 1160 | 0.380 | 0.270 | 0.000 |
| 1165 | 0.418 | 0.674 | 0.000 |
| 1170 | 0.418 | 0.270 | 0.000 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1175 | 0.912 | 0.000 | 0.054 |
| 1180 | 1.520 | 0.000 | 0.000 |
| 1185 | 1.330 | 0.000 | 0.000 |
| 1190 | 1.064 | 0.135 | 0.054 |
| 1195 | 0.456 | 0.000 | 0.000 |
| 1200 | 0.304 | 0.000 | 0.000 |
| 1205 | 0.266 | 0.135 | 0.054 |
| 1210 | 0.304 | 0.270 | 0.054 |
| 1215 | 0.190 | 0.404 | 0.161 |
| 1220 | 0.152 | 0.270 | 0.214 |
| 1225 | 0.152 | 0.135 | 0.268 |
| 1230 | 0.190 | 0.270 | 0.107 |
| 1235 | 0.266 | 0.404 | 0.321 |
| 1240 | 0.190 | 1.078 | 2.303 |
| 1245 | 0.152 | 2.022 | 2.999 |
| 1250 | 0.190 | 4.582 | 1.768 |
| 1255 | 0.190 | 3.235 | 3.107 |
| 1260 | 0.266 | 2.561 | 3.482 |
| 1265 | 0.228 | 1.213 | 0.696 |
| 1270 | 0.228 | 0.539 | 2.089 |
| 1275 | 0.228 | 0.135 | 3.160 |
| 1280 | 0.646 | 0.539 | 2.999 |
| 1285 | 0.342 | 0.809 | 1.982 |
| 1290 | 0.228 | 0.404 | 1.821 |
| 1295 | 0.152 | 0.404 | 1.553 |
| 1300 | 0.190 | 0.135 | 1.018 |
| 1305 | 0.152 | 0.404 | 0.214 |
| 1310 | 0.190 | 0.404 | 0.054 |
| 1315 | 0.114 | 0.135 | 0.054 |
| 1320 | 0.114 | 0.135 | 0.054 |
| 1325 | 0.152 | 0.270 | 0.000 |
| 1330 | 0.152 | 0.135 | 0.054 |
| 1335 | 0.114 | 0.000 | 0.000 |
| 1340 | 0.152 | 0.135 | 0.000 |
| 1345 | 0.152 | 0.000 | 0.000 |
| 1350 | 0.190 | 0.270 | 0.000 |
| 1355 | 0.152 | 0.539 | 0.000 |
| 1360 | 0.190 | 0.674 | 0.000 |
| 1365 | 0.114 | 0.270 | 0.000 |
| 1370 | 0.190 | 0.270 | 0.000 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 1375 | 0.190 | 0.270 | 0.000 |
| 1380 | 0.304 | 0.135 | 0.000 |
| 1385 | 0.228 | 0.000 | 0.000 |
| 1390 | 0.190 | 0.135 | 0.000 |
| 1395 | 0.152 | 0.135 | 0.000 |
| 1400 | 0.228 | 0.135 | 0.000 |
| 1405 | 0.228 | 0.539 | 0.000 |
| 1410 | 0.190 | 0.404 | 0.000 |
| 1415 | 0.190 | 0.135 | 0.000 |
| 1420 | 0.152 | 0.135 | 0.000 |
| 1425 | 0.190 | 0.000 | 0.000 |
| 1430 | 0.114 | 0.135 | 0.000 |
| 1435 | 0.190 | 0.135 | 0.000 |

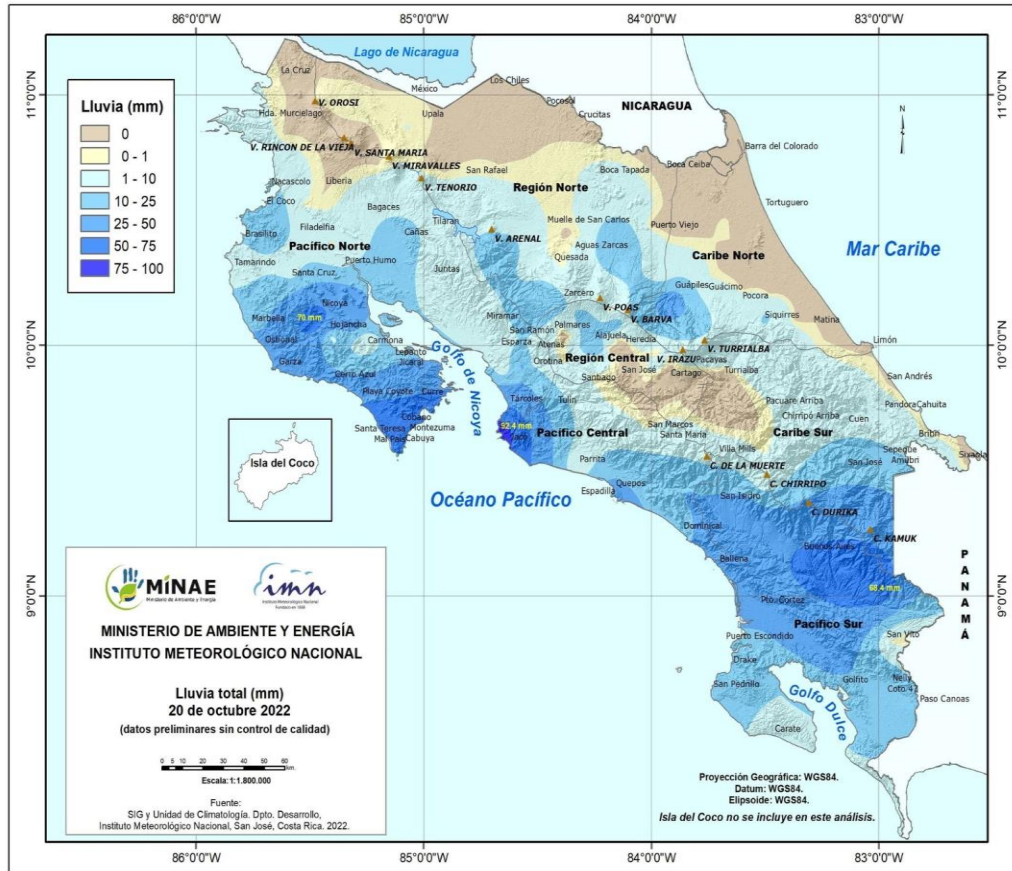
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Anexo 2: Mapa de alerta utilizado para determinar el umbral de alerta verde.



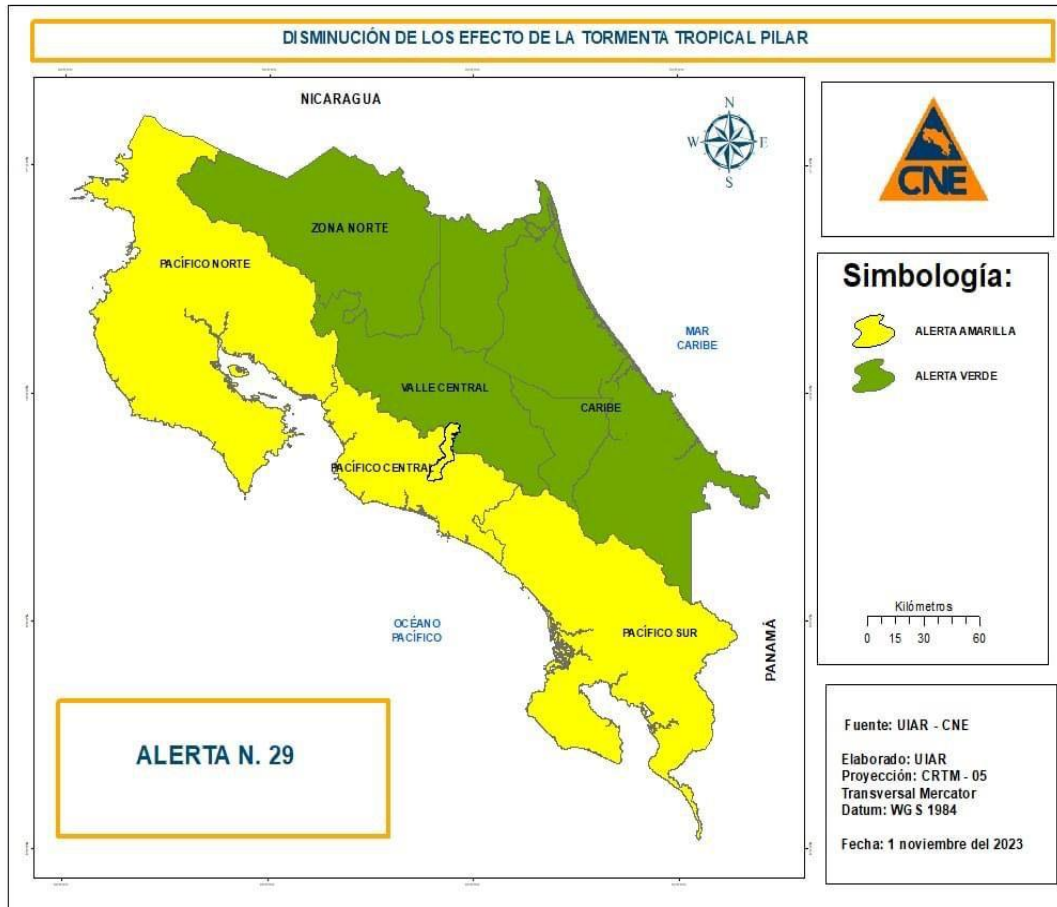
Fuente: CNE, 2022.

Anexo 3: Mapa de precipitación utilizado para asociar la alerta verde.



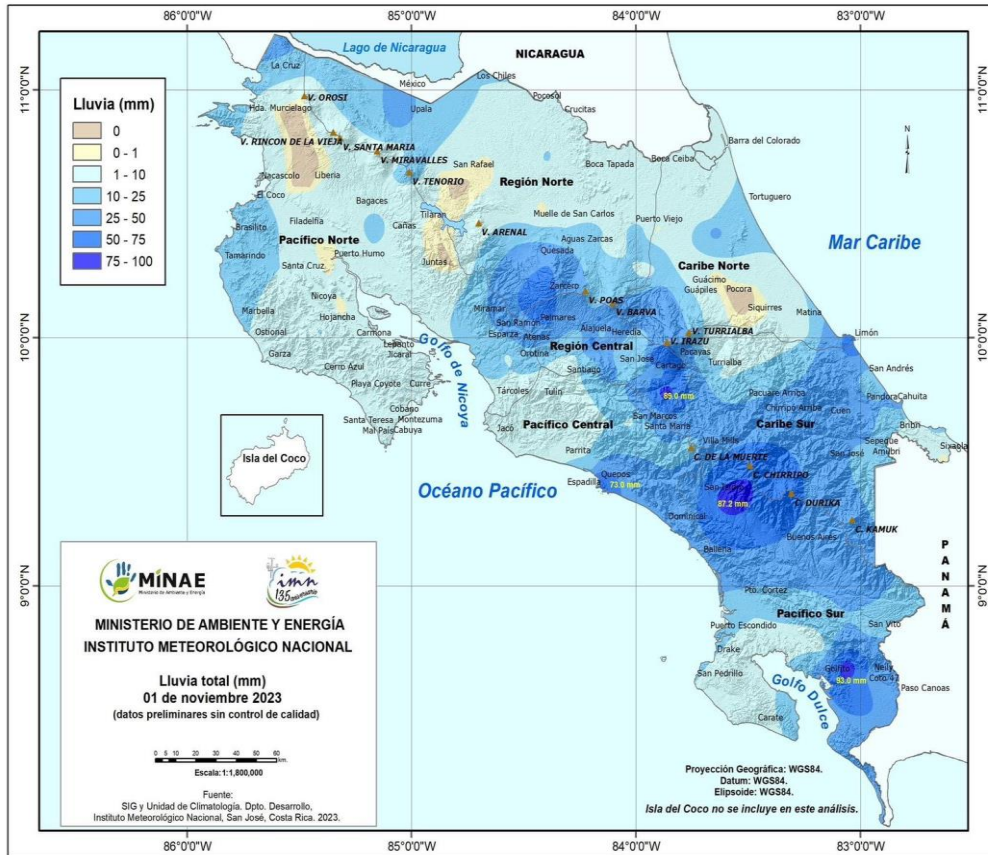
Fuente: IMN, 2022.

Anexo 4. Mapa de alerta utilizado para determinar el umbral de alerta amarilla.



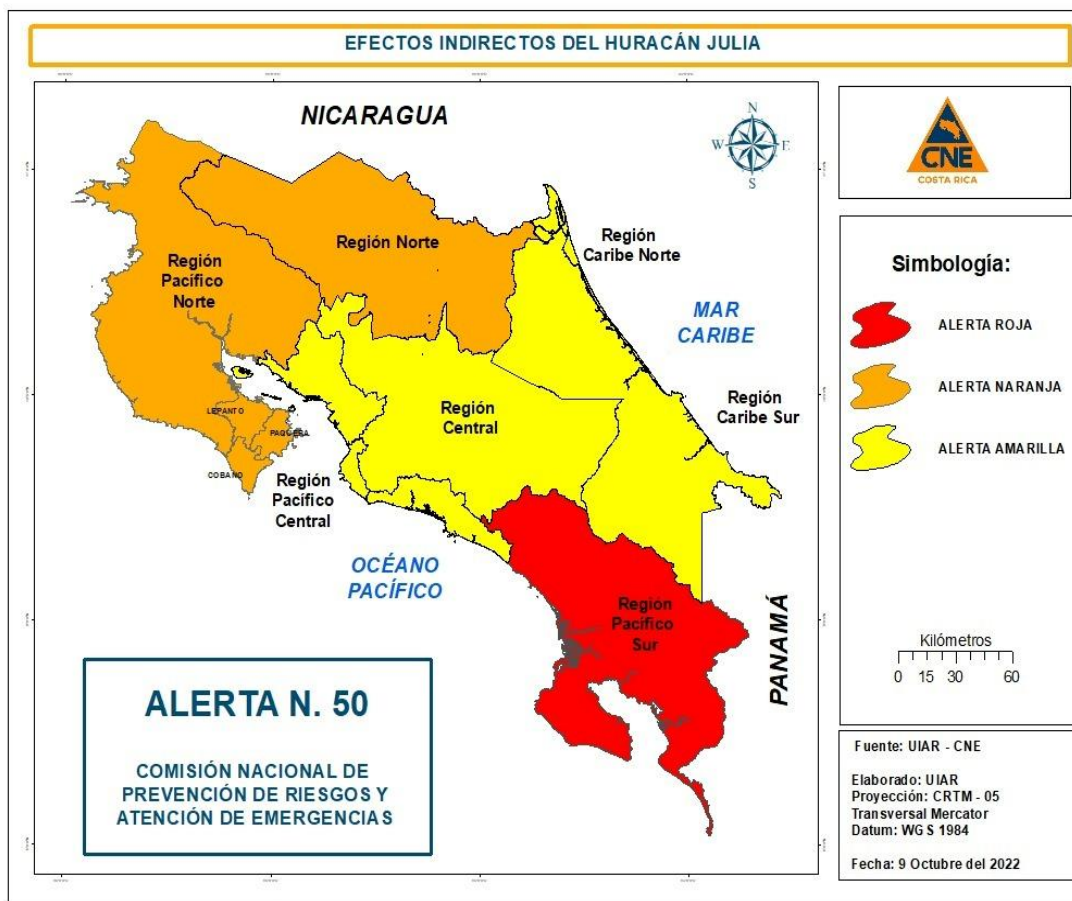
Fuente: CNE, 2023.

Anexo 5. Mapa de precipitación utilizado para asociar la alerta amarilla.



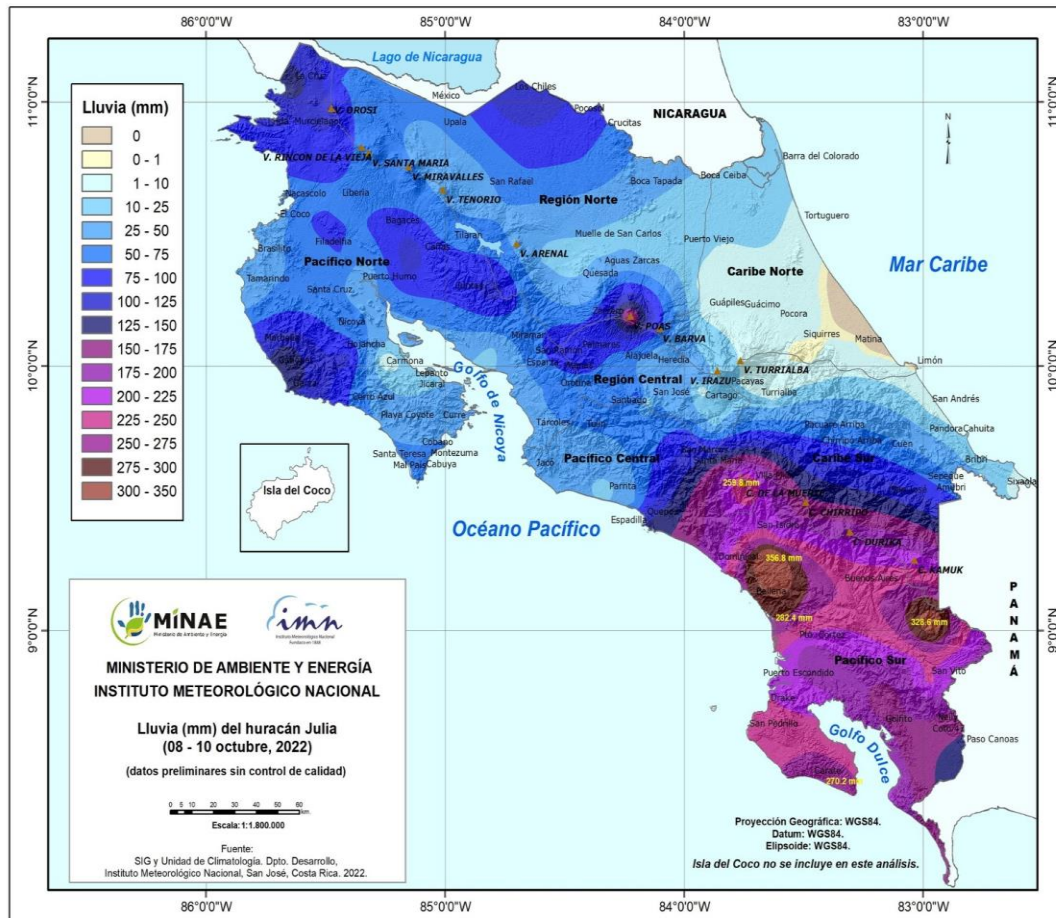
Fuente: IMN, 2023.

Anexo 6: Mapa de alerta utilizado para determinar el umbral de alerta naranja.



Fuente: CNE, 2022.

Anexo 7: Mapa de precipitación utilizado para asociar la alerta naranja.



Fuente: IMN, 2022.

Anexo 8: Entrevista semiestructurada.

Título de la entrevista: Consulta sobre el daño que provocan las inundaciones en el barrio El Bambú.

¿Cuál es su nombre?

¿Cuánto tiempo lleva viviendo en este barrio?

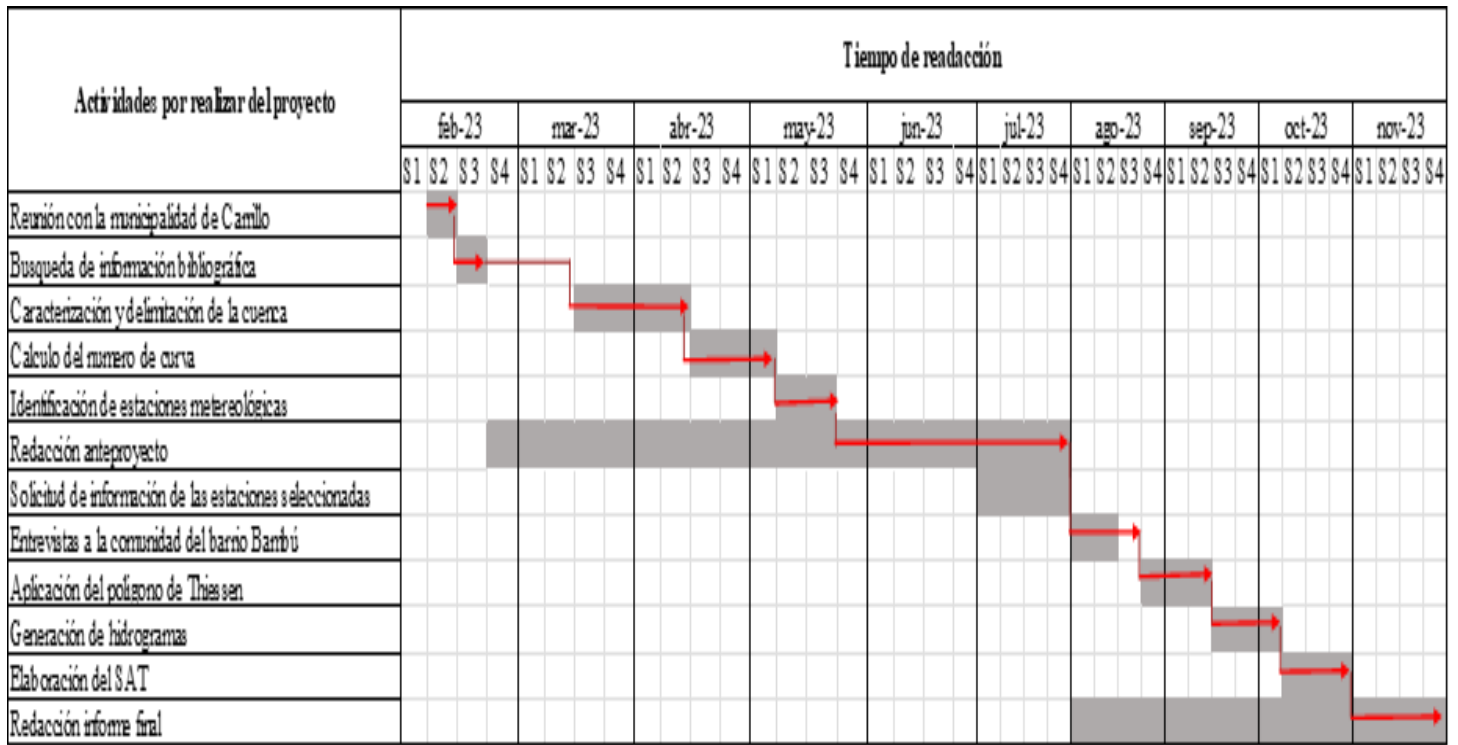
¿Qué tan frecuente ocurre una inundación? ¿Y considera que su periodicidad ha aumentado?

¿Recuerda cuáles son las fechas de los eventos que han tenido más afectación?

¿Qué tanto ha tenido que invertir económicamente con cada desastre?

¿Qué tantas pérdidas le han generado las inundaciones?

Anexo 9: Cronograma de actividades del proyecto y ruta crítica.



Fuente: Matamoros-Montoya y Zeledón, 2023.