



**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**“ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE**  
**AMENAZA DE INUNDACIONES DEL RÍO TULÍN PARA LA POBLACIÓN DE**  
**SAN ANTONIO DE TULÍN”**

**AUTOR:**

**JUAN ESTEBAN MOREIRA ARAYA**

**HEREDIA, COSTA RICA**

**11 DE ENERO DEL 2022**



## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “**Análisis hidrológico y actualización de mapas de amenaza de inundaciones del Río Tulín para la población de San Antonio**”, por el (la) estudiante: Juan Esteban Moreira Araya, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

---

Alberto González Solera

Tutor

---

Leonardo Moya González

Lector

---

José María Ulate Zárata

Representante



## COMITÉ ASESOR

---

Ing. Alberto González Solera

Tutor

---

Ing. Leonardo Moya González

Lector

---

Ing. José Ulate Zárate

Representante

## CARTA DE FILÓLOGA

Heredia, 22 de diciembre del 2021

Señores (as)  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Información  
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores (as)

La suscrita Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad No. 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento que lleva por título **“ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA DE INUNDACIONES DEL RÍO TULÍN PARA LA POBLACIÓN DE SAN ANTONIO DE TULÍN”**, del estudiante **Juan Esteban Moreira Araya**, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente

Firmado por EDITH RAISSA PIZARRO ALFARO (FIRMA)  
PERSONA FÍSICA, CPF-04-0178-0133. Fecha declarada: 22/12/2021 08:02 PM  
Esta representación visual no es una fuente de confianza, valide siempre la firma.

---

Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro

Código 35554

## “Carta autorización del autor (es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016, revisada el 24 de Abril de 2020

*Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.*

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Moreira Araya, Juan Esteban.

De la Carrera / Programa:

autor(es) del trabajo final de graduación titulado:

Licenciatura en ingeniería civil.

ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA DE INUNDACIONES DEL RÍO TULÍN PARA LA POBLACIÓN DE SAN ANTONIO DE TULÍN

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página Web institucional, así como medios electrónicos en general, Internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo a lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de la misma.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 26 del mes 12 de año 2021 a las 14:00. Asimismo doy fe de la veracidad de los datos incluidos en el documento y eximo a la Universidad de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores

Según orden de mención al inicio de ésta carta:

JUAN ESTEBAN  
MOREIRA  
ARAYA (FIRMA)

Firmado digitalmente  
por JUAN ESTEBAN  
MOREIRA ARAYA  
(FIRMA)  
Fecha: 2021.12.26  
14:04:09 -06'00'



UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA



CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN

Heredia, 27 de diciembre del 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA DE INUNDACIONES DEL RÍO TULÍN PARA LA POBLACIÓN DE SAN ANTONIO DE TULÍN**, elaborado por el estudiante: Juan Esteban Moreira Araya, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado de licenciatura, con énfasis en Ingeniería civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

**ALBERTO  
GONZALEZ  
SOLERA  
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por ALBERTO  
GONZALEZ SOLERA (FIRMA)  
Nombre de reconocimiento (DN):  
serialNumber=CPF-01-0919-0803,  
sn=GONZALEZ SOLERA,  
givenName=ALBERTO, c=CR, o=PERSONA  
FISICA, ou=CIUDADANO, cn=ALBERTO  
GONZALEZ SOLERA (FIRMA)  
Fecha: 2021.12.27 10:29:37 -06'00'  
Versión de Adobe Acrobat: 2015.007.00000

Esp. Ing. Alberto González Solera  
IC-16251  
Consultor Ambiental CI-232-2015-SETENA  
Fiscal de Inversión CFIA/ Perito Poder Judicial.

Heredia, 27 de diciembre del 2021

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD


Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y ACTUALIZACIÓN DE MAPAS DE AMENAZA DE INUNDACIONES DEL RÍO TULÍN PARA LA POBLACIÓN DE SAN ANTONIO DE TULÍN**, elaborado por el estudiante: Juan Esteban Moreira Araya, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado de licenciatura, con énfasis en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

LEONARDO  
MOYA  
GONZALEZ  
(FIRMA)



Firmado digitalmente por LEONARDO MOYA GONZALEZ (FIRMA)  
DN: SERIALNUMBER=CPF-01-0406-0491, SH=MOYA GONZALEZ, G=LEONARDO, C=CR, O=PERSONA FISICA, OU=CIUDADANO, CN=LEONARDO MOYA GONZALEZ (FIRMA)  
Razón: Soy el autor de este documento  
Ubicación: la ubicación de su firma aquí  
Fecha: 2021.12.27 17:24:28-0600'  
Foxit PDF Reader Versión: 11.1.0

Ing. Leonardo Moya González

Lector

## Resumen

El presente documento se encuentra enfatizado en el análisis hidrológico e hidráulico del río Tulín, ubicado en el distrito de Turrubares, provincia de San José, Costa Rica, más resaltado en las mediaciones del pueblo de San Antonio de Tulín. Este río ha presentado inundaciones en épocas anteriores, de las cuales se han registrado elevaciones del nivel del agua significativas, además existe la desactualización de los mapas de amenaza inundaciones, por estos motivos y el peligro latente que tiene la población, se realizará dicho estudio y actualización de base de datos de las posibles zonas que presenten amenazas de inundaciones para los próximos 5, 10, 15, 25 y 50 años. Este resultado busca la utilización de programas computacionales como son el HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM, ArcMap los cuales ayudarán en la modelación de la cuenca del río, para esto se analizará el escurrimiento local de la cuenca para estudiar la cantidad de agua que está ingresando al río ajeno a la naciente; para ello se recolectará: registro de lluvias en periodos mensuales de la estación pluviométrica más cercana del poblado, tipo de terreno, topografía, entre otros. Posteriormente por medio del programa HEC-RAS se ingresarán las condiciones generales del sitio y los hietogramas generados para obtener la modelación de la inundación. Por medio del programa de SWMM se ingresarán las mismas condiciones que el programa anteriormente descrito y con esto se busca obtener un control cruzado. Una vez generada la modelación esta se transcribirá a un mapa de inundaciones realizado con el programa ARC-MAP, el cual tendrá la función de advertir a los poblados aledaños, buscando salvar vidas humanas y pérdidas económicas innecesarias. En este tipo de investigación se emplean todos los conocimientos de licenciatura de la carrera ingeniería civil con énfasis a la hidráulica e hidrología. Se debe de ser consciente de la existencia de un porcentaje de error por motivos que se puedan dar con el paso de los años e inclusive por efectos del calentamiento global los cuales afectan directamente al clima o bien este error se puede dar por obras humanas ya sean la construcción de infraestructura o la contaminación que pueda saturar al río.



## Abstract

This document is emphasized in the hydrological and hydraulic analysis of the Tulín river, located in the district of Turubares, San José province, Costa Rica, most highlighted in the mediations of the town of San Antonio de Tulín. This river has presented floods in previous times, of which significant elevations of the channel have been registered, in addition there is an outdated flood threat maps, for these reasons and the latent danger that the population has, said study and update of database of possible areas that present flood threats for the next 5, 10, 15, 25 and 50 years. This result seeks the use of computer programs such as HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM, ArcMap which will help us in the modeling of the river basin, for this the local runoff of the basin will be analyzed to study the quantity of water that is entering the river outside the source; To do this, the following will be collected: rain record in monthly periods of the nearest pluviometric station of the town, type of terrain, topography, among others. Subsequently, through the HEC-RAS program, the general conditions of the site and the hietograms generated will be entered to obtain the flood modeling. Through the SWMM program, the same conditions as the previously described program will be entered and with this, we seek to obtain a cross control. Once the modeling is generated, it will be transcribed into a flood map made with the ARC-MAP program, which will have the function of warning the surrounding towns, seeking to save human lives and unnecessary economic losses. This type of research will use all the knowledge of the civil engineering degree with an emphasis on hydraulics and hydrology. You must be aware of the existence of a percentage of error for reasons that may occur over the years and even for the effects of global warming which directly affect the climate, or this error can be caused by human works either the construction of infrastructure or pollution that could saturate the river.

## ÍNDICE

1.	Capítulo Introductorio .....	1
1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Planteamiento del problema .....	3
1.3.	Objetivo General .....	4
1.4.	Objetivos Específicos.....	4
1.5.	Justificación.....	5
1.6.	Alcances y Limitaciones .....	6
1.6.1.	Alcances .....	6
1.6.2.	Limitaciones .....	7
1.7.	Impacto .....	7
1.8.	Hipótesis.....	8
2.	Marco Teórico .....	8
2.1.	Inundación .....	8
2.2.	Hidrología.....	9
2.3.	Ciclo Hidrológico .....	9
2.4.	Hidráulica Fluvial.....	10
2.5.	Geomorfología Fluvial.....	10
2.6.	Sedimentos .....	10
2.7.	Precipitación .....	11
2.8.	Cálculo de Precipitación Media en una Zona.....	11
2.9.	Hietograma .....	11
2.10.	Hidrograma .....	11
2.11.	Cuenca Hidrográfica.....	12
2.12.	Infiltración.....	13
2.12.1.	Capacidad de Infiltración .....	15
2.12.2.	Velocidad de Infiltración .....	15
2.13.	Precipitación .....	15
2.14.	Características de una Cuenca .....	15
2.14.1.	Área de Drenado .....	15
2.14.2.	Forma de la Cuenca.....	16
2.15.	Periodo de Retorno.....	16
2.16.	Caudal .....	16
2.17.	Escorrentía .....	17
2.17.1.	Factores que afectan la escorrentía.....	17

2.17.2.	Coeficiente de Escorrentía .....	17
2.18.	Tiempo de Concentración (Tc) .....	18
2.19.	Tiempo de Retraso (tr) .....	18
2.20.	Densidad de Drenaje (Dd) .....	18
2.21.	Aforos .....	18
2.22.	Evapotranspiración .....	19
2.23.	Agua Subterránea .....	19
2.24.	Capa Permeable .....	19
2.25.	Capa Semipermeable .....	19
2.26.	Capa Impermeable .....	19
2.27.	Pendiente .....	19
2.28.	Porosidad .....	20
2.29.	Regiones y Subregiones Climáticas .....	20
2.30.	Flujo en Canales Abiertos .....	21
2.31.	Jerarquía de una corriente .....	21
2.32.	Levantamiento Topográfico .....	22
2.33.	Curvas de nivel .....	22
2.34.	Erosión Fluvial .....	22
2.35.	HEC-HMS .....	23
2.36.	HEC-RAS .....	23
2.37.	ArcGIS .....	25
2.38.	SWWM .....	25
2.39.	Mapas de Peligrosidad .....	26
2.39.1.	Zonificación Por Niveles de Peligro .....	26
2.40.	Instrumentos de Medición de Lluvia .....	27
2.40.1.	Pluviómetro Digital .....	27
2.40.2.	Pluviógrafo .....	27
2.40.3.	Estación Meteorológica Automática .....	28
2.41.	Cambio climático .....	28
2.42.	Tipos de Ríos .....	28
2.43.	Línea de Energía y Gradiente Hidráulica .....	29
3.	Marco Metodológico .....	29
3.1.	Paradigma .....	29
3.2.	Enfoque Metodológico .....	30
3.3.	Métodos de Investigación .....	30

3.4.	Categorías de Análisis de la Investigación .....	30
3.5.	Población y Muestra .....	30
3.5.1.	Población.....	30
3.5.2.	Muestra.....	30
3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	31
3.7.	Técnicas e Instrumentación para el Procedimiento y Análisis de datos.....	32
3.8.	Delimitación de la Cuenca.....	32
3.9.	Parámetros de la Cuenca .....	35
3.10.	Curva IDF.....	36
3.11.	Modelado de programas.....	38
3.11.1.	Modelado HEC-HMS.....	38
3.11.2.	Modelado HEC-RAS.....	42
4.	Análisis de resultados .....	43
4.1.	Resultados HEC-HMS .....	43
4.2.	Resultados HEC-RAS.....	47
4.3.	Comparativa CNE contra autor .....	57
4.4.	Zonas habitadas comprometidas.....	58
5.	Conclusiones .....	69
6.	Recomendaciones.....	70
7.	Referencias.....	71
8.	Anexos.....	73
9.	Glosario .....	81

#### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> .....	13
<b>Tabla 2</b> .....	35
<b>Tabla 3</b> .....	38
<b>Tabla 4</b> .....	38
<b>Tabla 5</b> .....	40
<b>Tabla 6</b> .....	41
<b>Tabla 7</b> .....	42
<b>Tabla 8</b> .....	46
<b>Tabla 9</b> .....	47
<b>Tabla 10</b> .....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 .....	2
<b>Ilustración 2</b> .....	<b>12</b>
<b>Ilustración 3</b> .....	<b>13</b>
<b>Ilustración 4</b> .....	<b>15</b>
<b>Ilustración 5</b> .....	<b>21</b>
<b>Ilustración 6</b> .....	<b>24</b>
<b>Ilustración 7</b> .....	<b>25</b>
<b>Ilustración 8</b> .....	<b>27</b>
<b>Ilustración 9</b> .....	<b>29</b>
<b>Ilustración 9</b> .....	<b>31</b>
<b>Ilustración 10</b> .....	<b>33</b>
<b>Ilustración 11</b> .....	<b>34</b>
<b>Ilustración 12</b> .....	<b>34</b>
<b>Ilustración 14</b> .....	<b>36</b>
<b>Ilustración 15</b> .....	<b>39</b>
<b>Ilustración 16</b> .....	<b>40</b>
<b>Ilustración 17</b> .....	<b>41</b>
<b>Ilustración 18</b> .....	<b>43</b>
<b>Ilustración 19</b> .....	<b>44</b>
<b>Ilustración 20</b> .....	<b>44</b>
<b>Ilustración 21</b> .....	<b>45</b>
<b>Ilustración 22</b> .....	<b>45</b>
<b>Ilustración 23</b> .....	<b>48</b>
<b>Ilustración 24</b> .....	<b>49</b>
<b>Ilustración 25</b> .....	<b>50</b>
<b>Ilustración 26</b> .....	<b>51</b>
<b>Ilustración 27</b> .....	<b>52</b>
<b>Ilustración 28</b> .....	<b>53</b>
<b>Ilustración 29</b> .....	<b>55</b>
<b>Ilustración 30</b> .....	<b>56</b>
<b>Ilustración 31</b> .....	<b>57</b>
<b>Ilustración 32</b> .....	<b>58</b>
<b>Ilustración 33</b> .....	<b>59</b>
<b>Ilustración 34</b> .....	<b>60</b>
<b>Ilustración 35</b> .....	<b>61</b>
<b>Ilustración 36</b> .....	<b>62</b>
<b>Ilustración 37</b> .....	<b>63</b>
<b>Ilustración 38</b> .....	<b>64</b>
<b>Ilustración 39</b> .....	<b>65</b>
<b>Ilustración 40</b> .....	<b>66</b>
<b>Ilustración 41</b> .....	<b>67</b>
<b>Ilustración 42</b> .....	<b>68</b>
<b>Ilustración 43</b> .....	<b>73</b>
<b>Ilustración 44</b> .....	<b>74</b>
<b>Ilustración 45</b> .....	<b>74</b>

<b>Ilustración 46</b> .....	75
<b>Ilustración 47</b> .....	76
<b>Ilustración 48</b> .....	77
<b>Ilustración 49</b> .....	78
<b>Ilustración 50</b> .....	79
<b>Ilustración 51</b> .....	80

## 1. Capítulo Introductorio

### 1.1. Antecedentes

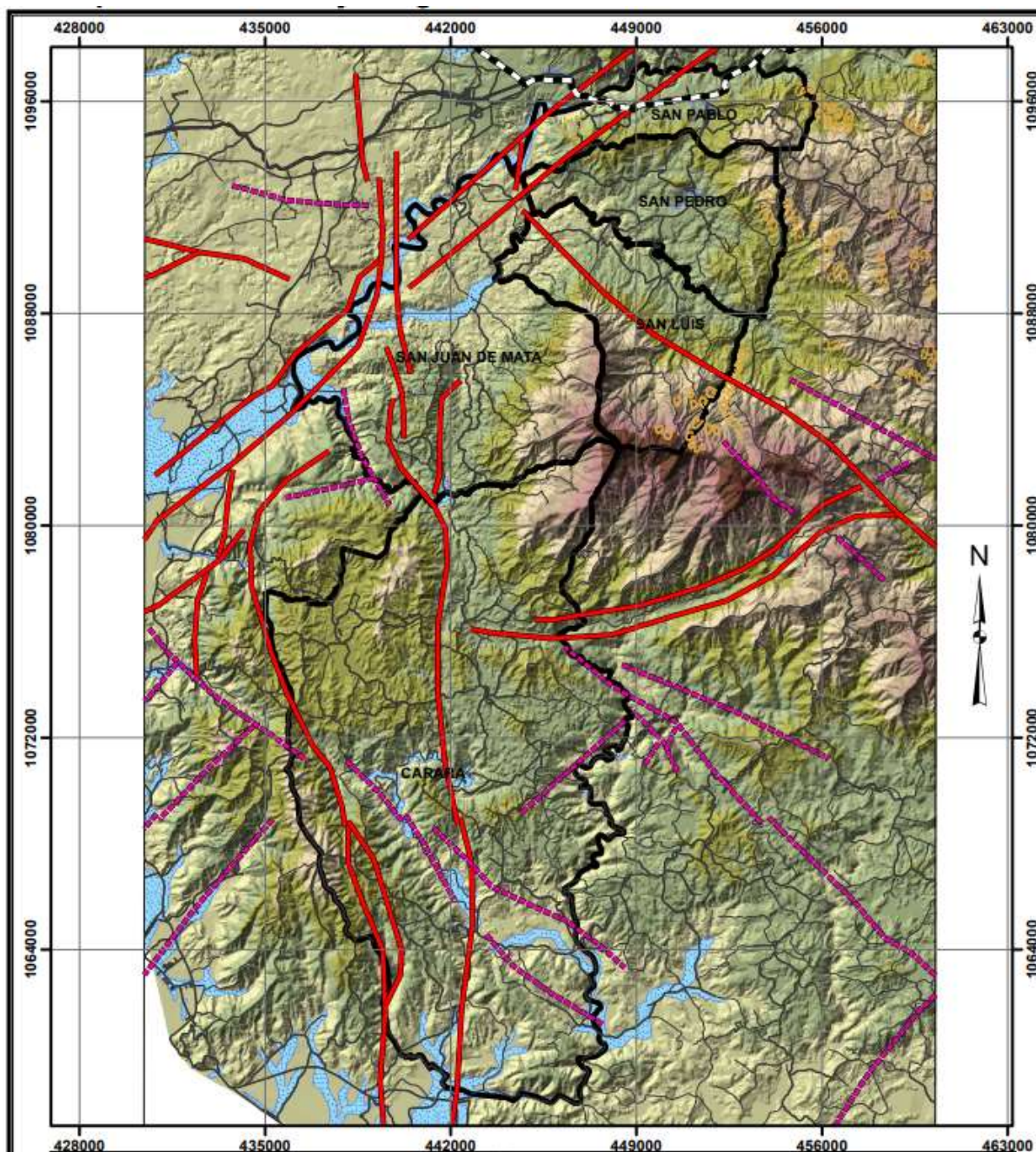
El crecimiento de la población tiene una constancia de que todas esas nuevas familias necesitan nuevos hogares e infraestructura para crecer, expandiéndose cada vez más de los centros de poblaciones e ignorando los peligros que implican a futuro, como lo es habitar a orillas de un río con peligro de inundación.

En Costa Rica la cantidad de cuencas hidrográficas es superior que otras naciones y por este motivo se realizan investigaciones y creaciones de mapas de alerta similares a este a elaborar, téngase como ejemplo el proyecto de graduación “MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL RÍO CORREDOR, PARA LA DETERMINACIÓN DE SITIOS DE INUNDACIÓN EN EL POBLADO SAN RAFAEL Y ALREDEDORES” de Daem Adriana Delgado Arauz (2021), donde se hace el análisis hidrológico e hidráulico del río Corredor, en el cual se toman gran cantidad de datos con respecto de cómo se comportará el río con base en regresiones de precipitaciones y las tendencias del cauce, llegando a la conclusión por medio del HEC-HMS a que el río tendrá una tendencia de aumento de caudal a los 100 años y una modificación en su recorrido, tomado en cuenta todos estos factores la autora de dicho trabajo da la recomendación de realización de diques.

Con respecto al río Tulín existe un mapa de inundación de la Comisión Nacional de Emergencias, pero no se halla un documento público donde se presente la memoria de cálculo utilizada para esto.

## Ilustración 1

### *Mapa de Amenazas y Peligros Naturales del Cantón de Turrubares*



Fuente: CNE

En el documento “PROPUESTA DE INDICADORES PARA MEDIR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO TULÍN (TUSUBRES)” de Gerardo Cortés Muñoz (2004), se hace un estudio del río Tulín en la sección baja de este donde se toca el tema sobre las problemáticas que tiene un uso



descontrolado del recurso hídrico, en el cual los habitantes cercanos se encuentran realizando un conjunto de actividades como lo son la ganadería, turismo, agricultura entre otros, este descontrol poco a poco va afectando al río, para nuestro interés eso da a entender la gran importancia que tiene este río para los pobladores de la zona los cuales se verían seriamente afectados con los cambios radicales de este.

A nivel internacional se puede apreciar de forma similar el trabajo “GIS-based River Flood Hazard Mapping in Urban Area (A Case Study in Kayu Ara River Basin, Malaysia)” por Alaghmand, Abdullah et al (2010), donde se hace el estudio de inundación de un río en Malasia, en este documento se puede encontrar que los autores por medio del programa HEC-RAS realizan el mapeado del río en el centro de una ciudad con regresiones pluviales de 25, 50 y 100 años, demostrando la seriedad con la que se debe de tomar este trabajo ya que esto implicaría que una ciudad deba de tomar acciones ante estos resultados y esto afectaría socio-económicamente a un poblado. En este documento es posible observar qué cálculos tanto nacionales como internacionales se realizan por una metodología prácticamente idéntica, utilizando programas similares o prácticamente idénticos, al igual de la forma de recolección de datos. Los autores llegan a múltiples conclusiones de las cuales se destacan que con un aumento del uso de la tierra aumenta la impermeabilidad y como resultado se da un aumento en el volumen y pico de descarga del cauce el cual implica, de no tomarse medidas preventivas en el transcurso de los años en los sectores no protegidos, se den inundaciones y en los sectores que no cuente con una adecuada canalización existe la posibilidad de que el terreno se lave y afecte a los habitantes ubicados al lado de este.

## **1.2.Planteamiento del problema**

Nuestro país al estar ubicado en la zona tropical del mundo y en la zona a estudiar la lluvia promedio diaria puede llegar hasta un máximo de 10 mm según el Instituto Meteorológico Nacional (2021). Esto hace de Costa Rica una nación con una gran cantidad de agua surcando nuestro territorio y presentando una gran variedad de problemáticas, entre ellas el aumento de los caudales de los ríos.

En la actualidad gran parte de la población costarricense por desconocimiento, ignorancia o directamente por una cuestión económica, construyen sus proyectos de vida a los límites de los ríos y las instituciones pertinentes al no tener un conocimiento de los peligros que puede tener la población ya que ante ellos se está edificando a una distancia considerablemente larga y sin haber hecho u obtenido un estudio de esto, lo permiten, y en

otros casos pueden hasta llegar a fomentar esto, construyendo infraestructura en puntos sumamente difíciles.

Al momento la población no es consciente de la problemática de vivir cerca de un río, ya sea porque perciben que este tiene un caudal pequeño, o bien se encuentran a una altura de diferencia de este, pero al pasar los años estos cauces comienzan a aumentar y a moverse entre el terreno, cambiando la geografía de este y sus alrededores, esto sucederá lentamente, en términos de años. Como esto sucede tan lento los pobladores no lo verán como un peligro hasta que ya no sea posible tomar medidas preventivas y el terreno comience a ceder.

Históricamente vivir al lado de un río implica que gran parte de la población desarrolla sus vidas en función de este como lo sería la economía, como un recurso, entre otros. Es sumamente importante que la población que habita al lado del río, los que tienen actividades económicas relacionados a este como sería la ganadería y la agricultura deben de ser conscientes del peligro que conlleva desarrollar sus labores a costa de este, ya que su día a día se desenvuelve gracias al recurso hídrico, a la hora de una inundación existe la posibilidad de que este destruya hogares, plantaciones, infraestructura pública, entre otros. Simplemente al verse afectado uno o dos negocios esenciales de la zona implica un alto en las actividades de todos los pobladores y si estas actividades esenciales no son capaces de reactivarse conllevarían a una gran cantidad de personas con desempleo y a su vez si estas no consiguen trabajo en la zona se verán obligadas a buscar nuevas poblaciones con mayor oferta laboral.

Por este motivo se generan las siguientes preguntas: ¿Qué sectores de Carara se encuentran en peligro de inundación?, ¿Existen zonas ya habitadas en peligro?, estas interrogantes nos dan el enfoque del resultado que se pretende responder. Siendo estas las preguntas generales del proyecto las cuales se desarrollarán en diversas nuevas incógnitas.

### **1.3.Objetivo General**

- Analizar hidrológicamente y actualizar los mapas de amenaza de inundaciones del río Tulín para la población de San Antonio de Tulín.

### **1.4.Objetivos Específicos**

- Identificar las características de tipo de terreno, caudal, precipitaciones, uso del terreno y curvas de nivel.
- Crear un grupo de hietogramas con las regresiones pluviales de 5, 10, 15, 25, 50 años, utilizando el programa informático HEC-HMS.

- Realizar un modelo hidráulico para obtener los niveles a los cuales podrá llegar el nivel del agua utilizando el programa informático HEC-RAS.
- Generar un conjunto de mapas actualizados y detallados identificando las zonas pobladas que presenten inundaciones.
- Identificar los puntos que pueden presentar una mayor amenaza a la comunidad.

### **1.5. Justificación**

El proyecto de investigación y creación de mapas de previsión de inundaciones se plantea por el peligro latente de los pobladores de pueblos aledaños al río Tulín, los cuales pueden estar viviendo sin tener el conocimiento de esto, desarrollando sus vidas a costas de este y que en cualquier efímero momento ocurra una tragedia y se dé la pérdida de vidas, las cuales se podrán salvar con un buen plan preventivo el cual nacerá a partir de dicho documento.

Actualmente ya existen registros de inundaciones del río Tulín, pero a la fecha de realizado este proyecto no concurre ningún estudio o mapa con las zonas con mayor problemática de forma detallada, por lo que se enfocará mayormente en la sección del río donde se presente mayor concentración de población, lo que sería la comunidad de San Antonio de Tulín la cual se ubica a escasos 100 m del río, con esto se busca prevenir la mayor afectación en las vidas de los pobladores y bienes. Ya existen sucesos donde el río ha crecido y ha afectado a diferentes fincas. La Comisión Nacional de Emergencias actualmente cuenta con un mapa nacional de inundaciones, pero este no detalla en cuanto a la regresión de estas, tampoco es un mapa detallado ya que este además de esto cuenta con más información volviéndolo un mapa complejo de entender, tampoco indican los documentos oficiales donde se pueda ver la memoria de cálculo y otra información pertinente para confirmar que es información veraz y actualizada.

Una inundación puede implicar la afectación de un poblado a tal punto que aunque se salven las vidas humanas podrán afectar al trabajo del sector, por ejemplo si en la zona el principal ingreso es el cultivo de un producto que se cosecha en los alrededores del cauce y por motivos de la inundación se lave el terreno perdiendo las propiedades de la tierra obligando a los agrícolas a buscar un nuevo ingreso, obligándoles a cambiar su forma de vida y tener que arriesgarse a lo desconocido, este trabajo busca prevenir que estos casos sucedan. Esto se busca por medio de un mapa actualizado donde las personas serán capaces de analizar la peligrosidad a la que se arriesgan al desarrollar sus diferentes actividades a las orillas del río, por esto se

entiende que las personas estimarán si les es rentable realizar plantaciones en zonas las cuales presentan inundaciones o bien los entes gubernamentales podrán tomar decisiones que permitan impedir estas catástrofes.

Esto anterior no se limitará a años presentes, se busca realizar un estudio donde hasta 50 años en el futuro los pobladores tengan un grado de tranquilidad para poder desarrollar sus vidas. Por parte de la municipalidad igualmente deberá de velar por la calidad de vida de sus habitantes ya que este ente será el que tendrá el documento y mapas para ser capaces de concientizar y prevenir una mala praxis del terreno en peligro de inundaciones.

## **1.6. Alcances y Limitaciones**

### **1.6.1. Alcances**

1. Modelado de la sección del río en el software HEC-HMS y HEC-RAS, para obtener las diferentes variaciones que tendrán los niveles de agua con el pasar de los años, determinando los puntos con mayor peligrosidad para la población. Con esta información se evaluarán los resultados y se analizarán para conformar un mapa de riesgos y posteriormente generar una lista de recomendaciones y/o soluciones que se presentarán a las entidades pertinentes, las cuales deberán de tomar la mejor decisión de cómo proteger a la población.
2. Indagar por diferentes fuentes, entiéndase por esto medios periodísticos y registros de inundaciones, las regresiones más problemáticas que ha presentado el río Tulín por las mediaciones del pueblo de San Antonio de Tulín y extraer las secciones de nuestro interés para dar mayor enfoque en estas.
3. Se suministrará un mapa actualizado con las zonas de peligro de inundación del río Tulín, se considera brindar el mapa en tipo PDF para facilitar futuros trabajos de los entes concernientes.
4. Por medio de datos pluviales extraídos de una estación cercana al punto a estudiar del Instituto Meteorológico Nacional, se discurre a generar un grupo de hietogramas para realizar los múltiples modelos descritos en el punto uno de los alcances.
5. Generar una lista de recomendaciones que se pueden realizar ante las diferentes problemáticas que se puedan presentar con el pasar de los años, por ejemplo, la colocación de puesto de advertencia, construcción de diques, desapropiaciones, entre otros.

### **1.6.2. Limitaciones**

1. Registro histórico de curvas de nivel de la zona, bien sean suministradas por la municipalidad de la zona, de no ser suministrada se extraerán utilizando el software ArcMap por medio de las curvas de nivel del Registro Nacional, teniendo presente que este tendrá un rango de error.
2. Se utilizarán estudios pluviales realizados previamente por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en zonas aledañas donde se ubica el río a estudiar, de no localizar un estudio en el mismo punto del río, se utilizarán zonas lo más cercanas posibles y se asumirá que presentan las mismas condiciones.
3. En caso de que el ente municipal no suministra un levantamiento topográfico actualizado y recorrido del río, se limitará a la extracción de sus datos topográficos por medio de softwares especializados en el tema con un margen de error, por ejemplo, en tema de recorrido físico actual se considera el uso de Google Maps y las dimensiones de la cuenca se asumirá una medida constante para todo el río, esta medida se genera en sitio.
4. No se incluye el diseño, planes de emergencia ni presupuesto por las soluciones y recomendaciones que se lleguen a concluir con este trabajo, dejando en responsabilidad al ente en tomar una decisión que se adapte mejor a sus condiciones actuales a la hora del estudio del tema.
5. La extensión para estudiar se limitará a la zona de San Antonio de Tulín, con una cuenca total de 37 km<sup>2</sup> y una longitud aproximada de 9 km sobre el poblado.
6. Se realiza un recorrido y se generará una lista con las diferentes características visuales del tipo de terreno y suelo.

### **1.7. Impacto**

Con este estudio se busca suministrar una herramienta con lo cual se buscará prevenir que el poblado del sector de San Antonio desarrolle sus vidas cotidianas en zonas de alto riesgo en caso de una inundación. Con un mapa detallado se simplificará la comprensión que implica una inundación, eso se logra ya que la persona interesada en una propiedad podrá ver si esta en 5, 10, 15, 25 o 50 años será inundada.

Con una memoria de cálculo detallada se buscará brindar información certera para que la población y otros interesados sean capaces de analizarla y concretar sus propias conclusiones, o en caso de proyectos gubernamentales la persona encargada tenga una idea

inicial de las condiciones del río en años venideros, simplificando el estudio de viabilidad del proyecto acelerando los procesos de este.

No es secreto para ninguna persona que una fuente de agua es indispensable para el desarrollo de las personas tanto como materia prima para los cultivos los cuales son un ingreso fundamental para las personas de estas zonas, o incluso para el transporte de material incluso de personas en tramos del río. Con toda esta información y los cálculos obtenidos por medio de cálculos computacionales del presente trabajo los entes gubernamentales interesados serán capaces de tomar medidas preventivas o incluso de la acción para tratar de prevenir afectaciones económicas o incluso pérdidas de vidas humanas que desconocen o ignoran el peligro latente al cual se están arriesgando solo por estar tratando de ganarse la vida.

### **1.8.Hipótesis**

Al ser un proyecto de graduación no existe una hipótesis, al concluir dicho trabajo se llegará a un resultado concreto el cual se dará a las instituciones que les concierne.

## **2. Marco Teórico**

### **2.1.Inundación**

Una inundación es el aumento atípico de los niveles del nivel del agua de un río, lago u otro conjunto de agua, cubriendo zonas donde típicamente se encuentran secas y los suelos no presentan niveles continuos de saturación o niveles freáticos altos. Las inundaciones son originadas por múltiples motivos, los cuales se pueden agrupar en 2 grandes grupos, por razones naturales o humanas.

Las inundaciones producidas por la naturaleza son por un aumento de la cantidad de agua concentradas en un mismo cauce, esto se debe por una tormenta, la saturación del terreno lo cual acelera la escorrentía.

Las inundaciones provocadas por el hombre vienen siendo un caso de negligencia, ya que grupos de personas ignoran el peligro latente que es modificar las cuencas de los ríos sin tener un análisis adecuado, o bien a pequeña escala un poblado que satura las alcantarillas pluviales con basura, impidiendo que el agua desfogue como los diseñadores trazaron, generando inundaciones dentro de pueblos.

Se puede asegurar que el riesgo natural que más se percibe a nivel mundial son las inundaciones, prácticamente donde exista un río existirá una inundación tarde o temprano. No se puede ignorar las ventajas que traen vivir cerca de un río, lo que asegura una fuente de agua

y tener terrenos fértiles para el cultivo, lo que lo hace sumamente atractivo para las poblaciones, esto se puede ver en grandes partes del mundo como es con el río Nilo en Egipto, el río Amarillo en China, el Ganges en India. Esto conlleva el gran peligro que se genera en caso de una inundación en ríos principales y con poblados ubicados a los alrededores, siendo un punto que se debe de tomar con gran seriedad para realizar los estudios correspondientes para tomar medidas preventivas.

## **2.2.Hidrología**

La hidrología es la ciencia que estudia al líquido vital llamado agua, la cual se ubica tanto en la superficie del planeta como en capas internas de esta. Esta ciencia busca estudiar las propiedades, características, origen, circulación y distribución sobre la tierra, tomando en consideración la relación que tiene con el medio ambiente para así tener todas las variables considerables para el desarrollo y solución de un problema hidrológico.

Esta proporciona al profesional las herramientas y datos necesarios para resolver un conjunto de problemas vitales para la vida humana, entre esos problemas se presenta el diseño, planificación y la puesta en marcha de proyectos para el suministro de agua potable tanto para la población general como para el cultivo y ganadería. Otro de los problemas a resolver son la canalización, redireccionamiento u otros trabajos relacionados a ríos.

## **2.3.Ciclo Hidrológico**

El ciclo hidrológico es el conjunto de permutaciones del estado del agua, es el proceso por el cual la materia de la vida recorre, experimentando cambios en la materia pasando de sólido a líquido y a gaseoso.

Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre, ríos, lagos y mares, se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento. En determinadas condiciones, el vapor se condensa formando las nubes, que a su vez se pueden ocasionar precipitaciones que caen a la tierra. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse, o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes, o se filtra. El agua interceptada y una parte de la infiltración y de la que corre por la superficie se va a evaporar nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otra forma grandes masas de agua como los lagos.

El agua se infiltra satisface la humedad del suelo y los depósitos subterráneos de donde se puede fluir hacia las corrientes de los ríos, o bien descargar en los océanos; la que queda detenida en la capa vegetal del suelo es regresada a la atmósfera por transpiración. (Villon, 2004, p.18)

#### **2.4.Hidráulica Fluvial**

“La hidráulica fluvial es un componente importante de la hidráulica general, dedicada al estudio de ríos, tomando en consideración sus partes componentes, es decir, el movimiento del agua, sedimentos, la influencia de la vegetación y las deformaciones del cauce.” (Ochoa, 2011, p.10)

#### **2.5.Geomorfología Fluvial**

La geomorfología es la rama científica que busca realizar estudios de la estructura y forma de los ríos, considerando la geometría del río, las características del perfil a su máxima extensión.

El papel de la morfografía fluvial en las inundaciones se manifiesta en tres ámbitos espaciales diferentes: de cuenca hidrográfica, con escala regional a comarcal; lineal o de red hidrográfica, con escala semejante a la anterior; y puntual o de tramo de corriente fluvial, con escala comarcal a local. Estos ámbitos se corresponden con otros tantos niveles de influencia, desde la intervención de la morfografía de la cuenca en la génesis de avenidas, a la incidencia de la morfografía de la corriente en la hidráulica fluvial, pasando por la influencia en la propagación de la morfografía de la red de drenaje. Una excelente recopilación de las correlaciones descritas en la bibliografía entre los parámetros morfométricos y los caudales de crecida, basadas normalmente en estudios locales o regionales de EE. UU. (Díez, A, Laín, L y Llorente, M., 2008, p.57)

#### **2.6.Sedimentos**

Los sedimentos en un río son partículas de tamaños variables, los cuales se sedimentan en el fondo de la cuenca por motivo de que el cauce no cuenta con la suficiente energía como para transportar todo el material. Usualmente estos son formados por el desgaste de rocas, erosión de los alrededores de los ríos, entre otros motivos.

Los sedimentos son de suma importancia, ya que estos al acumularse en un punto son capaces de alterar la hidráulica de una cuenca, afectando el comportamiento del río y conllevando a un posible desbordamiento en puntos nunca pensados, causando inundaciones y afectando a los habitantes aledaños.



## 2.7. Precipitación

La precipitación es la fuente principal de agua natural a la superficie terrestre, siendo el punto de partida para el estudio de cualquier trabajo relacionado con la hidrología. La precipitación se puede ver como toda humedad que se origina en las nubes y cae a la tierra generalmente y para nuestro interés en forma líquida.

## 2.8. Cálculo de Precipitación Media en una Zona

La precipitación al caer en una zona en específico generalmente varía en comparación a otras zonas, aunque estas se encuentren cerca. Por este motivo se utilizan pluviómetros, los cuales registran la lluvia en un punto concreto donde el equipo es instalado, para muchos estudios hidrológicos se necesita saber la cantidad de lluvia que cae en la zona de interés. Los estudios podrán variar entre precipitación diaria, semanal, mensual o anual.

## 2.9. Hietograma

El hietograma es un gráfico escalonado semejante al histograma, el cual representa la variación de la intensidad de la precipitación en el transcurso de un tiempo dado (mm/hora). Por medio de esta gráfica se facilita la representación de qué punto representa el momento máximo de la tormenta. Matemáticamente la intensidad se puede representar de la siguiente manera:

$$i = \frac{P}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

i = Intensidad

P = Precipitación

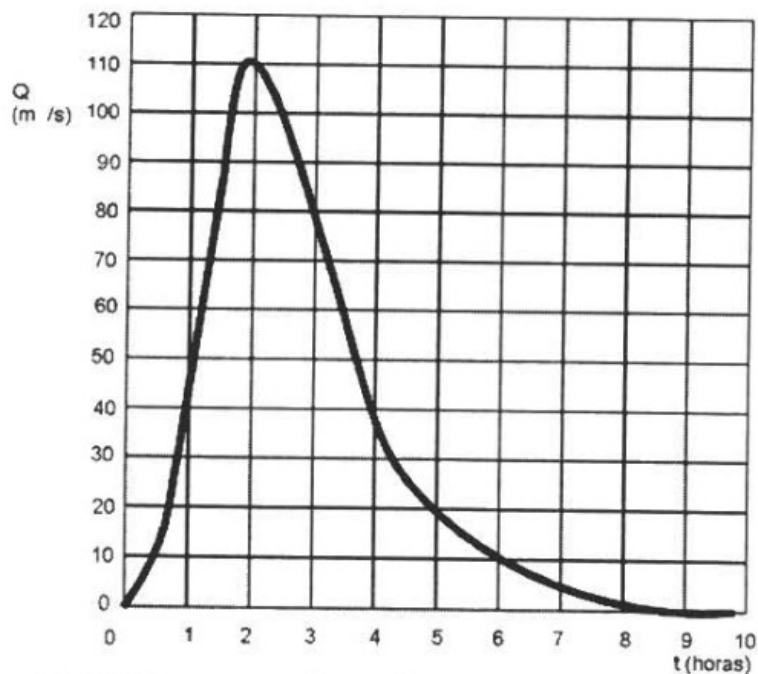
t = Tiempo

## 2.10. Hidrograma

Un hidrograma de una corriente es la representación de las variaciones de un caudal con respecto al tiempo, gracias a este gráfico se nos permite apreciar durante una tormenta cómo el caudal aumenta conforme el terreno se va saturando.

## Ilustración 2

### *Hidrograma adimensional SCS*



**Fuente:** Villon (2004)

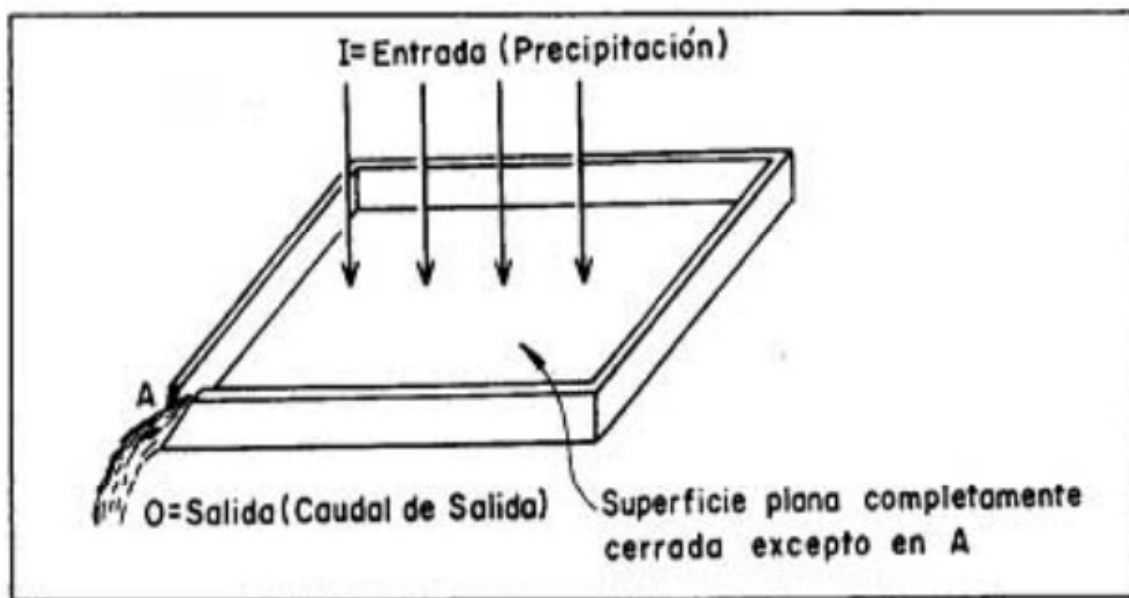
### 2.11. Cuenca Hidrográfica

“Es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple.” (Monsalve, 1999).

En otras palabras, una cuenca es el terreno donde todas las aguas de precipitación son infiltradas o bien cuando el terreno está saturado estas se convierten en escurrimiento y son transportadas hacia el cauce más cercano que es topográficamente canalizado y conducido a este.

### Ilustración 3

*Modelo simplificado de cuenca hidrográfica*



Fuente: Monsalve S. 1999

#### 2.12. Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua tanto fluvial como de lluvia o cualquier otro tipo entra a las capas inferiores del terreno, cada tipo de suelo presenta propiedades y condiciones diferentes, no es lo mismo una arena a una grava o un suelo arcilloso saturado o no saturado. Otro punto importante es el nivel freático del terreno ya que este tendrá el suelo más saturado por su nivel.

**Tabla 1**

*Grupos de suelos*

Grupo de suelo	Descripción
Grupo A, tiene bajo potencial de escorrentía	Son suelos con altas tasas de infiltración Bajo potencial de escorrentía, aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta

	<p>excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.</p>
<p>Grupo B, tiene moderado bajo potencial de escorrentía</p>	<p>Son suelos con tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.</p>
<p>Grupo C, tiene un moderado alto potencial de escorrentía</p>	<p>Son suelos con bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.</p>
<p>Grupo D, tiene un alto potencial de escorrentía</p>	<p>Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con alto potencial de esponjamiento, suelos con un índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy alta de transmisión de agua.</p>

**Fuente:** Máximo Villón Béjar 2002

### 2.12.1. Capacidad de Infiltración

“Es la capacidad máxima con que un suelo, en una condición dada, puede absorber agua. Se nota como  $f$  y se expresa normalmente en milímetros/h.” (Monsalve, 1999, p.134).

### 2.12.2. Velocidad de Infiltración

Esto es la velocidad media con que el agua es absorbida por el suelo, o el caudal dividido por el área de la sección neta del escurrimiento. Por sí sola no es un parámetro de infiltración pues depende de varios factores, mientras que la capacidad de infiltración depende del contorno, esta es un parámetro más expresivo.

## 2.13. Precipitación

La precipitación es el cambio de toda forma de humedad originada en las nubes las cuales se transforma en líquido y por efectos de peso es afectada por gravedad y por consiguiente es atraída hacia la superficie del terreno. Esta se puede agrupar en diferentes tipos de precipitaciones entre las cuales está llovizna, lluvia, escarcha, nieve, granizo. Para nuestro interés únicamente en las formas líquidas.

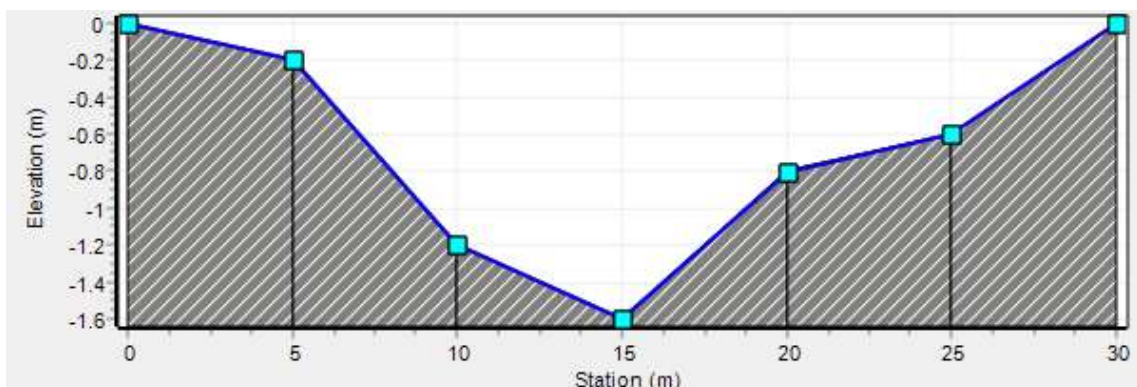
## 2.14. Características de una Cuenca

### 2.14.1. Área de Drenado

Es el área de drenado que posee la cuenca, está se aprecia de mejor manera por medio de un corte transversal.

### Ilustración 4

*Corte típico de río Tulín*



**Fuente:** Autor

### 2.14.2. Forma de la Cuenca

Es la forma geográfica la cual la cuenca tiene desde su inicio a final, esto es sumamente importante para los estudios pluviales de cuanta lluvia recibe por la escorrentía en todo su recorrido y la duración que tiene en recorrer todo el camino.

**Coefficiente de Compacidad (Kc).** Este coeficiente es la relación entre el perímetro y la longitud de la circunferencia del área de la cuenca a estudiar, recalcando la condición entre más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente y viceversa al ser más regular.

$$A = \pi r^2 \qquad r = (A/\pi)^{1/2} \qquad \text{Ecuación 2.1}$$

$$Kc = \frac{P}{2\pi r} \qquad \text{Ecuación 2.2}$$

Sustituyendo

$$Kc = \frac{P}{(2\pi(A/\pi)^{1/2})} \qquad Kc = 0.28 * P/A^{1/2} \qquad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

P = perímetro de cuenca (km)

A = área de drenaje de cuenca (km<sup>2</sup>)

### 2.15. Periodo de Retorno

El periodo de retorno es el intervalo de tiempo promedio, donde un fenómeno presenta la constancia de regresión, en otras palabras, x tiempo que dura en volver a presentarse un evento. El análisis de frecuencias necesita que los datos sean homólogos e independientes, así se asegurará que los equipos no tuvieron imperfectos a la hora de su funcionamiento y se tendrá certeza que la información utilizada es verosímil.

### 2.16. Caudal

El caudal es definido como la cantidad o volumen de líquido que es transportado por una sección de un cauce o área a estudiar por unidad de tiempo, esto se verá afectado por múltiples factores los cuales por medio de la fórmula empírica Kresnik se define como:

$$Q = \alpha \frac{32}{(0.5*\sqrt{A})} * A \qquad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Q = Caudal pico (m<sup>3</sup>/s)

$A = \text{Área de drenaje (km}^2\text{)}$

$\alpha = \text{Coeficiente variable entre 0.03 y 1.61}$

## 2.17. Escorrentía

La escorrentía se puede comprender como el proceso de ocurrencia y transporte del agua en la superficie terrestre. Se puede comprender como el exceso de agua que no es infiltrado por el terreno y este excedente se mueve hacia zonas donde se concentra, por ejemplo, en un río, aumentando su caudal.

En este estudio se busca cómo impedir los daños causados por el aumento de caudal del río por motivos de un periodo de retorno que aumente y o modifique el recorrido del río.

### 2.17.1. Factores que afectan la escorrentía

**Intensidad de precipitación.** Cuando la precipitación excede la capacidad de la infiltración del suelo da inicio la escorrentía superficial, pero esta presenta un retardo por motivos de accidentes geográficos y el tamaño de la cuenca.

**Duración de la precipitación.** La duración de una tormenta puede tener gran peso a la hora de la escorrentía ya que con precipitaciones con intensidades bajas y tiempos prolongados la tierra se satura, aumentando la escorrentía la cual por las condiciones topográficas dirigirá esta precipitación al cauce del río, aumentando el nivel del agua y creando un aluvión.

**Precipitaciones anteriores.** En el caso de que con anterioridad una precipitación azotó la zona humedece el terreno y lo satura. Al momento de caer otra precipitación el terreno no está en condiciones óptimas para la absorción de la nueva lluvia, generando la escorrentía.

**Permeabilidad (Tipo de suelo).** A la hora de caer el temporal es el terreno el encargado en absorber la mayor cantidad de este, dependiendo de la composición y características de permeabilidad del suelo infiltrará con mayor facilidad la precipitación.

### 2.17.2. Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es conocido como la relación entre el volumen de agua superficial total y el volumen total del agua precipitada en un intervalo de tiempo.

$$C = \left( \frac{V_{\text{superficial}}}{V_{\text{precipitación}}} \right)$$

Ecuación 4

### 2.18. Tiempo de Concentración (Tc)

El tiempo de concentración es el tiempo que necesita para que una gota de agua ubicada en la zona más alejada del punto final dure en llegar al punto de salida. Se define la fórmula Kirpich, la cual es una ecuación empírica para el cálculo de “Tc”:

$$T_c = \left( 11.9 * \frac{L^3}{h} \right)^{0.385} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración (Horas)

L = Longitud del cauce (Millas)

h = Diferencia de altura entre el límite superior y el inferior

### 2.19. Tiempo de Retraso (tr)

Según Villon (2004), “es el intervalo del tiempo comprendido entre los instantes que corresponden, respectivamente al centro de gravedad del hietograma de la tormenta, y al centro de gravedad del hidrograma.”

### 2.20. Densidad de Drenaje (Dd)

La densidad de drenaje se define como la relación entre la longitud total de los cauces de la cuenca y el área total, esta se define matemáticamente como:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

L = Longitud total del cauce (km)

A = Área total de la cuenca (km)

### 2.21. Aforos

Aforo significa el proceso de determinación a través de diferentes métodos de medición del caudal que pasa por una sección dada y estudiada en un momento específico ya sea dentro de un periodo de retorno crítico o periodos típicos.

Existe gran variedad de métodos para determinar el caudal de la corriente de un río, bien puede ser por su tamaño o por la precisión que se requiere para obtener los valores entre estos métodos se encuentra: aforos con flotadores, aforos volumétricos, aforos químicos, aforos con vertederos, entre otros.



### **2.22. Evapotranspiración**

La evapotranspiración es la pérdida de agua por evaporación tanto del suelo y la transpiración de las plantas, este efecto es de nuestro interés ya que este mismo afecta el descubrimiento y nota a entender la importancia que tiene el sol a la hora de secar el terreno permitiendo mejorar las condiciones de infiltración de este impidiendo que más cantidad de agua llegue a los cauces. Por esto mismo en épocas lluviosas el sol tiene menos tiempo para evaporar el agua por lo consiguiente el suelo está más saturado.

### **2.23. Agua Subterránea**

El agua subterránea es el agua que ocupa todo el espacio debajo de la tierra cubriendo los espacios que el propio suelo no puede cubrir y estando dentro del mismo material; siendo toda el agua que se encuentra debajo del nivel freático. Esta es de suma importancia ya que actúa como almacén de agua para los lugares secos donde en épocas secas el escurrimiento es muy bajo. Usualmente estas reservas de agua son originadas por la infiltración tanto de lluvia como de ríos, lagos, entre otros.

### **2.24. Capa Permeable**

“Se dice que una capa es permeable cuando sus propiedades transmisoras de agua son favorables o, al menos, favorables en la comparación con los estratos superiores o inferiores.” (Villon, 2004, p.323)

### **2.25. Capa Semipermeable**

Ese tipo de capa es conocida por su relativamente desfavorable transmisión de agua entre sus niveles como el flujo horizontal a su largo es despreciable.

### **2.26. Capa Impermeable**

Las capas impermeables son poco comunes cerca de la superficie del terreno, usualmente se encuentran es profundidades considerables ya que en estas zonas han tenido el suficiente tiempo para ser compactadas y consolidadas. Estas capas tienen propiedades transmisoras tan deficientes que solamente fluyen a través de ellas cantidades de aguas despreciables.

### **2.27. Pendiente**

La pendiente es una característica topográfica, la cual se puede leer por medio de curvas de nivel de cartas topográficas. Estas tienen gran importancia definiendo las velocidades de las escorrentías superficiales.

Mientras que la pendiente de un cauce es el grado de inclinación promedio que tiene el punto más bajo de este. La pendiente tiene un gran peso en las velocidades del agua y es un recurso para estudiar del comportamiento hidrológico e hidráulico para comprender lo que sucede típicamente con el río a estudiar.

“La pendiente media de una cuenca, es uno de los factores que mayor influencia tiene en la duración del escurrimiento, sobre el suelo y los causes naturales, afectando de forma notable, la magnitud de las descargas” (Villon, 2004, p.142). Villon hace un enfoque de suma importancia a la hora de analizar el escurrimiento, el cual termina llegando al río, punto de interés en este documento.

### **2.28. Porosidad**

La porosidad es la relación del volumen de vacíos en un volumen dado, esto cuenta con un gran número de factores, tales como la granulometría, como la compactación, efectos de disoluciones, naturaleza fisicoquímica, entre otros. La porosidad de un terreno natural tiene un amplio margen de espacios vacíos, todo dependerá de las condiciones en las que se haya desenvuelto el material por lo cual cada sitio es único.

### **2.29. Regiones y Subregiones Climáticas**

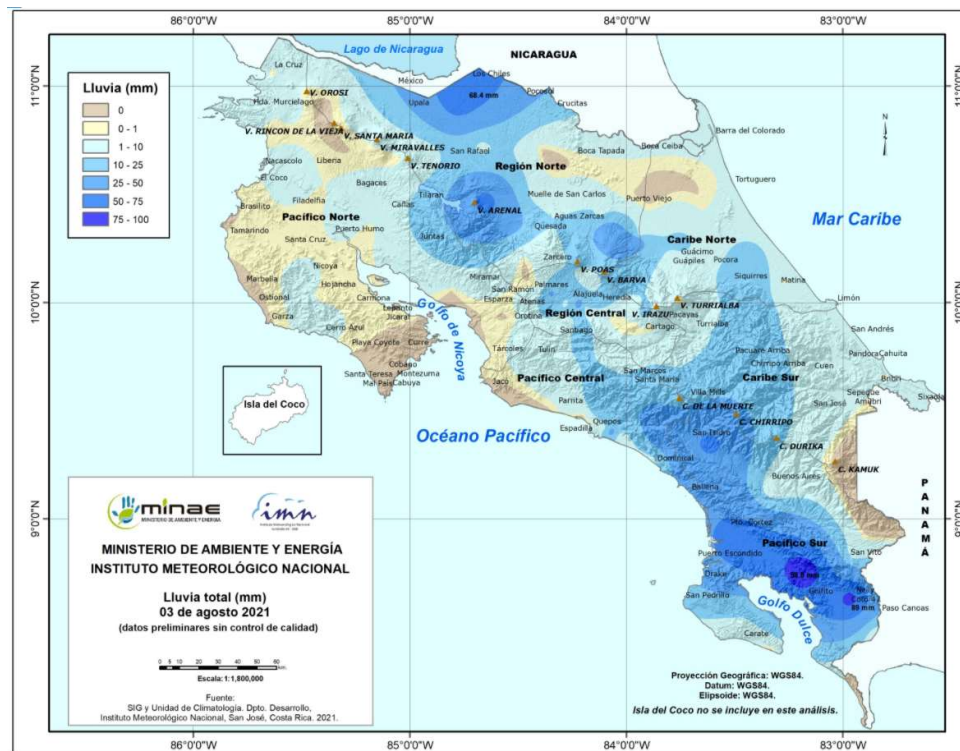
Costa Rica está dividido por una gran cantidad de zonas geográficas, valles, llanuras, depresiones, las cuales presentan sus propias condiciones climáticas, existen áreas lluviosas y secas, por lo cual se busca seccionar el país por regiones, para nuestro interés nos enfocaremos en la zona del Pacífico Central.

La región Pacífico Central se extiende desde la Playa Herradura o Jacó, hasta Dominical, Cerros de Herradura, Cerro Turrubares, Cerro Cangreja, partes bajas (pie de monte) de la Fila Costeña; comprende el poblado de Tinamaste, todo el Valle de Parrita, Quepos y Manuel Antonio. Esta zona por estar protegida al norte por la cadena montañosa impide que los vientos ingresen a esta zona, crean un clima en el cual la época seca es muy corta y la lluviosa es muy severa y larga, donde se registra un promedio hasta de 3900 mm de lluvia anual con 148 días de lluvia según Solano (1992).

En la siguiente ilustración es posible observar cómo se comporta cada región el país en temas de precipitaciones en el mes de agosto.

## Ilustración 5

### Mapa de lluvias de Costa Rica agosto 2021



Fuente: IMN (2021)

### 2.30. Flujo en Canales Abiertos

Un canal abierto es un canal en el cual el líquido que lo transita viaja al aire libre, al estar en esta condición no se incluyen presiones ajenas a las atmosféricas, simplificando las condiciones de energía que tendrá el cauce en su extensión y permitiendo realizar cálculos hidráulicos certeros. Un canal abierto puede ser natural o artificial, para nuestro interés se tomará el río como la condición natural.

La energía que acumula el agua en los canales abiertos está fuertemente sujeta a las alturas de los cauces, estas alturas se sujetan de la misma manera con las pendientes del fondo del río, las características del suelo del río y qué tanta sedimentación o materiales externos al agua se encuentren en su momento dentro del flujo disminuyendo las velocidades o aumentándolas, siendo un tema de estudio.

### 2.31. Jerarquía de una corriente

Para un análisis asertivo de una corriente pluvial se necesita identificar en qué nivel se encuentra el canal a estudiar, ya que un canal principal no contendrá la misma cantidad

volumétrica por segundo que un canal auxiliar, por lo cual es recomendado rastrear el canal hasta el origen de este y poder apreciar toda la cuenca como una comprendiendo que puede afectar al canal de estudio.

### **2.32. Levantamiento Topográfico**

El levantamiento topográfico consiste en la toma de puntos referenciados a un punto de amarre, estos puntos ubicados en un plano tridimensional buscan transcribir las condiciones reales del terreno a papel, ya sea por medio de modelado tridimensional o bien en una lista de coordenadas las que se utilizarán dependiendo de la necesidad.

Estas coordenadas se toman con la frecuencia que el profesional estime necesaria, entre más continuas la toma de datos, mayor precisión con la información extraída del sitio. Una vez tomada la información se procede a la generación de curvas de nivel.

Existen varios tipos de levantamientos topográficos estos varían dependiendo de la función o de lo que se busca representar en planos entre estos están: levantamiento urbano, levantamiento catastral, levantamiento de construcción, levantamiento hidrográfico y levantamiento forestal.

Un levantamiento hidrográfico para nuestro interés es el estudio de las formas del manto lechoso de los ríos, este tipo de levantamiento permite observar cómo es la geometría del cauce en secciones específicas a estudiar.

### **2.33. Curvas de nivel**

Estas curvas son la representación gráfica de las altitudes de un sitio, estas se generan a partir de un levantamiento topográfico anteriormente descrito. Las curvas de nivel consisten en curvas primarias, secundarias y auxiliares, cada una representando una altitud diferente. Al representarse estas líneas en un plano bidimensional nace la relación entre la separación de cada una de las líneas, donde las secciones más densas de líneas representan una gran pendiente, mientras que líneas más separadas representan una planicie.

### **2.34. Erosión Fluvial**

Este tipo de erosión se puede comprender como el desgaste de la superficie de las cuencas hídricas por motivos de las aguas fluviales, mezcladas con sedimentos o materiales orgánicos los cuales arrastran y desgastan el terreno, esto es conocido como transporte fluvial. Con el tiempo por motivos de la erosión causada por el agua del río sucede la modificación de

la geometría y relieve de la cuenca, como es evidenciado en gran variedad de ríos alrededor del mundo como el río Amazonas.

Las causas de la erosión fluvial están sujetas a la energía que tiene el agua del río mientras este está en movimiento, no obstante la energía del río no es constante en todo su recorrido, por lo cual la erosión cambia y se puede separar en tres fases, la fase mecánica, la cual es la sección donde se presenta las velocidades más altas las cuales retiran mayor cantidad de material; la fase intermedia, la cual es el punto donde ocurren las velocidades intermedias, en estas secciones se comienza el proceso de sedimentación; fase sedimentaria, esta fase es la sección donde las velocidades son sumamente bajas, típicamente es la sección final del cauce, en este punto todo el material que se ha erosionado se deposita en el fondo del río por la falta de energía capaz de seguir moviendo el material.

### **2.35. HEC-HMS**

El sistema de modelación hidrológico (*Hydrologic Modeling System*) mejor conocido como HMS, es un software desarrollado por *Hydrologic Engineering Center*, o por sus iniciales HEC. Es un programa con una gran capacidad de simulación de los posibles resultados de una precipitación anormal que aumente la escorrentía, el HEC-HMS es capaz de modelar con las características reales del sitio las escorrentías de un canal y dando un conjunto de resultados los cuales el profesional deberá de analizar, entre este conjunto se encuentran resultados de condiciones hídricas, hidrogramas, predicciones de flujo, entre otros.

Los componentes usados por el HEC-HMS simulan la respuesta hidrológica de la cuenca. Estos componentes son abstraídos y seccionados en: modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y los datos de entrada. Una vez definidos estos componentes una simulación calcula la respuesta de la precipitación y la escorrentía en el modelo de la cuenca a través de los datos dados en el modelo meteorológico. (Chinchilla, 2016, p.7)

### **2.36. HEC-RAS**

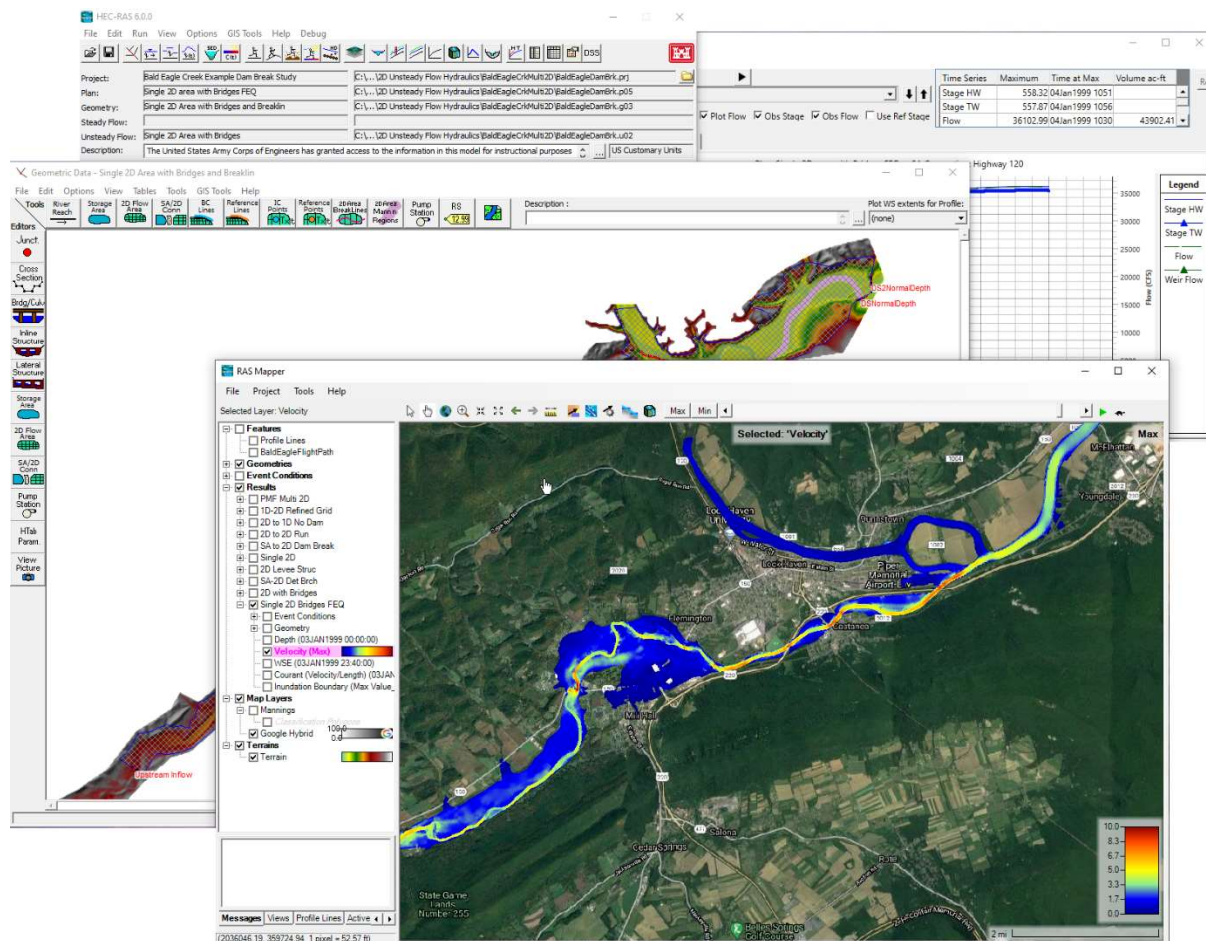
El HEC-RAS es un software de la familia HEC, hermano del programa descrito con anterioridad, este programa tiene la función de realizar modelaciones computacionales de cómo reaccionarán los flujos de los cauces en casos críticos y proyecta las zonas donde es posible presentar la inundación. Para que estos modelos sean precisos se tiene que comprender que las condiciones tanto topográficas como geológicas no deben de cambiar, ya que se modela con

una proyección a futuro, al presentar estos cambios alterarán las variables volviendo el modelo obsoleto.

El HEC-RAS está compuesto por 4 tipos de análisis en ríos los cuales son: modelización de flujo en régimen permanente, modelización de flujo en régimen no permanente, modelización del trasporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas. Entre estas entran las variables de la forma del cauce, la pendiente promedio del cauce, el tipo de material a sus alrededores, tipo de vegetación y la existencia de obras que modifiquen su caudal promedio, por esto se entiende un cambio de área transversal por obras humanas como lo son los puentes.

## Ilustración 6

### Ejemplo de HEC-RAS



Fuente: HEC-RAS

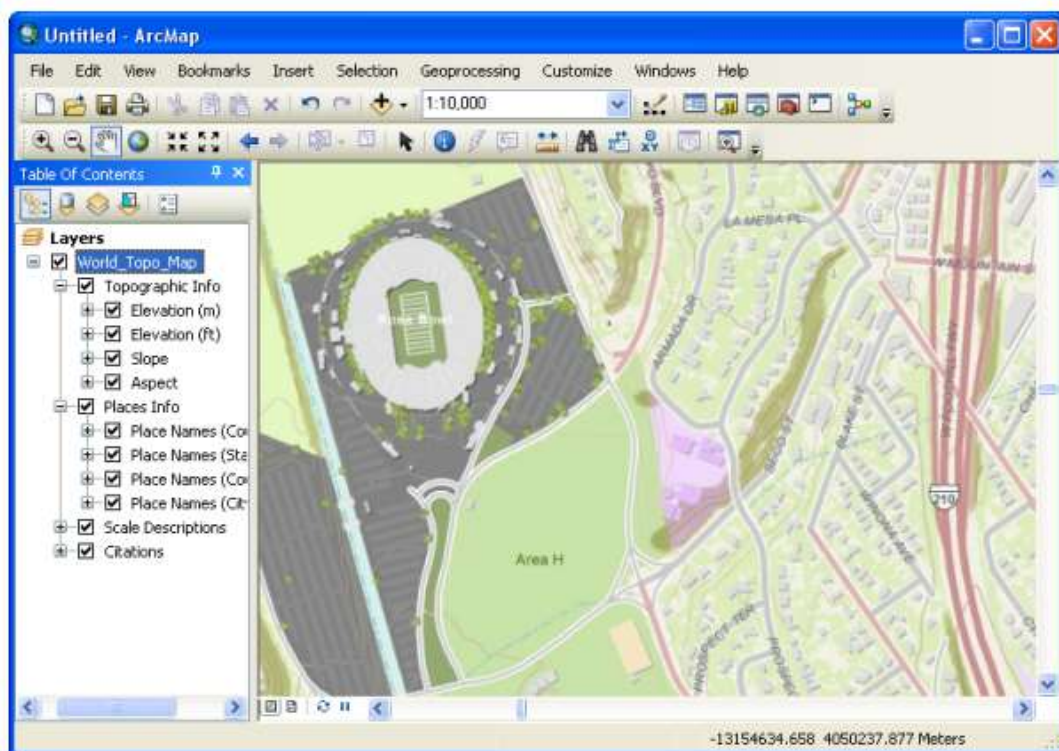
### 2.37. ArcGIS

ArcGIS o ArcMap es un sistema computacional capaz de recopilar, clasificar, administrar y distribuir información geográfica, con el fin de generar mapas inteligentes e interactivos los cuales se pueden guardar en una base de datos que se pueden compartir a un conjunto de interesados los cuales pueden interactuar con estos mapas a través de dispositivos móviles como computadoras.

Además de esto el software cuenta con un gran catálogo de herramientas capaces de generar un sinnúmero de cálculos, los cuales facilitan las labores topográficas e hidráulicas.

#### Ilustración 7

*Ejemplo de ArcMap*



**Fuente:** IMN (2021)

### 2.38. SWMM

El programa SWMM es un programa computacional el cual es utilizado para la modelación de alcantarillados tanto de sistemas cerrados como abiertos, siendo este último el de nuestro interés. Este software calcula por medio de información meteorológica y área de la



zona de estudio cómo se comportará la alcantarilla que se está diseñando, para el diseño de alcantarilla se necesita la geometría de esta, la pendiente promedio y longitud.

### **2.39. Mapas de Peligrosidad**

Un mapa de peligrosidad es la representación gráfica de los casos críticos en el aumento de los niveles de agua de un cauce, técnicamente es la traducción de los cálculos hidrológicos e hidráulicos de una forma tal que cualquier persona sin conocimientos especializados sean capaces de comprender y tomar conciencia de la peligrosidad de una zona específica.

Los mapas de peligrosidad están compuestos por un conjunto de diferentes tipos de condiciones críticas que conforman los mapas de peligrosidad/inundación, entre los cuales se destacan:

- El desarrollo espacio temporal, intuyendo las zonas que el fenómeno natural afectará al cual se le relaciona la severidad, el tiempo en su desarrollo y la duración de la afectación
- Severidad del fenómeno, “en el caso de las inundaciones normalmente cuantificada mediante parámetros físicos del agente, expresados como modelos digitales continuos (matriciales o vectoriales) o discretos mediante isolíneas” (Díez, A, Laín, L y Llorente, M., 2008)
- Probabilidad del fenómeno, es la posibilidad de que se presente el fenómeno estudiado en un tiempo establecido, generalmente este se da en forma de frecuencia o periodo de retorno.

#### ***2.39.1. Zonificación Por Niveles de Peligro***

**Zona de Peligrosidad Alta.** Estas zonas comprenden los sectores donde la inundación presenta un peligro a la vida humana, donde se estima posibles daños a la salud. Estas zonas se pueden calificar por presentar niveles superiores a 1 m de altura con respecto al nivel del terreno, una velocidad del agua mayor a 1 m/s o por la combinación de ambas con un caudal mayor a 0.5 m<sup>3</sup>/s.

**Zona de Peligrosidad Media.** Estas zonas corresponden a sectores con un retorno de inundación de 100 años, con una altura de inundación menor al metro de altura, una velocidad inferior a 1 m/s o un caudal inferior al 0.5 m<sup>3</sup>/s.



**Zona de Peligrosidad Baja.** Estas zonas corresponden a sectores con un periodo de retorno de 500 años y una frecuencia de inundaciones baja, con un promedio de altura, una velocidad del agua y un caudal mínimos.

## **2.40. Instrumentos de Medición de Lluvia**

### **2.40.1. Pluviómetro Digital**

El pluviómetro digital registra la cantidad de lluvia de una zona por medio de un sistema de cazoletas, las cuales acumulan la cantidad de lluvia y generan un pulso eléctrico cada vez que se llenan registran la cantidad de lluvia en mm y luego se vacían para comenzar de nuevo el ciclo.

### **2.40.2. Pluviógrafo**

Este equipo es el encargado de realizar mediciones de la cantidad de lluvia y registra la duración de la precipitación, permitiendo realizar un estudio de hietogramas de las precipitaciones.

Este equipo consta de un depósito, el cual internamente tiene un flotador el cual está sujeto a una palanca la cual registra el aumento del nivel del agua. Una vez este está lleno el sifón succiona el agua y vacía el contenedor.

## **Ilustración 8**

### *Pluviógrafo*



**Fuente:** IMN

### **2.40.3. Estación Meteorológica Automática**

Estas estaciones son un conjunto de equipos especializados cada uno en la recolección de datos individuales dependiendo del equipo, estos datos son almacenados y enviados de forma automática al centro de datos correspondiente del IMN, el cual se encarga de brindar la información al público. Estas estaciones cuentan con un sistema eléctrico autosuficiente como lo son los paneles solares y una antena de comunicación de 2 a 10 m.

### **2.41. Cambio climático**

Actualmente el cambio climático es un asunto de gran importancia, ya que como lo indica su nombre el clima cambia, este se va desarrollando lentamente hasta que se comienzan a presentar tormentas atípicas, casos extraordinarios en zonas las cuales con anterioridad nunca habían presentado casos similares, por ejemplo, sequías en zonas tropicales o bien tormentas de gran volumen. El terreno al verse envuelto con estos cambios y no tener las propiedades para esto, por consecuencia suceden grandes desastres, ya que el suelo de una zona seca no es capaz de absorber toda el agua como un terreno húmedo y viceversa.

### **2.42. Tipos de Ríos**

Cada río presenta características únicas y pueden cambiar de una sección a otra, por lo cual se busca clasificar características típicas por sección de estudio, para ello existen un grupo de criterios que permiten clasificar estos. El primer criterio son las características del material que tiene la cuenca en su lecho.

Los ríos de lecho rocoso están excavados en las rocas del substrato y la dinámica y geometría de su cauce está controlada por la naturaleza de las rocas del substrato, los fragmentos que caen sobre él y su caudal o descarga. Por el contrario, los ríos de lecho aluvial son aquellos cuyo cauce está excavado en los propios sedimentos transportados por el río; por ello, la geometría del canal es dependiente tanto del movimiento del agua como del movimiento del sedimento. Los canales de lecho rocoso son mucho más estables en el tiempo, mientras que los canales de lecho aluvial, por estar formados por sedimentos erosionables y porque las fuerzas del flujo del agua pueden superar la resistencia al arrastre del sedimento, cambian de morfología y de posición más rápidamente en el tiempo. (Díez, A, Laín, L y Llorente, M., 2008, p.64).

Existe un sinnúmero de clasificaciones, de las cuales se pueden organizar en dos grupos, geomorfológicos y sedimentológicos.

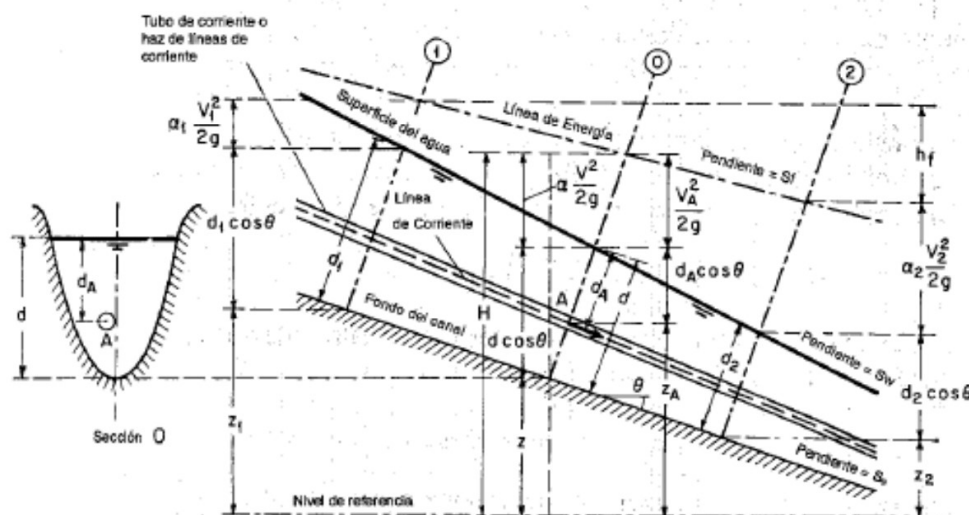
### 2.43. Línea de Energía y Gradiente Hidráulica

La línea de energía es la forma de representación gráfica y/o matemática de la energía que contiene el sistema seccionado por tramos, esta energía se puede utilizar tanto en canales abiertos como en sistemas cerrados. En caso de canales abiertos matemáticamente la energía se representa como la velocidad del agua promedio elevado al cuadrado dividido dos veces la gravedad, se busca realizar este cálculo de tramos lineales para facilitar su gráfica.

La gradiente hidráulica es la pérdida de energía potencial por el cambio de altura del sistema, esta no depende de la velocidad del sistema, por lo cual no se consideran las pérdidas de energía por fricción.

### Ilustración 9

#### Línea de energía



Fuente: Streeter, 1970

## 3. Marco Metodológico

### 3.1. Paradigma

Se considera el análisis de los datos recolectados de la estación meteorológica más cercana al poblado San Antonio, la cual se ubica en el Rancho Nuevo a 6 km del poblado de estudio, buscando de esta forma comparar las diferentes regresiones pluviales y así se genera una tabla de regresiones probabilísticas críticas.

Estos datos probabilísticos se ingresarán al programa HEC-HMS en el cual se extraerá los histogramas y la información sobre el caudal por escurrimiento, con estos datos se definirá

el aumento en el caudal del río, por medio del programa HEC-RAS obtendremos el aumento del nivel del cauce en el tramo definido. Para la creación del mapa se utilizará los resultados anteriormente calculados y se colocarán en el programa ARC-MAPS en el cual por medio de curvas de nivel y representación de los poblados se modelará las inundaciones de una regresión de 5, 10, 15, 25 y 50 años.

Una vez obtenidos los mapas se le dará a la municipalidad de Turrubares y a la Comisión Nacional de Emergencias, junto a la memoria de datos obtenido, para que así se permita un estudio profundo de la información y enseñar al público para tener una concientización general del poblado.

### **3.2.Enfoque Metodológico**

En este documento se dará un enfoque metodológico cuantitativo explicativo y exploratorio, ya que se busca realizar un estudio inexistente el cual da la respuesta a futuros problemas que se puedan presentar.

### **3.3.Métodos de Investigación**

Se realizará una investigación de la información histórica como lo son inundaciones y registros meteorológicos por medio de documentos como lo son el periódico, documentos oficiales, o evidencias físicas que se hayan tenido en la zona, así se podrá registrar incidentes relaciones a niveles históricos. Ajeno a esto todo el trabajo realiza un enfoque de proyecto por lo que no se necesita realizar ningún otro tipo de investigación.

Esta información se recolectará por medio principal de internet y se tabulará por medio del programa Excel. Toda la información la cual sea no numérica se colocará en una memoria de cálculo en el programa Word.

### **3.4.Categorías de Análisis de la Investigación**

El presente se clasificará en dos grupos de análisis de investigación de hidráulica y la hidrología, cada una teniendo subgrupos que profundizarán en cada tema.

### **3.5.Población y Muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población por estudiar es el río Tulín.

#### **3.5.2. Muestra**

Las muestras para estudiar son secciones específicas donde existan poblados cercanos al cauce del río. Mientras que las secciones generales donde no presenten ningún tipo de peligro

a la población se analizarán de una forma más general o directamente se excluirán si estas se encuentran a los extremos del río.

### **Ilustración 10**

*Ejemplo de Muestras*



**Fuente:** Autor

### **3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Para la recolección de datos se considera obtener la información meteorológica por medio de estaciones automatizadas del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, el cual cuenta con una base de datos histórica que inicia a partir del 1996 con recolección mensual de la información. Esta información si digitalizará y organizará en el software Excel, a su vez en este mismo programa se realizará una memoria de cálculo con la cual se compararán los resultados manuales contra resultados de otros programas automatizados. Los programas que

se utilizarán para la extracción más detallada de datos son el software HEC-HMS para así tomar una modelación aproximada y un periodo de retorno de 5, 10, 15, 25 y 50 años.

Para identificar el tipo de suelo se considera realizar una visita al sitio realizando un recorrido por todos los puntos de interés a estudiar, generando una lista de forma visual del tipo de material del terreno, después de esto se asignará propiedades típicas de este material.

A nivel topográfico y a la creación del mapa se considera la utilización de documentos históricos como son mapas cartográficos que se encuentran en el Registro Nacional, de acá se extraerían las curvas de nivel de la zona y se digitalizarán en el programa Arc-GIS en el cual se representará el aumento del río en el periodo estimado.

### **3.7. Técnicas e Instrumentación para el Procedimiento y Análisis de datos**

Para realizar un análisis detallado y certero se utilizarán tantos programas computacionales como metodologías analíticas u otro tipo según sea su necesidad, indicándose en cada punto que se utilice. Todos los datos numéricos se tabularán de forma ordenada para generar tablas y gráficas para simplificar su comprensión y generar un análisis de datos sencillo para que cualquier persona interesada sobre el tema sea capaz de comprender las diferencias entre un resultado y otro. Otra forma efectiva de realizar el análisis de los datos o bien de resultados es directamente con la visualización de los modelos de los mapas 2D realizados donde se podrá observar los cambios de las alturas del nivel del agua con el pasar de los años siendo esta la forma más sencilla de representar todos los cálculos matemáticos en una imagen.

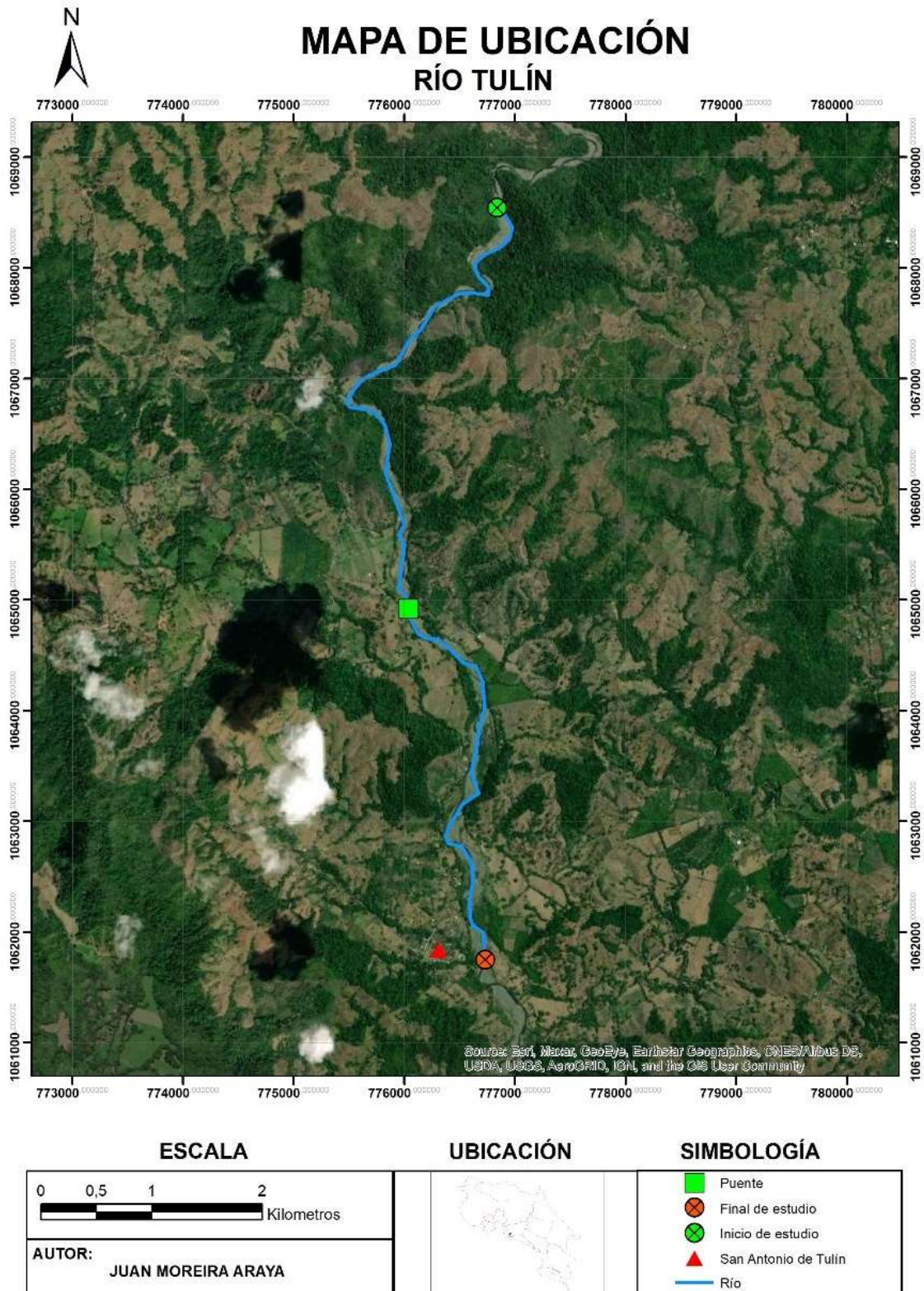
### **3.8. Delimitación de la Cuenca**

Para la delimitación de la cuenca se utiliza el programa Arc-Map, al cual se le ingresan las curvas de nivel referenciadas a la base de datos del SNIT, las cuales se transforman a un modelo de elevaciones digital, esto se realiza por medio del programa el que interpreta cada línea como una altura y genera con estas un archivo tipo DEM, una vez generado dicho archivo se procede a comparar con el modelo de elevación del USGS, base de datos estadounidense, así se busca obtener un control sobre la información. La delimitación de la cuenca se genera a partir de los puntos máximos que aportan directamente al río el escurrimiento, para el nivel de este trabajo la cuenca se recorta a uno 9 km de largo del río, ya que en esta distancia se encuentran los puntos de interés, si se asume toda la extensión de la cuenca se estará aumentando la posibilidad de error ya que no se lograría tener las condiciones reales de toda la cuenca a nivel de este documento.



**Ilustración 11**

*Mapa de ubicación de río Tulin*



Fuente: Autor

## Ilustración 12

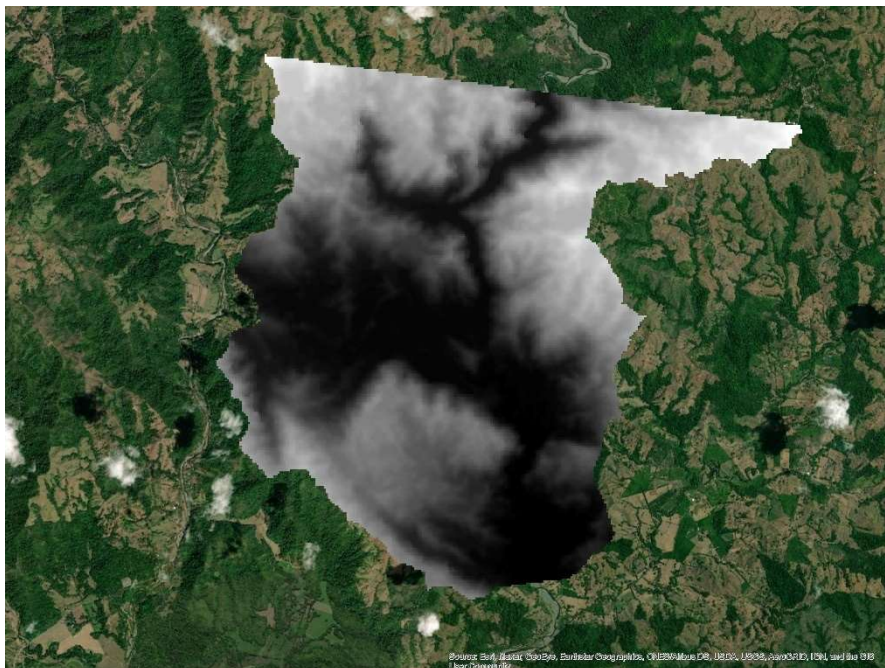
*Cuenca de estudio*



Fuente: Autor

## Ilustración 13

*Modelo de elevación digital*





**Fuente:** Autor

### 3.9. Parámetros de la Cuenca

**Tabla 2**

*Características de la cuenca a estudiar*

Área (km <sup>2</sup> ) =	36.00
Longitud de río (km) =	9.00
Promedio de pendiente (%) =	22,19
Tipo de terreno =	Mayormente vegetación
Tipo de suelo en río =	Grava
Uso de suelo =	Mayormente agricultura y ganadería
Coefficiente de rugosidad =	0.04
Índice de compatibilidad =	Ovalada
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> ) =	0.24
Tipo de condición de suelo asumido=	Saturado

**Fuente:** Autor

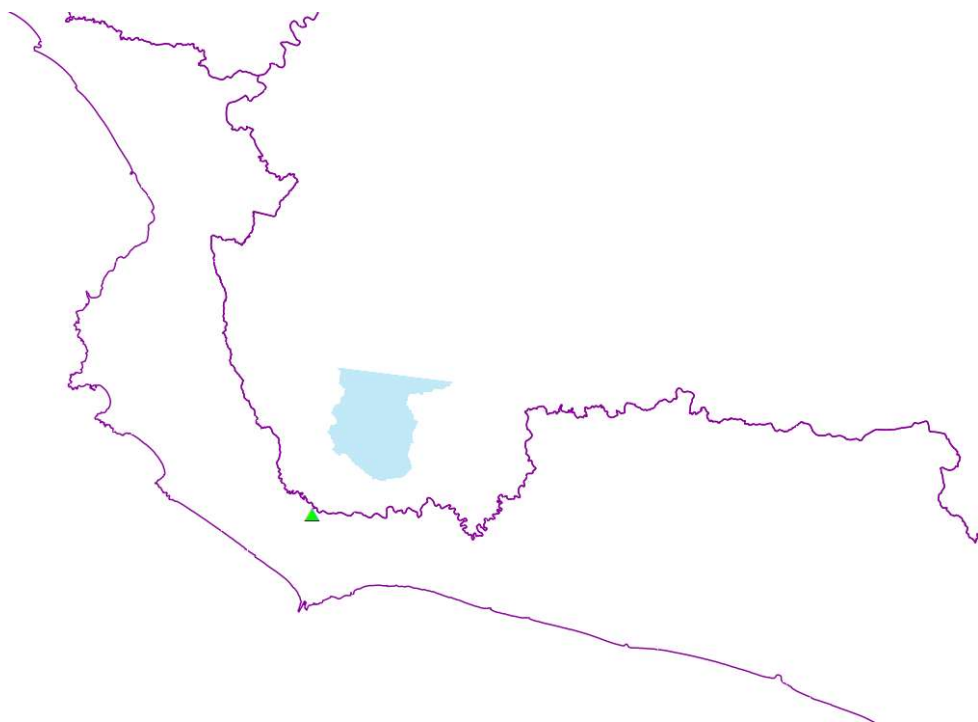
### 3.10. Curva IDF

La determinación del crecimiento del caudal por motivos de la estimación de la intensidad es el eje de los resultados de este trabajo, ya que por medio de esta estimación probabilística se es capaz de aproximar condiciones futuras de la precipitación por medio de valores reales extraídos de una estación meteorológica ubicada cerca del poblado.

Los datos de las precipitaciones son suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional, de la estación 86004, Rancho Nuevo, ubicada aproximadamente 6 km del poblado de San Antonio de Tulín.

#### Ilustración 14

*Ubicación de estación meteorológica*



**Fuente:** Autor

Para realizar esta aproximación se utiliza el modelo de distribución de Gumbel, el cual permite el cálculo de valores máximos en base de valores posteriores al estudio. Para poder generar las regresiones a estudiar se necesitan varios factores claves, entre los cuales están: registro de precipitación, selección de periodos máximos en un mes del año, cálculo de variables probabilísticas y por medio de estas ser capaces de generar las regresiones.

Para el cálculo de variables probables se define:

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\bar{x} = 634.82 \text{ mm}$$

Donde

$x_i$ =Precipitación máxima del mes

$n$ =Cantidad de años

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$S = 153.83 \text{ mm}$$

Donde

$x_i$ =Precipitación máxima del mes

$n$ =Cantidad de años

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\alpha = 119.94 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha \quad \text{Ecuación 10}$$

$$u = 565.59 \text{ mm}$$

Una vez con estas variables se procede al cálculo por periodo de tiempo a estudiar donde se calcula la variable reducida, la precipitación, la probabilidad de ocurrencia y corrección de intervalo. Donde una vez calculada cada una de estas se obtiene la precipitación en mm máximo en un día.

Gracias a estas probabilidades somos capaces de establecer estadísticamente la posibilidad de ocurrencia de la tormenta en los periodos analizados.

**Tabla 3***Probabilidad de tormenta*

<i>Periodo de retorno</i>	<i>Precipitación diaria (mm)</i>	<i>Probabilidad de tormenta</i>
<i>Años</i>		
5	745.49	80%
10	835.49	90%
15	886.27	93%
25	949.21	96%
50	1033.58	98%

**Fuente:** Autor**Tabla 4***Tabla de cálculos diaria máxima en un periodo de tiempo*

Periodo de retorno	Variable reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia	Corrección de intervalo
5	1.499	745.48	0.8	842.4
10	2.25	835.49	0.9	944.10
15	2.67	886.27	0.933	1001.48
25	3.19	949.21	0.96	1072.61
50	3.90	1033.57	0.98	1167.94

**Fuente:** Autor**3.11. Modelado de programas**

Con la información generada se procede al modelado de la cuenca y la tormenta en los programas HEC-HMS, HEC-RAS y SWWM. Es completamente importante suministrar la misma información en todos los programas, ya que si esta varía dicha información será errónea y generará resultados ficticios.

**3.11.1. Modelado HEC-HMS**

Dentro de este programa se procede a generar un nuevo archivo, el primer paso será ingresar la información geométrica de la cuenca.

## Ilustración 15

*Información de cuenca en HEC-HMS*

<b>Basin Name: Cuenca Tulin</b>	
<b>Element Name: Cuenca Tulin</b>	
Description:	<input type="text"/>
Downstream:	--None--
*Area (KM2)	36
Latitude Degrees:	<input type="text"/>
Latitude Minutes:	<input type="text"/>
Latitude Seconds:	<input type="text"/>
Longitude Degrees:	<input type="text"/>
Longitude Minutes:	<input type="text"/>
Longitude Seconds:	<input type="text"/>
Discretization Method:	--None---
Canopy Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	--None--
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

**Fuente:** Autor

En la ilustración anterior se puede observar que se ingresan los siguientes datos: el área de la cuenca que se calculó por medio del programa Arc-map y se selecciona el “transform method” esta nos permite definir cómo se comporta la precipitación recorriendo la cuenca, cuánto dura en recorrer esta.

Con esto indicado procedemos a ingresar los valores de la tormenta calculados en la curva IDF, estos valores los convertiremos de valores diarios a valores por hora, ya que esto nos simplificara y generara resultados más reales con respecto al comportamiento de la tormenta. Para esto se utilizan los coeficientes para relaciones de lluvia de 24 horas por Campos A. 1978.

Donde define:

**Tabla 5**

*Tabla coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas*

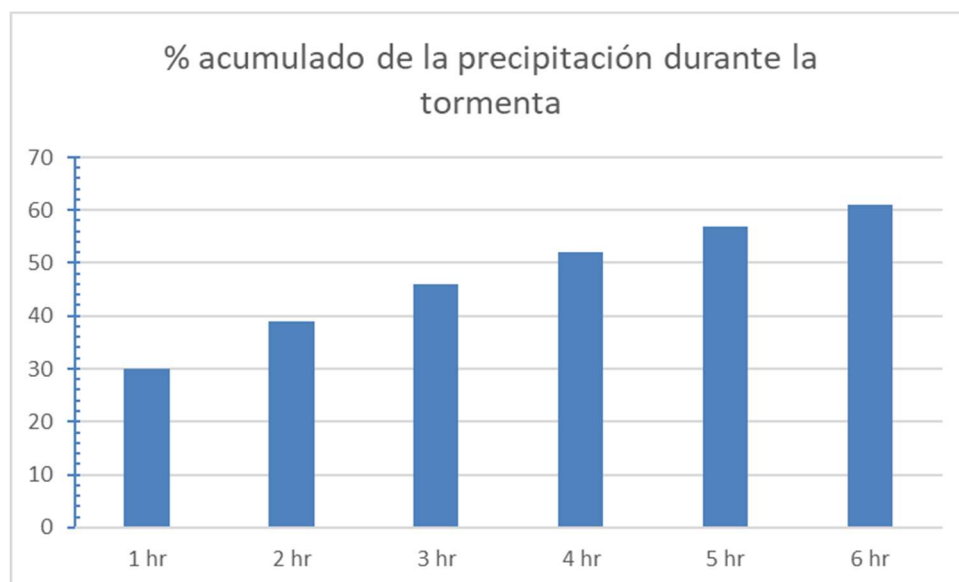
Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.3	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.8	0.91	1

**Fuente:** Campos A. 1978

Con estos coeficientes se multiplicarán por cada uno de los valores de precipitaciones calculados en la tabla 2 y el resultado de estos valores será nuestra precipitación acumulada por hora. Estos son los valores que se ingresarán al HEC-HMS como lo demuestra la siguiente ilustración.

### **Ilustración 16**

*Gráfica de acumulación de la precipitación durante la tormenta*



**Fuente:** Autor

A partir de la tabla 4, generamos el anterior gráfico para analizar que durante las primeras 6 horas de la tormenta, ya que estas son la mayor parte del volumen de la precipitación precisamente el 61% de la tormenta y después de ellas el porcentaje de agua que ingresan al

sistema no afectarán directamente el nivel de la inundación, ya que el 39% de la lluvia probabilística se distribuirá en las siguientes 18 horas, además es muy poco probable que una tormenta exceda las 6 horas iniciales.

En base a este análisis se prosigue con el modelado de la tormenta en el programa HEC-HMS considerando este periodo de la tormenta junta a las regresiones generadas, la tabla 6.

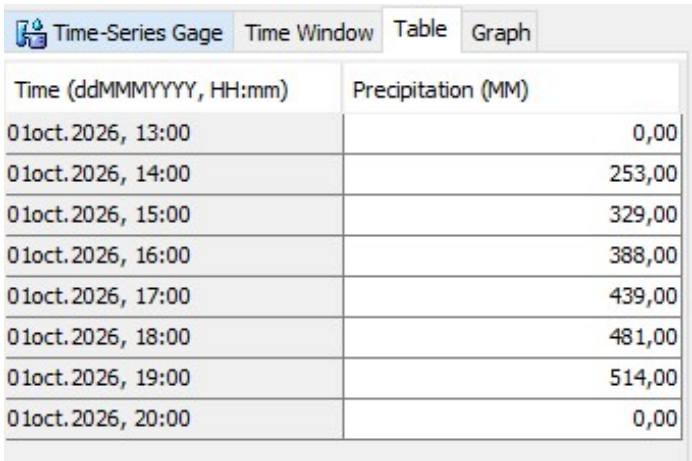
**Tabla 6**

*Tabla coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas*

<b>Tiempo de</b>	<b>Precipitación máxima por tiempos de duración (mm)</b>				
<b>Duración</b>	<b>5 años</b>	<b>10 años</b>	<b>15 años</b>	<b>25 años</b>	<b>50 años</b>
<b>6 hr</b>	513.8	575.9	610.9	654.2	712.4
<b>5 hr</b>	480.1	538.1	570.8	611.3	665.7
<b>4 hr</b>	438.0	490.9	520.7	557.7	607.3
<b>3 hr</b>	387.5	434.2	460.6	493.4	537.2
<b>2 hr</b>	<b>328.5</b>	<b>368.2</b>	<b>390.5</b>	<b>418.3</b>	<b>455.4</b>
<b>1 hr</b>	<b>252.7</b>	<b>283.2</b>	<b>300.4</b>	<b>321.7</b>	<b>350.3</b>

### Ilustración 17

*Información de precipitación en HEC-HMS*



Time (ddMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM)
01oct.2026, 13:00	0,00
01oct.2026, 14:00	253,00
01oct.2026, 15:00	329,00
01oct.2026, 16:00	388,00
01oct.2026, 17:00	439,00
01oct.2026, 18:00	481,00
01oct.2026, 19:00	514,00
01oct.2026, 20:00	0,00

**Fuente:** Autor

### 3.11.2. Modelado HEC-RAS

Para el modelado en este programa se necesitan los valores del caudal por escurrimiento y el modelo de elevaciones virtuales, con estos dos conjuntos de datos seremos capaces de dar inicio al procedimiento. Manualmente necesitamos delimitar el perímetro que los modelos correrán, el espacio donde suponemos que ocurrirá la inundación, el recorrido del río, dónde inicia y finaliza este y el coeficiente de meanning. Con estos datos el software generará automáticamente las modelaciones de la inundación.

**Tabla 7**

*Tabla coeficientes de meanning*

n	Descripción de superficie
0.011	Asfalto
0.12	Concreto
0.13	Revestimiento de concreto
0.014	Madera en buenas condiciones
0.014	Ladrillos
0.015	Arcilla vitrificada
0.015	Hierro fundido
0.015	Metal corrugado
0.015	Barbecho
0.024	Suelos de cultivo
0.024	Capa de residuos < 20%
0.05	Capa de residuos > 20%
Césped	
0.15	Corto



0.24	Denso
Madera	
0.400	Follaje ligero
0.800	Follaje denso
0.04-0.05	Canal abierto con fondo de piedras

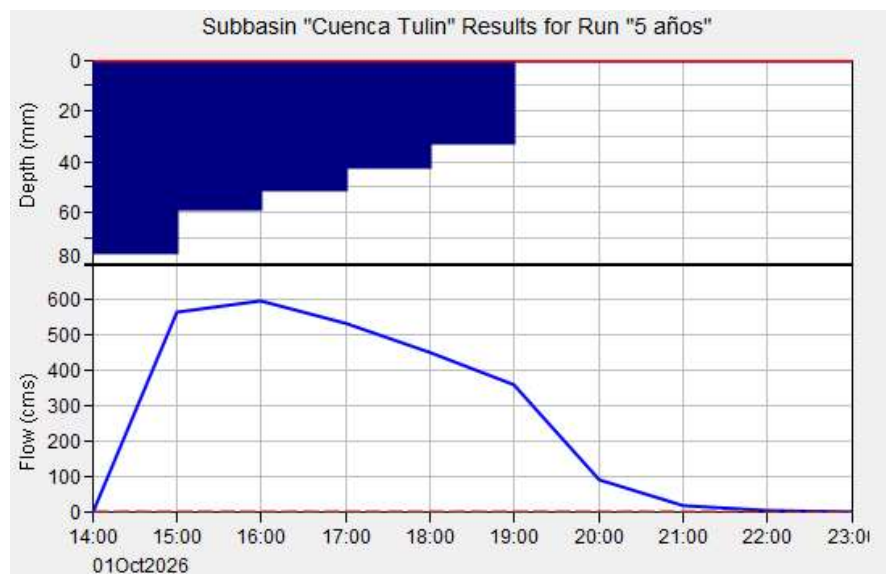
**Fuente:** Mc Cuen,1989

#### 4. Análisis de resultados

##### 4.1.Resultados HEC-HMS

##### Ilustración 18

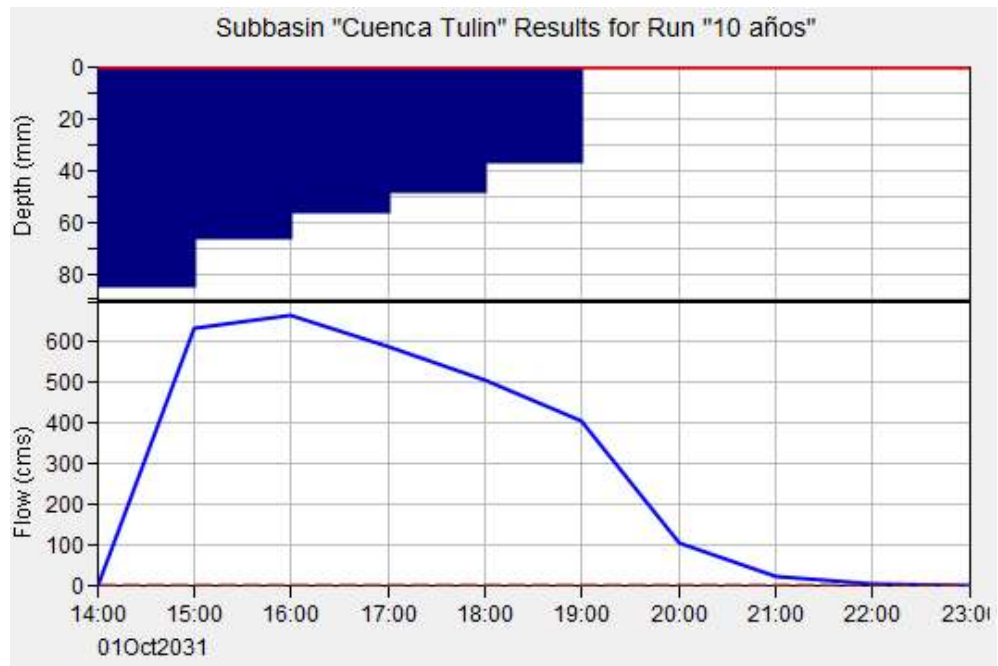
*Hietograma 5 años*



**Fuente:** Autor

### Ilustración 19

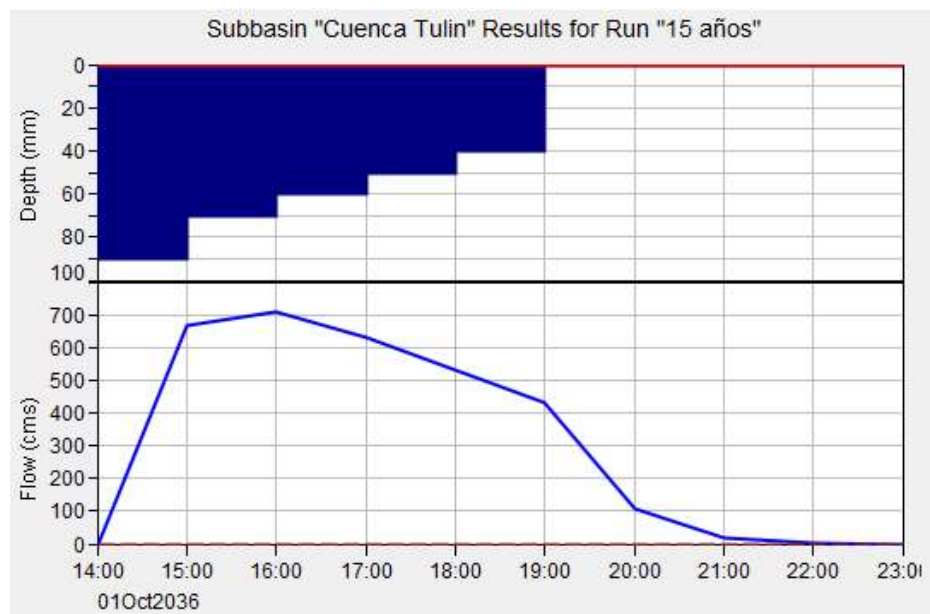
*Hietograma 10 años*



**Fuente:** Autor

### Ilustración 20

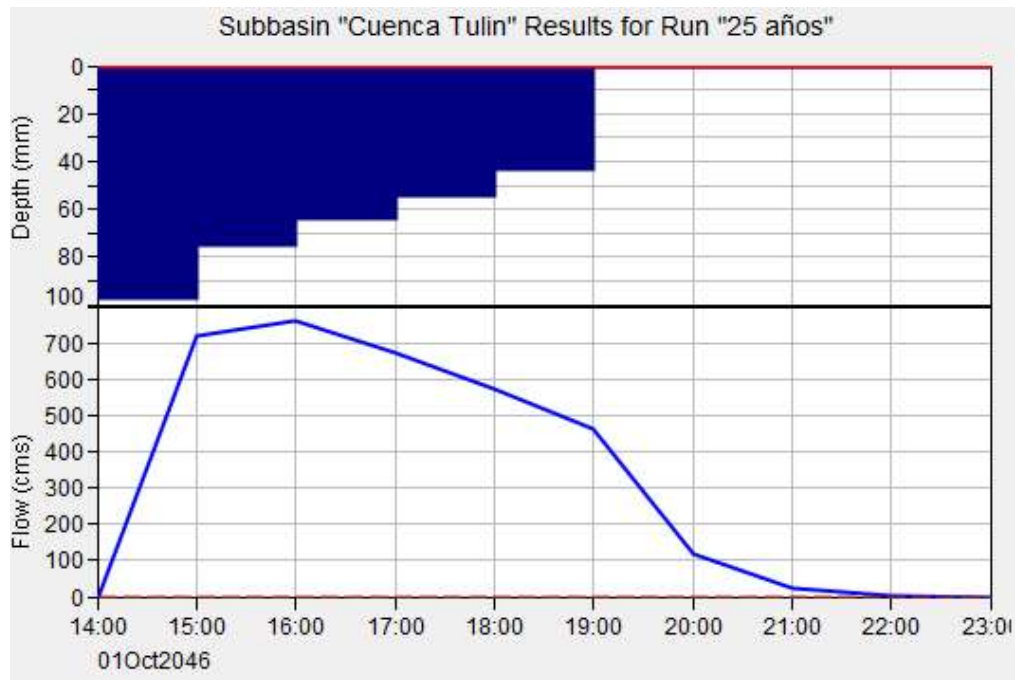
*Hietograma 15 años*



**Fuente:** Autor

## Ilustración 21

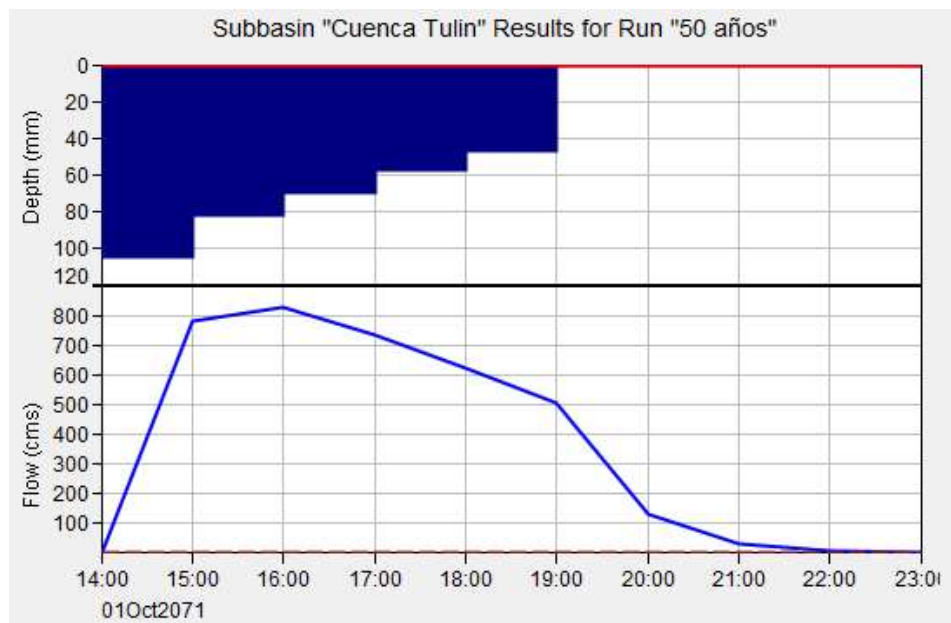
*Hietograma 25 años*



**Fuente:** Autor

## Ilustración 22

*Hietograma 50 años*



**Fuente:** Autor

**Tabla 8**

*Tabla escurrimiento ( $m^3/s$ ) en el mes de octubre extraídos de HEC-HMS*

Hora	5 años (2026)	10 años (2031)	15 años (2036)	25 años (2046)	50 años (2071)
14:00	0	0	0	0	0
15:00	564.6	631.5	668.6	720.7	780.1
16:00	596.4	667.2	707.3	759	827.6
17:00	532.7	588.1	628.2	671.1	733.5
18:00	448.4	507	532.2	572.9	618.6
19:00	358.2	403	431.4	464.1	505.1
20:00	90	101.2	108.5	116.7	127.2
21:00	16.9	19	20.4	22	23.9
22:00	2.7	3	3.3	3.5	3.8

**Fuente:** Autor

Al analizar las mismas horas con diferentes fechas se puede apreciar como existe un aumento en las lluvias, esto es motivo al modelo probabilístico de las medidas pluviométricas mediante Gumbel, este modelo permite calcular los máximos gracias al registro pluviométrico de años anteriores.

Con estos datos se procede a realizar un control cruzado con el programa SWMM donde se le definen los mismos parámetros que en el programa HEC-HMS. En este programa se le define la sección típica transversal tomada en el sitio, un flujo base de  $75 m^3/s$ , el tipo de terreno, la existencia de un terreno saturado y con esto se corre un modelo más preciso. Al comparar los resultados entre ambos modelos se concluye en utilizar el modelo del HEC-HMS ya que este cuenta con valores mayores siendo este un caso conservador a nivel de seguridad del poblado.

**Tabla 9***Tabla de resultado de caudales máximos*

	5 años (2026)	10 años (2031)	15 años (2036)	25 años (2046)	50 años (2071)
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	596.4	667.2	707.3	759	827.6

**Fuente: Autor**

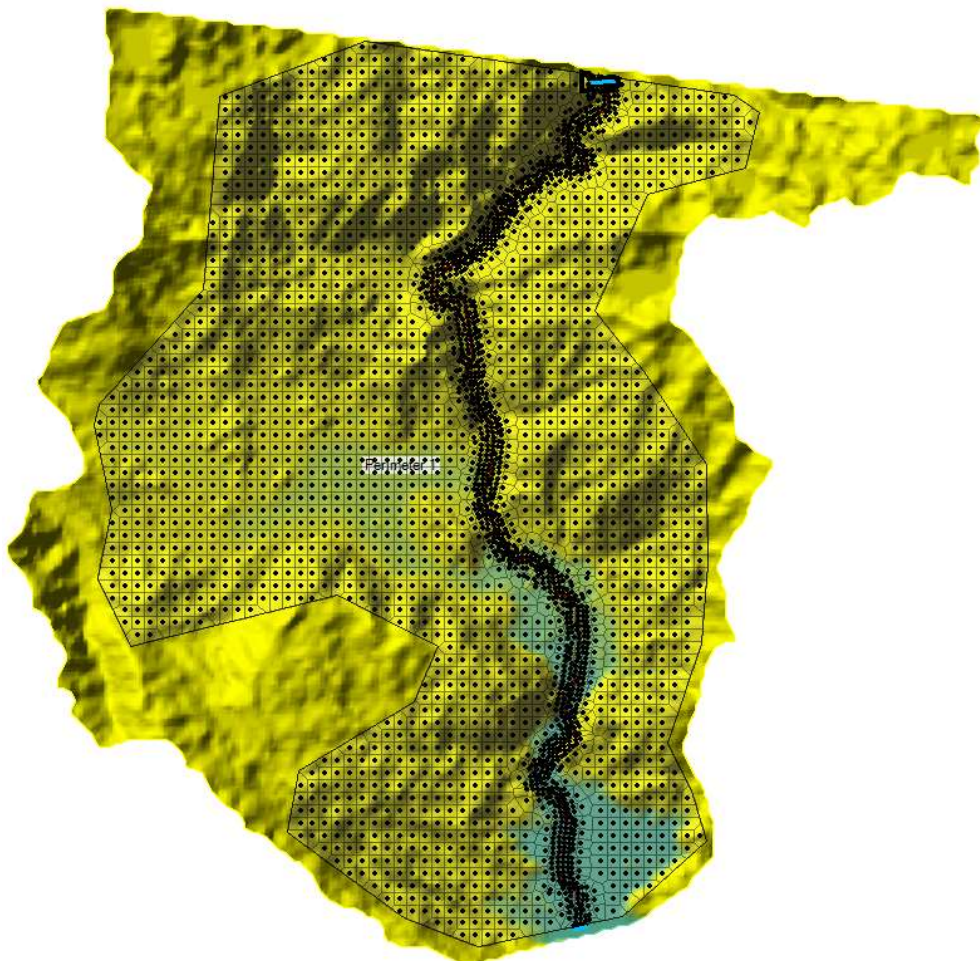
Analizando la tabla 4, en la cual se tabulan los resultados de las corridas de las modelaciones del programa HEC-HMS se pueden observar que los caudales máximos durante la tormenta llegan a aumentar en gran medida al flujo normal del río, comprendiéndose que estos valores es la representación numérica de la inundación, para ser capaces de analizar globalmente el alcance de este es necesario tomar estos valores y plantearlos en el terreno del sitio donde las curvas de nivel afectarán los niveles, además de simplificar la comprensión para una persona no diestra en el tema. Para ello se procede a ingresar la topografía y los caudales de la tormenta al programa HEC-RAS.

#### **4.2.Resultados HEC-RAS**

Los resultados generados en este programa son todos generados a partir de la información generada del programa HEC-HMS y el modelo de elevaciones digitales, este software computariza ambos datos y modela el comportamiento del nivel del río con el pasar de la tormenta.

**Ilustración 23**

*Modelación de cuenca en HEC-RAS*



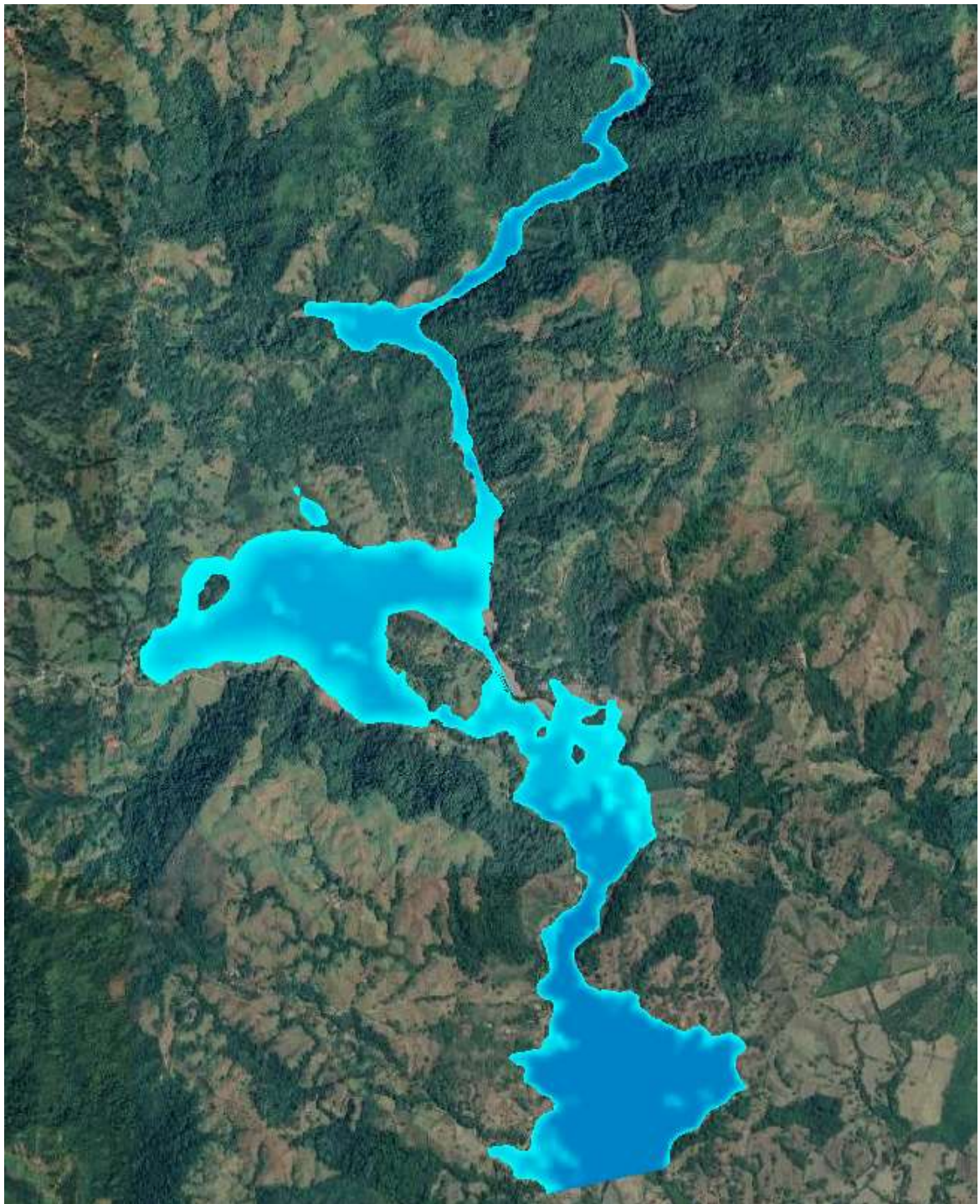
**Fuente:** Autor

En la anterior ilustración se demuestra de forma gráfica el modelo de computación considerado para el río, donde cada punto negro significa un punto de análisis y se especifica la forma y dirección del cauce.



**Ilustración 24**

*Inundación periodo 5 años*



**Fuente:** Autor

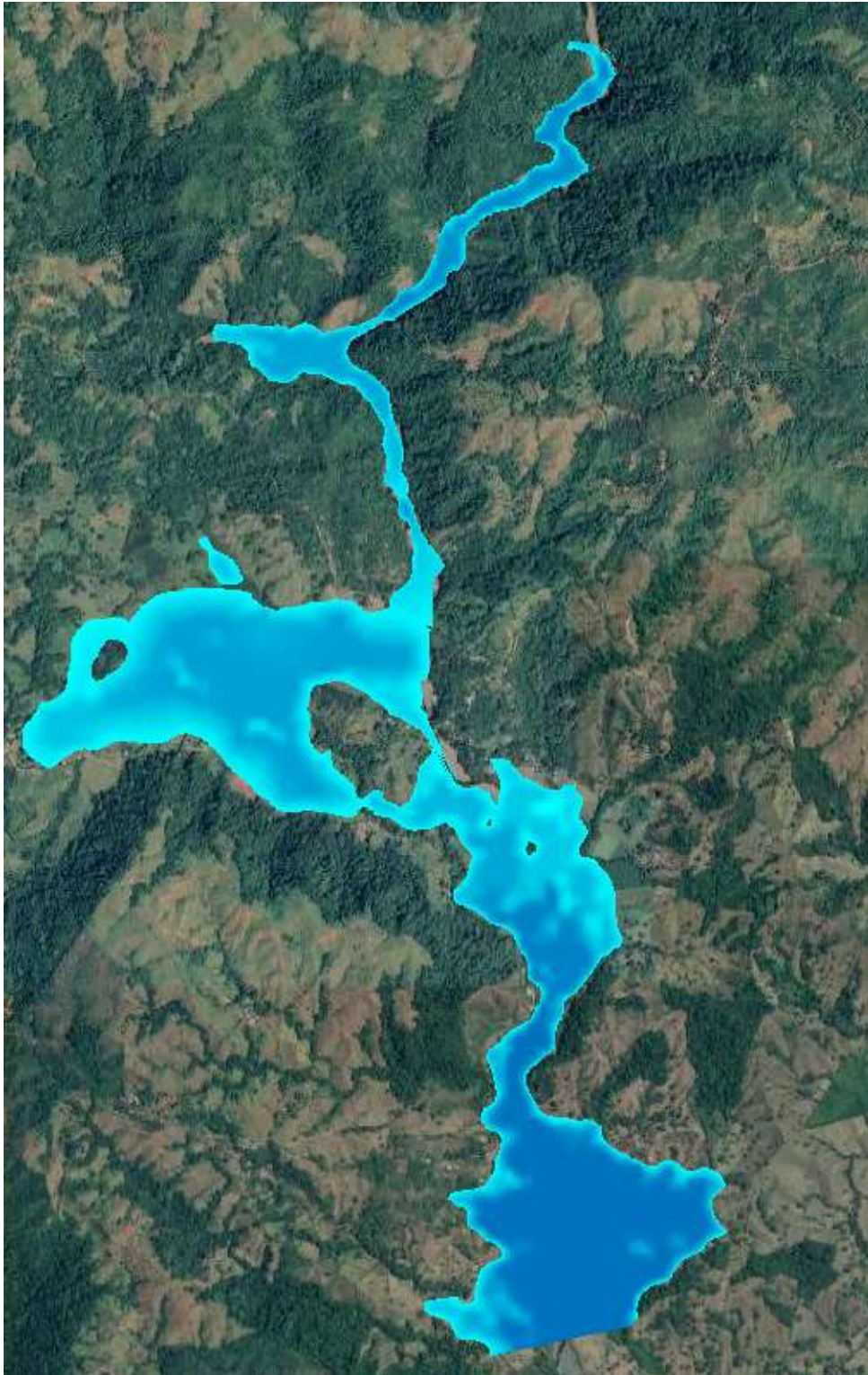






**Ilustración 26**

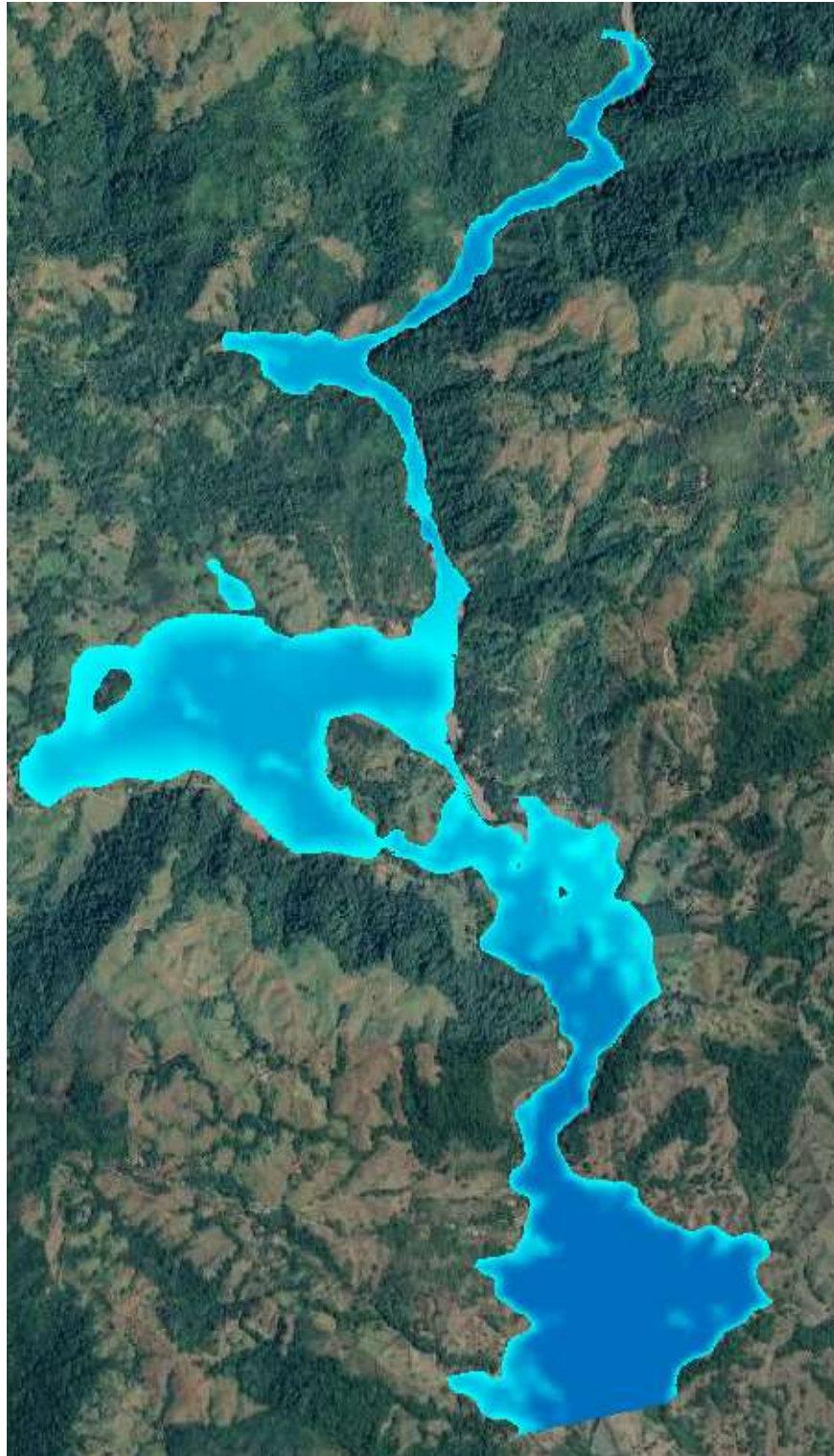
*Inundación periodo 15 años*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 27**

*Inundación periodo 25 años*



**Fuente:** Autor





Al analizar las imágenes generadas por el programa HEC-RAS se es capaz de observar que la inundación tiene una gran área de afectación, involucrando directamente al poblado de San Antonio de Tulín y las áreas de agricultura que se encuentran al costado del río. Esto es debido a un grupo de factores como lo es la forma del terreno, el cual es muy llano en las zonas donde más se ven afectadas, esto se puede comprobar viendo las ilustraciones 15 y 16 donde se aprecia que el nivel del río con respecto al poblado tiene una diferencia muy baja, otro factor importante es que la cuenca es sumamente grande y toda la precipitación que cae en esta va directamente al río Tulín, el punto de estudio se encuentra muy próximo al final de este río, siendo uno de los puntos con mayor concentración de agua.

Es importante recalcar que entre años no se aprecia mayor cambio de la inundación y esto es debido a que las curvas de nivel alrededor del río crecen generando un efecto de concentración en la zona de inundación, esto se puede comprar con llenar un agujero, se necesita mucha cantidad de agua para poder hacer que este se desborde por motivos de volumen. La diferencia de alturas entre la regresión de 5 años contra la de 50 años es de 1.90 m en el punto más profundo.

#### **Tabla 10**

*Tabla de profundidades máximas durante inundación máxima*

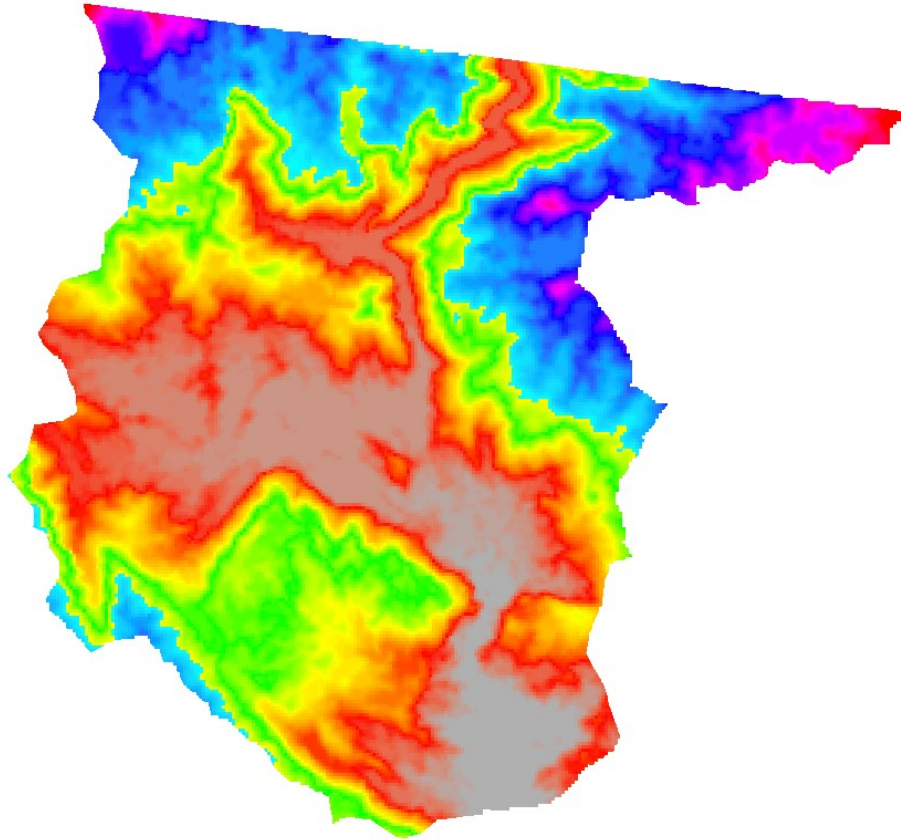
	5 años (2026)	10 años (2031)	15 años (2036)	25 años (2046)	50 años (2071)
Profundidad (m)	7.00	7.50	8.10	8.50	8.90

**Fuente: Autor**

Estas profundidades son el resultado numérico del punto más profundo con respecto al nivel del río, siendo estos valores el peor de los casos que se pueden presentar en la zona.

**Ilustración 29**

*Modelo de altimetría digital*



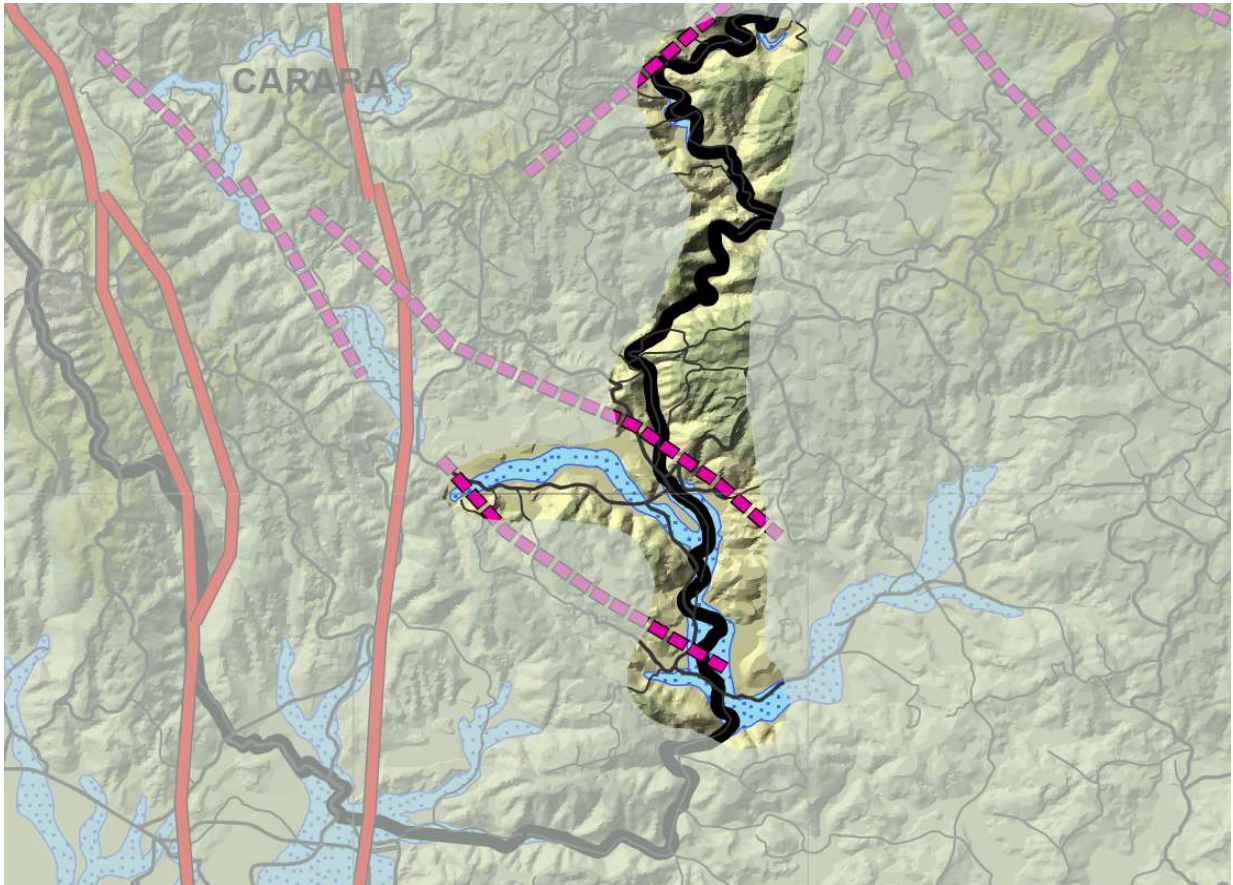
**Fuente:** Autor

**Ilustración 30***Curvas de nivel***Fuente: SNIT**



### 4.3.Comparativa CNE contra autor Ilustración 31

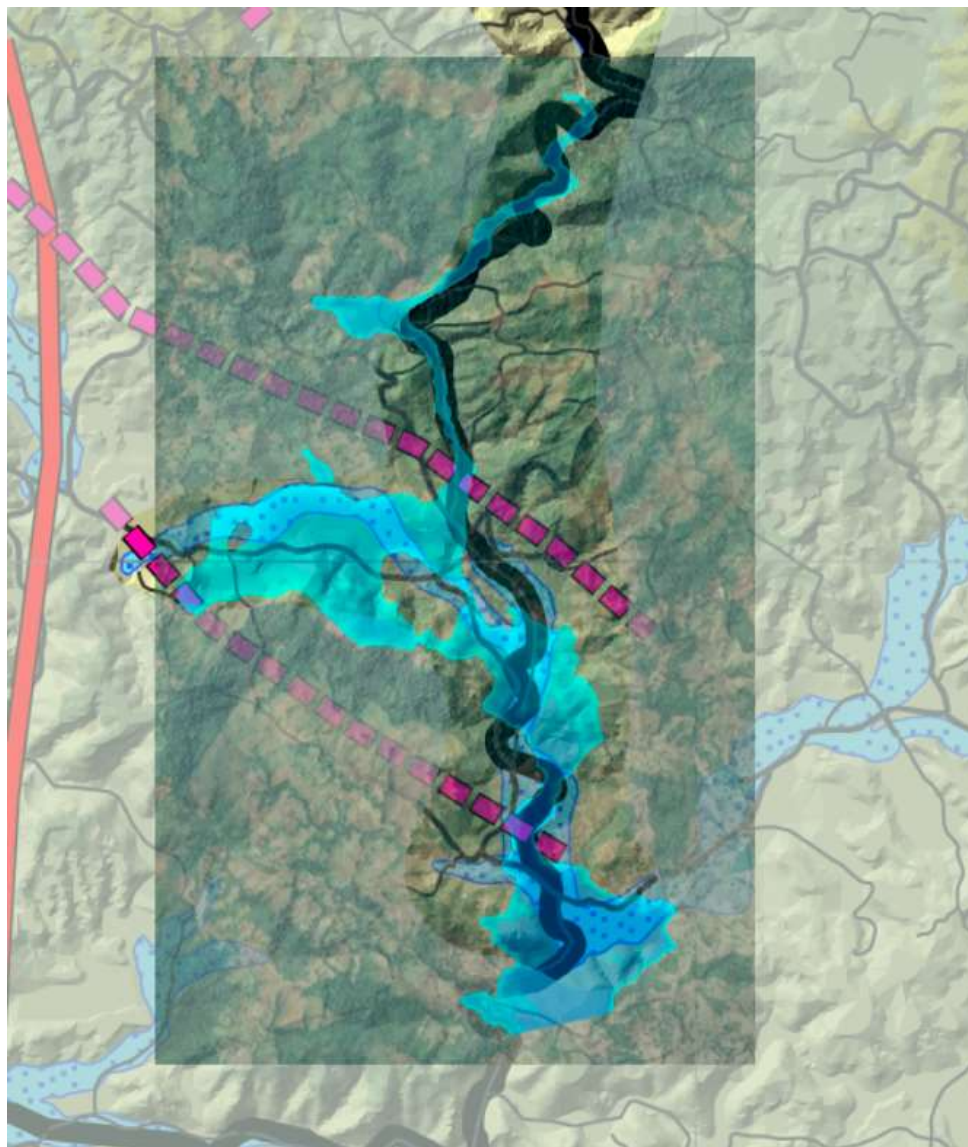
*Mapa CNE recortado*



**Fuente:** Autor

## Ilustración 32

### *Mapa superpuesto*



**Fuente:** Autor

A la hora de superponer los mapas del CNE contra el mapa generado es posible observar como el modelo de la institución nacional marca zonas similares al generado, pero estas son menores que las calculadas, además de ello no se comprende de la forma más sencilla qué sectores son afectados, ni el tiempo de la regresión estimada.

#### **4.4.Zonas habitadas comprometidas**



**Ilustración 33**

*Zona de inundación centro de San Antonio regresión de 5 años*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 34**

*Zona de inundación edificaciones en los alrededores del puente regresión de 5 años*



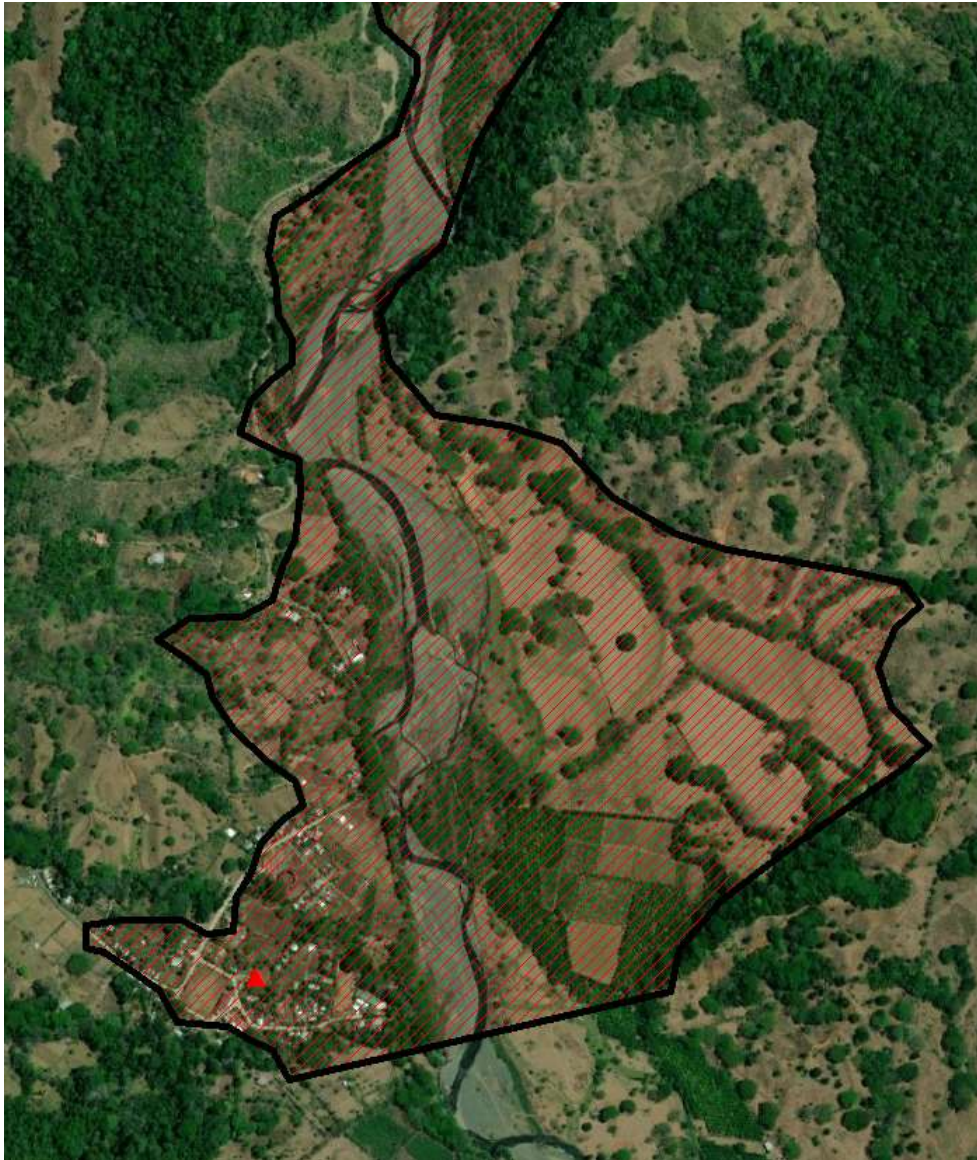
**Fuente:** Autor

En estas 2 ilustraciones se es posible visualizar las zonas de inundación en el periodo de regresión de 5 años, se comprende que la inundación tiene una afectación directa sobre las edificaciones que se encuentran a las orillas del rio y de la misma manera afectan a las zonas de agricultura en los alrededores.



**Ilustración 35**

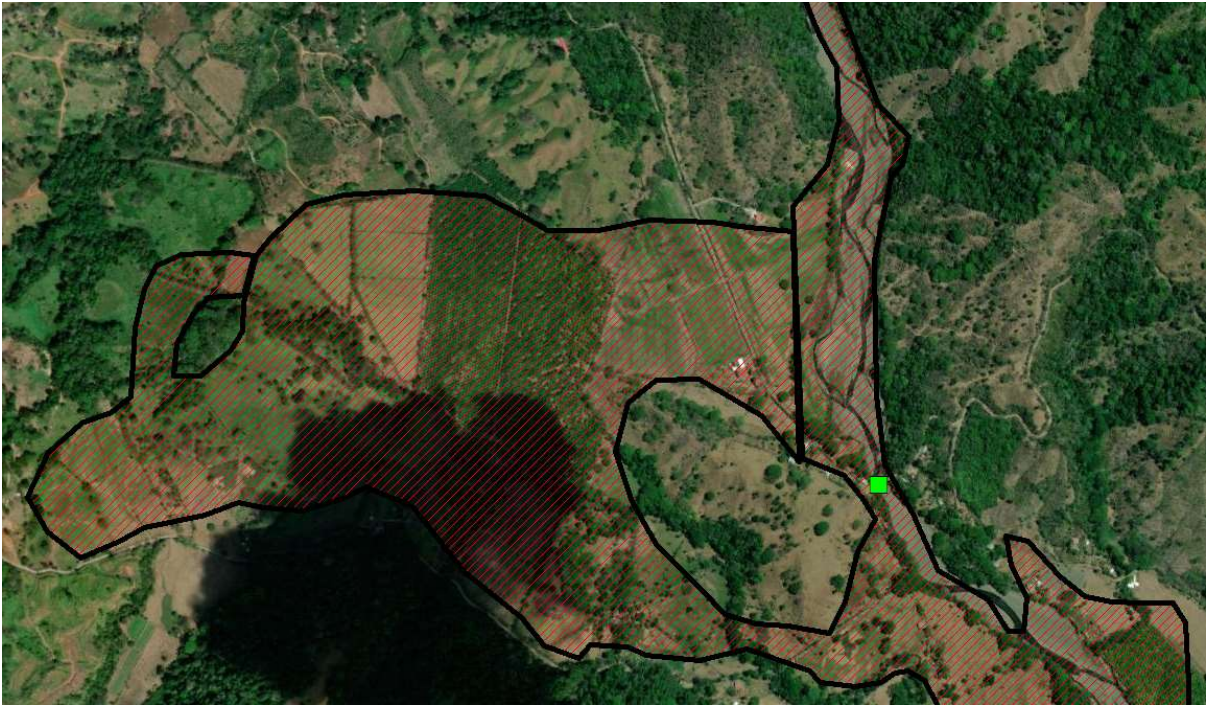
*Zona de inundación centro de San Antonio regresión de 10 años*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 36**

*Zona de inundación edificaciones en los alrededores del puente regresión de 10 años*

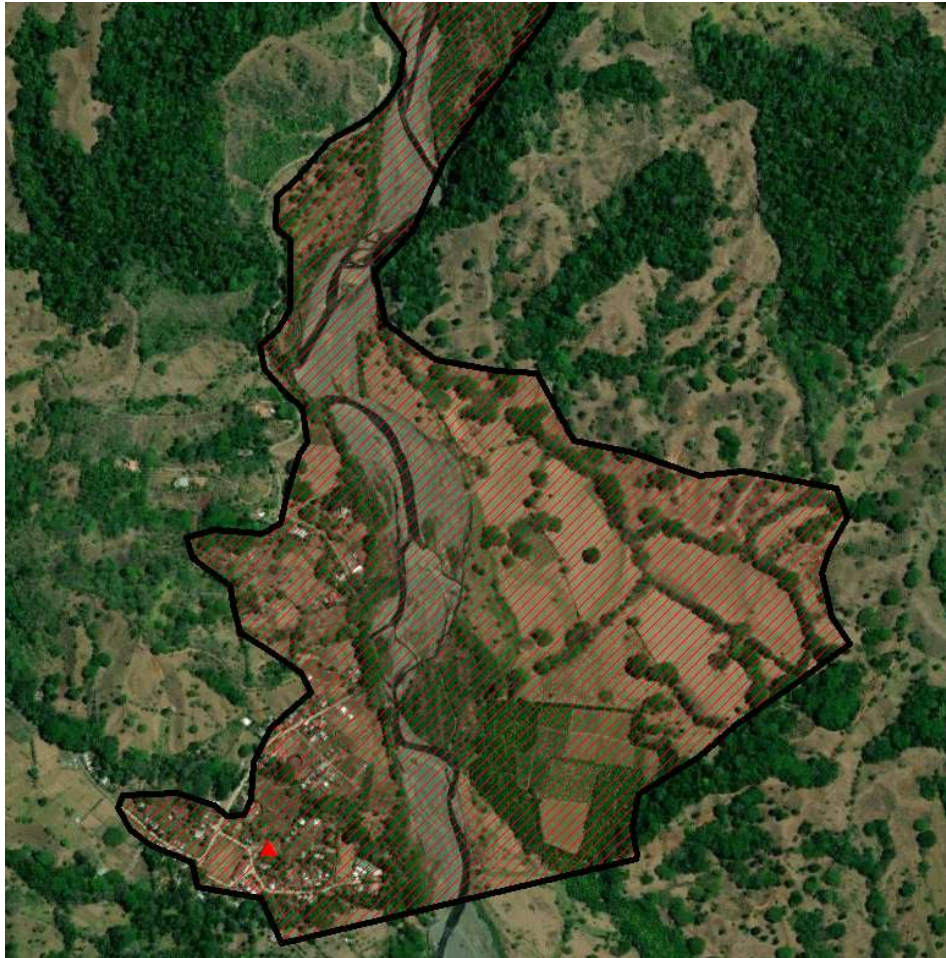


**Fuente:** Autor



**Ilustración 37**

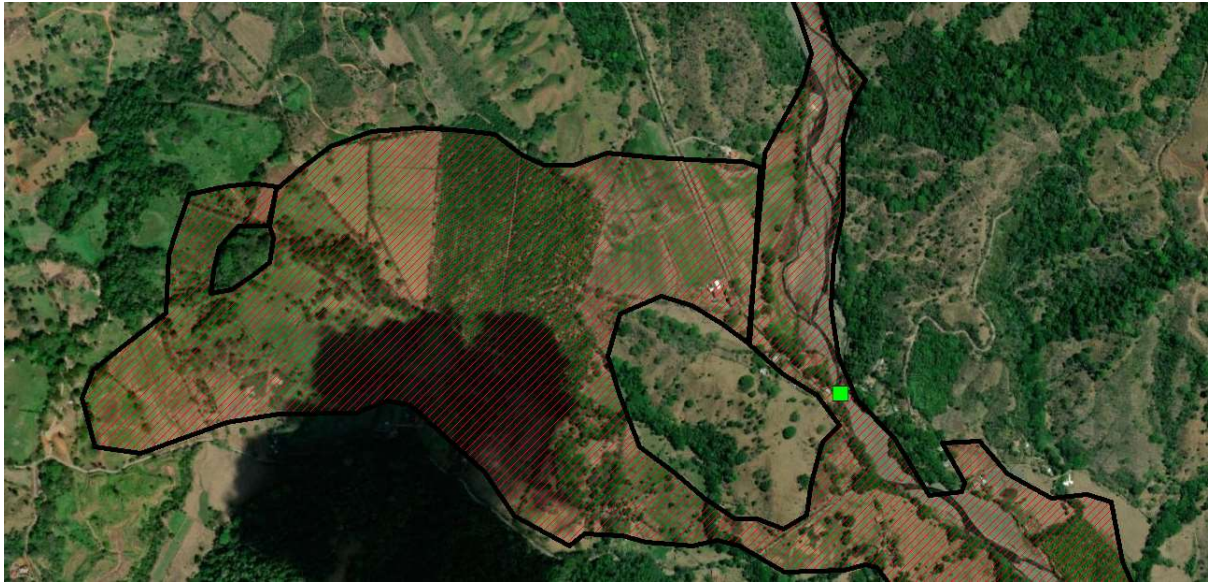
*Zona de inundación centro de San Antonio regresión de 15 años*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 38**

*Zona de inundación edificaciones en los alrededores del puente regresión de 15 años*

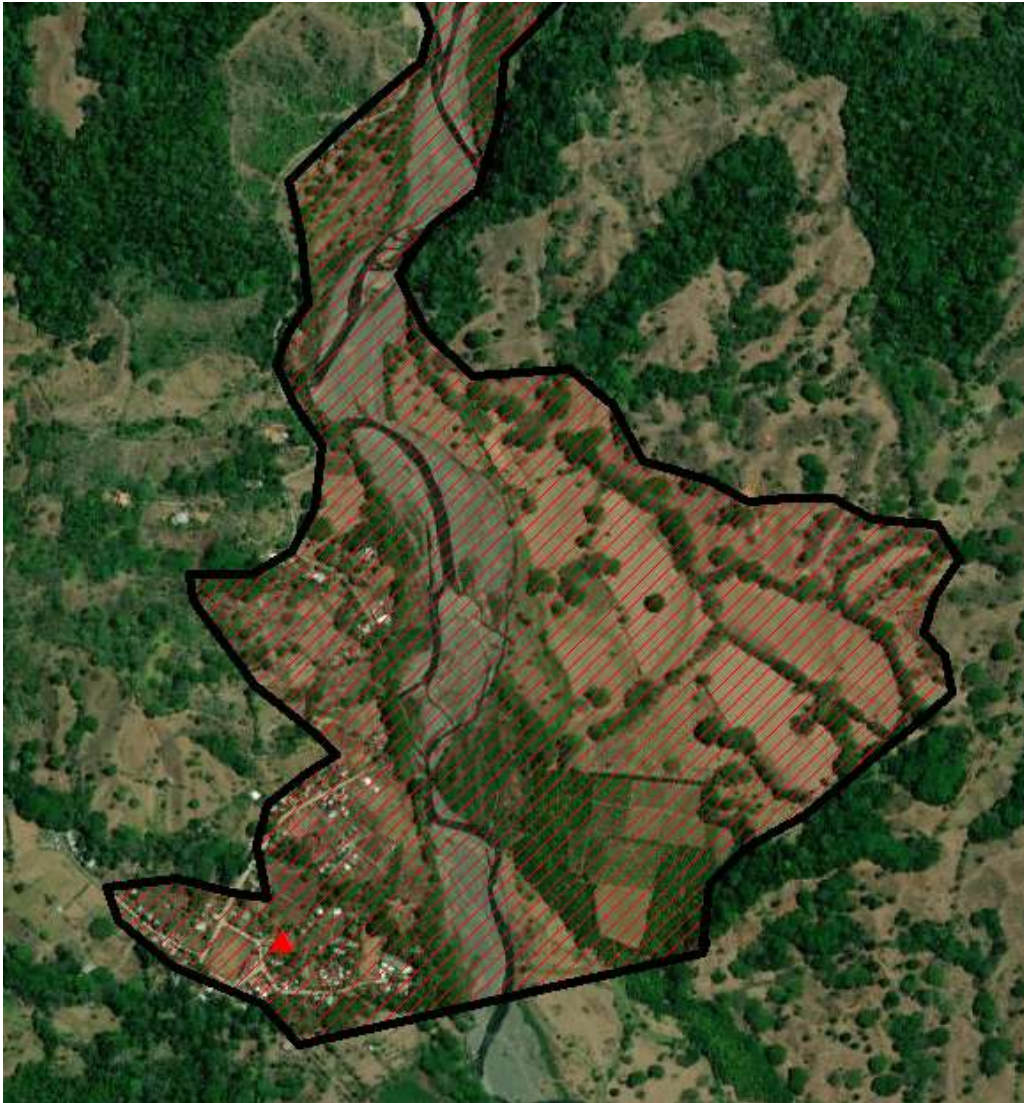


**Fuente:** Autor



**Ilustración 39**

*Zona de inundación centro de San Antonio regresión de 25 años*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 40**

*Zona de inundación edificaciones en los alrededores del puente regresión de 25 años*

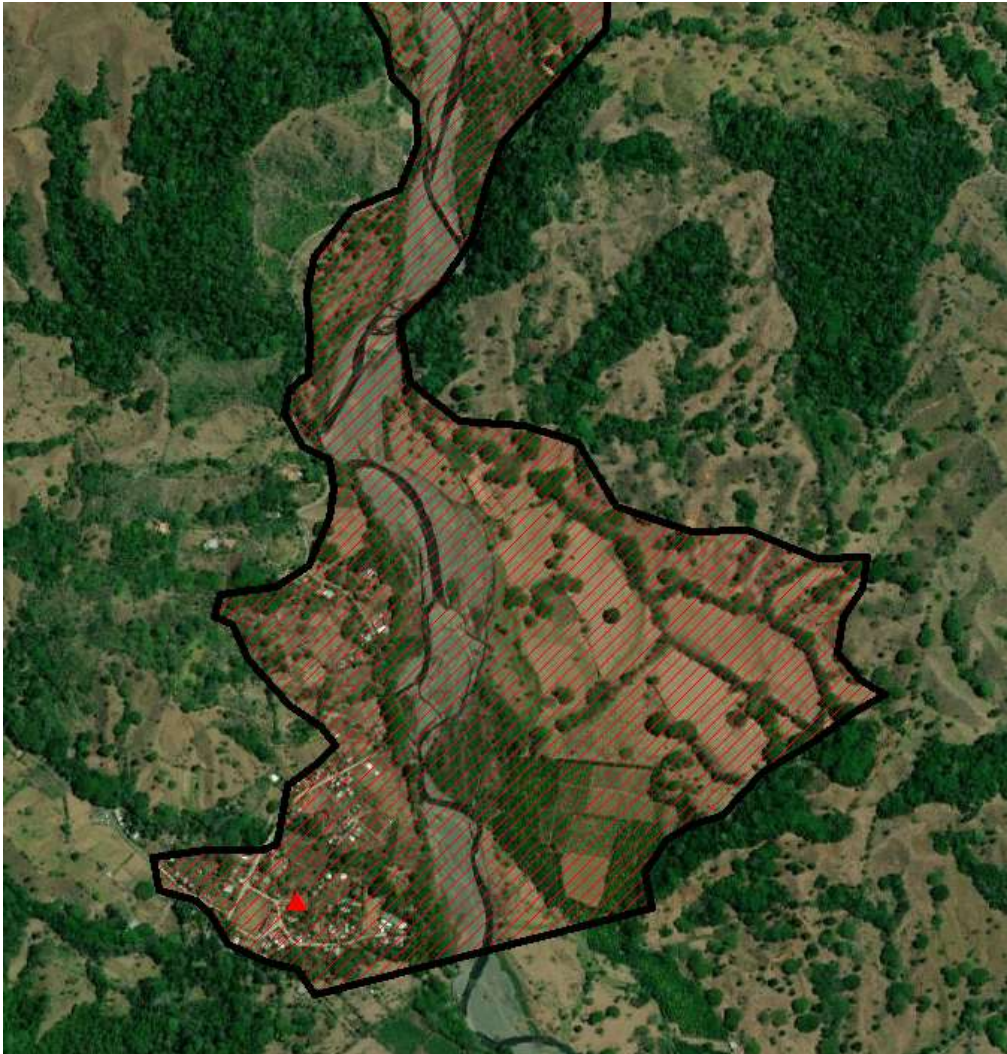


**Fuente:** Autor



**Ilustración 41**

*Zona de inundación centro de San Antonio regresión de 50 años*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 42**

*Zona de inundación edificaciones en los alrededores del puente regresión de 50 años*



**Fuente:** Autor

## 5. Conclusiones

Al analizar todos los resultados obtenidos de todas las regresiones de tiempo para una tormenta crítica y gracias a la representación obtenida por el programa HEC-RAS se puede concluir de forma certera que tanto el poblado de San Antonio de Tulín más varias zonas de agricultura y ganadería se verán afectadas por una inundación en años venideros con casos extremos de lluvia.

Estas zonas se ven afectadas directamente por motivos topográficos y el tipo de clima en la zona, se puede apreciar claramente en la ilustración 30 donde el nivel superficial del río tiene las mismas curvas de nivel y estas planicies coinciden directamente con el poblado, a esto de la misma manera se le suma la gran área que tributa a este río.

La inundación con las diferentes regresiones presenta una inundación muy similar, ya que aun con el aumento probabilístico pluvial la distancia horizontal de la inundación no excede los 10 m, pero de forma vertical existe un aumento aproximado de 2 m desde el punto más bajo del río. Esto es por motivo directo de las curvas de nivel.

Analizando el recorrido del río se encuentra un punto interesante al lado del puente sobre el poblado, debajo del puente el río se estrecha y en el momento que la inundación crece obliga al agua a desbordarse a un costado de este, concentrando una gran cantidad de agua en esta zona.

La municipalidad de Turrubares debe de ser consciente de este problema ya que permitir la construcción de viviendas o el desarrollo de la vida cotidiana en las zonas de planicie a los costados del río implicaría que en una tormenta de gran magnitud todos estos se verían afectados, bien esto se podría impedir directamente en los planes reguladores y no dando los permisos de desarrollo en estos sectores marcados en los mapas.

## 6. Recomendaciones

Es recomendable tomar medidas directas en el caso para poder asegurar el desarrollo de la zona en caso de una inundación venidera, a nivel de este trabajo se generan las siguientes observaciones y queda en decisión del que le concierne en implementarlas:

- Las viviendas deberían de estar elevadas mínimo 1 nivel con respecto al terreno.
- Mantener los sectores más angostos del río libres, el caso más crítico sería en la sección del puente sobre el poblado.
- En caso de que se buscara realizar una intervención a gran nivel sería posible generar en la zona del puente una laguna artificial que funcionase en el momento de la inundación, la cual concentraría una gran parte del agua en esta zona, amortizando el caudal que baja al poblado, pero esta acción generaría una pérdida de este terreno ligada al tamaño de la laguna a desarrollar.
- Es posible generar diques que eviten la inundación del poblado. Estos se deberán de ubicar estratégicamente para optimizar tanto coste como asegurar a la población.
- En casos de tormentas con altas cantidades de precipitación todos los habitantes deben de estar conscientes de las zonas de inundación y saber que se deben de desplazar a niveles más altos del terreno.

## 7. Referencias

- Aguilar Alcerreca, J. (1989). Hidráulica fluvial. Instituto Politécnico Nacional.  
<https://elibro.net/es/lc/ulatinacr/titulos/72154>
- Alaghmand, Sina & Sina, & Abdullah, Rozi & Abustan, Ismail & Behdokht, Vosoogh. (2010). GIS-based River Flood Hazard Mapping in Urban Area (A Case Study in Kayu Ara River Basin, Malaysia). International Journal of Engineering and Technology. 2.
- Ceballo Melendres, O. (2007). Relación precipitación-escurrencimiento. El Cid Editor.  
<https://elibro.net/es/lc/ulatinacr/titulos/34457>.
- Chanson, H. (2002). Hidráulica de Flujo en Canales Abiertos. Bogotá: McGrawHill Interamericana.
- Chaves Chaves, E. (2018). Son las de inundación en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica producidas por la quebrada los Negritos [Proyecto de graduación de Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. SIBDI.
- Chinchilla Dannenberger, J. (2016). ANÁLISIS Y SOLUCIONES A PROBLEMAS DE INUNDACIONES EN EL CANTÓN DE OREAMUNO, CARTAGO. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica. SIBDI.
- CHOW, V.T.1993 Hidrología Aplicada. McGrawhill. Universidad de Illinois. Estados Unidos de América.
- Cortés Muñoz, G. (2004). PROPUESTA DE INDICADORES PARA MEDIR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO TULÍN (TUSUBRES) [Proyecto de graduación para optar al grado de Megister Scientiae]. SIBDI.
- Crespo Martínez, A. (2011). Mecánica de Fluidos. Paraninfo.
- Delgado, A. (2021). Modelación hidrológica e hidráulica del Río Corredor, para la determinación de sitios de inundación en el poblado San Rafael y alrededores [Proyecto de graduación de Licenciatura, Universidad Latina de Costa Rica]. Repositorio Institucional - Universidad Latina de Costa Rica.
- Díez, A, Laín, L y Llorente, M. (2008). Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones Guía metodológica para su elaboración. Instituto Geológico y Minero de España.

- Eric, K. N. (Ed.). (2000). Impacto de los desastres en la salud pública. ProQuest Ebook Central  
<https://www.proquest.com>
- Escobar, J., Fragozo, J y Pérez, J. (2018). Modelación Hidráulica 2D de Inundaciones en Regiones con Escasez de Datos. El Caso del Delta del Río Ranchería, Riohacha Colombia. Universidad de la Guajira. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/>
- Andino, D. (2017). Flood hazard assessment in data-scarce basins: use of alternative data and modelling techniques (Order No. 10778605). Available from ProQuest One Academic. (2002493346). <https://www.proquest.com/dissertations-theses/flood-hazard-assessment-data-scarce-basins-use/docview/2002493346/se-2?accountid=32236>
- Martínez Santos, P. (2018). Hidrogeología: principios y aplicaciones. McGraw-Hill España.  
<https://elibro.net/es/lc/ulatinacr/titulos/50351>
- Monsalve Sáenz, G. (1999). Hidrología en la ingeniería (2a ed.). Alfaomega grupo editor, S.A.
- Nelson Arroyo, L. (1992). Riesgo de inundaciones en Costa Rica. Revista Geográfica de América Central, 373-384.  
<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2930/2802>
- Nicolás Aguilar R., Manfred Rodríguez y Jorge Umaña. (2010, Nov 03). Temporal deja 200 damnificados en Pacífico central y Santa Cruz. La Nación <https://www.proquest.com/newspapers/temporal-deja-200-damnificados-en-pacifico/docview/762046745/se-2?accountid=32236>
- Ochoa Rubio, T. (2011). Hidráulica de ríos y procesos morfológicos. Editorial Kimpres Ltda.
- Rivera-Trejo, F., Uh-Us, F., Soto-Cortés, G., & Díaz-Flores, L. L. (2013). INSPECCIÓN DE CAUCES: GUÍA DE RECONOCIMIENTO EN CAMPO. Tecnología y Ciencias Del Agua, 4(2), 149-161. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/inspección-de-cauces-guía-reconocimiento-en-campo/docview/1806554411/se-2?accountid=32236>
- Sánchez Juny, M. (2009). Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable. Una visión a partir del modelo HEC-RAS. Universidad Politécnica de Catalunya.  
<https://elibro.net/es/lc/ulatinacr/titulos/61457>.



Schosinsky, G., Losilla, M. (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base a la lluvia mensual, Revista Geológica de América Central, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

Solano, J y Villalobos, R (s.f.). REGIONES Y SUBREGIONES CLIMATICAS DE COSTA RICA. Gestión de Desarrollo Instituto Meteorológico Nacional.

Villón Béjar, M. (2004). Hidrología (1a ed). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Zegarra Velasquez, R. L. (2020). Riesgo y Desarrollo Territorial: Estudio De La gestión Del Riesgo De Desastres Vinculados a Inundaciones En La Trifrontera Entre Perú, Brasil y Bolivia y Sus Impactos En El Desarrollo (Order No. 28279909). Available from ProQuest One Academic. (2482715571). <https://www.proquest.com/dissertations-theses/riesgo-y-desarrollo-territorial-estudio-de-la/docview/2482715571/se-2?accountid=32236>

## 8. Anexos

### Ilustración 43

*Foto de río Tulin*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 44**

*Foto de río Tulin aguas arriba*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 45**

*Foto de río Tulin cerca de San Antonio de Tulin*



**Fuente:** Autor



**Ilustración 46**

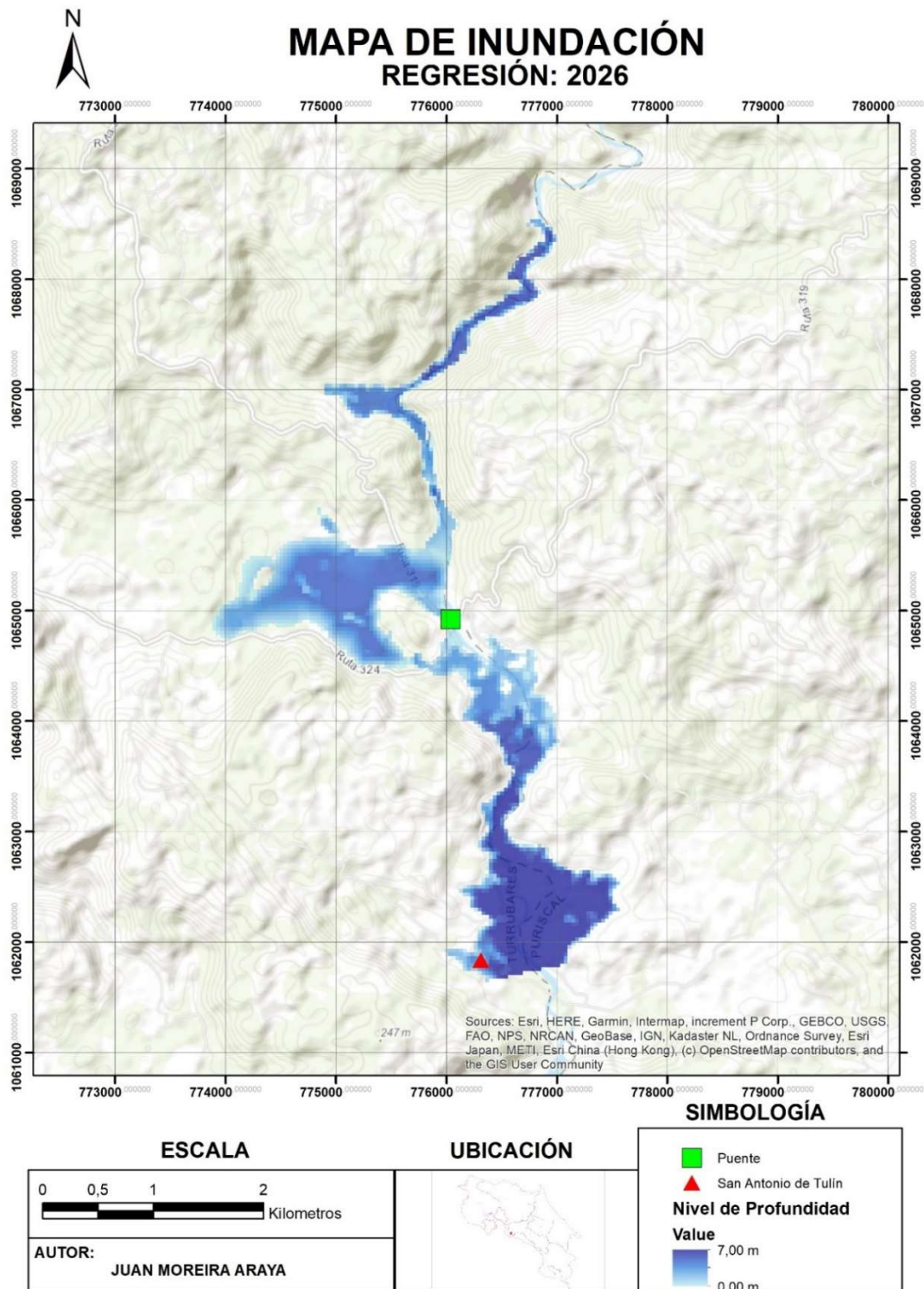
*Foto de río Tulin aguas arriba*



**Fuente:** Autor

**Ilustración 47**

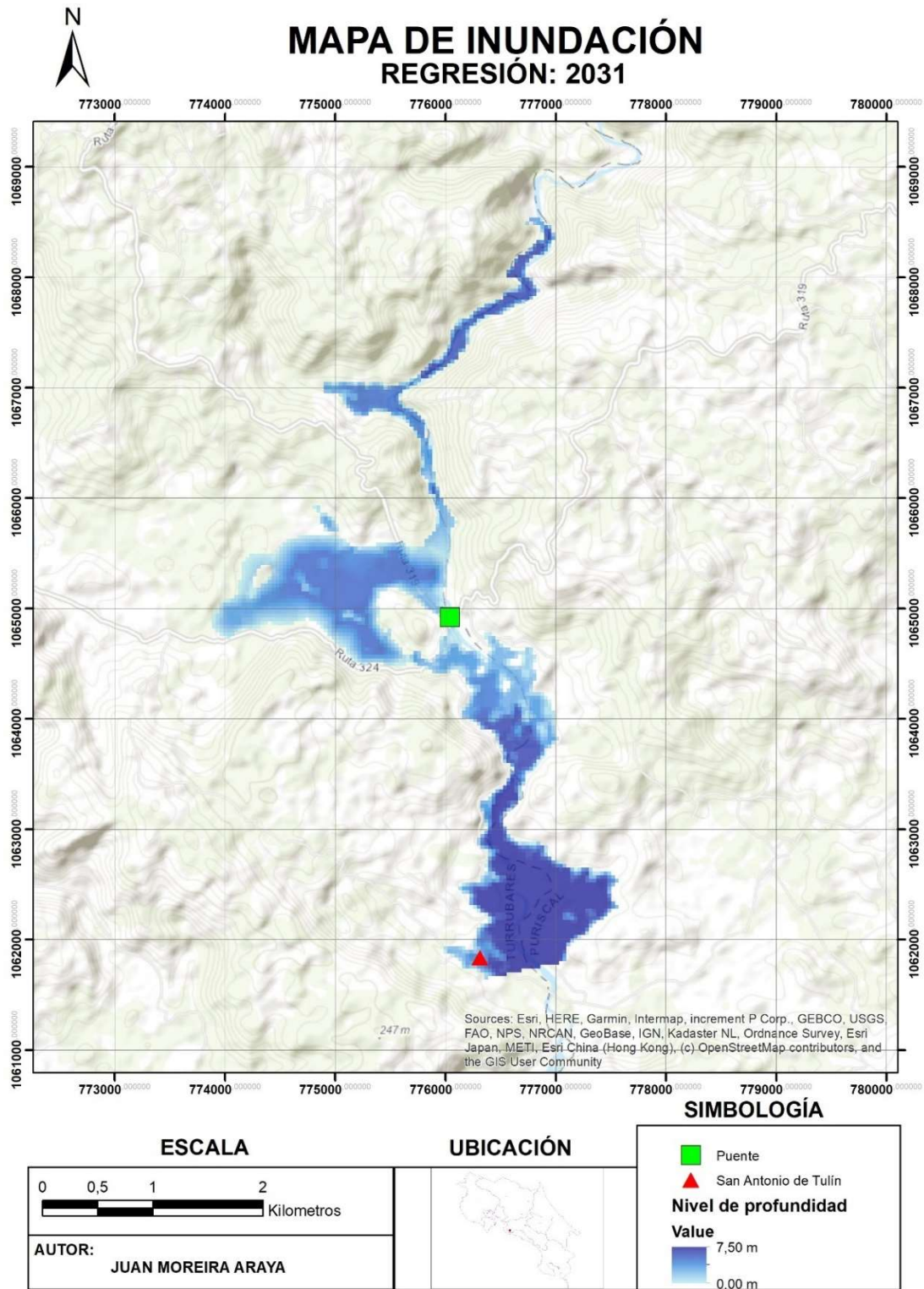
*Mapa de inundación regresión 2026*



Fuente: Autor

**Ilustración 48**

*Mapa de inundación regresión 2031*

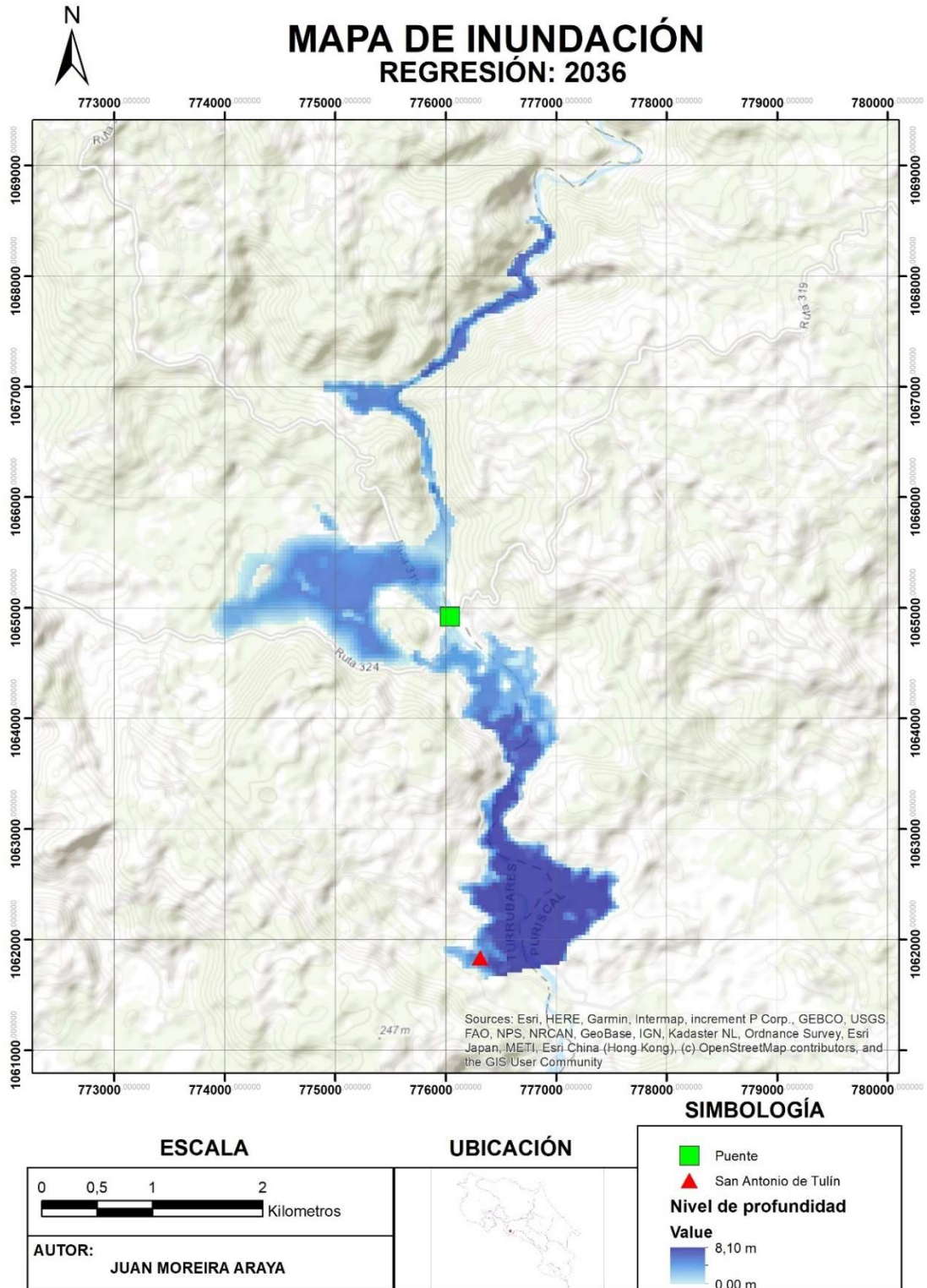


Fuente: Autor



**Ilustración 49**

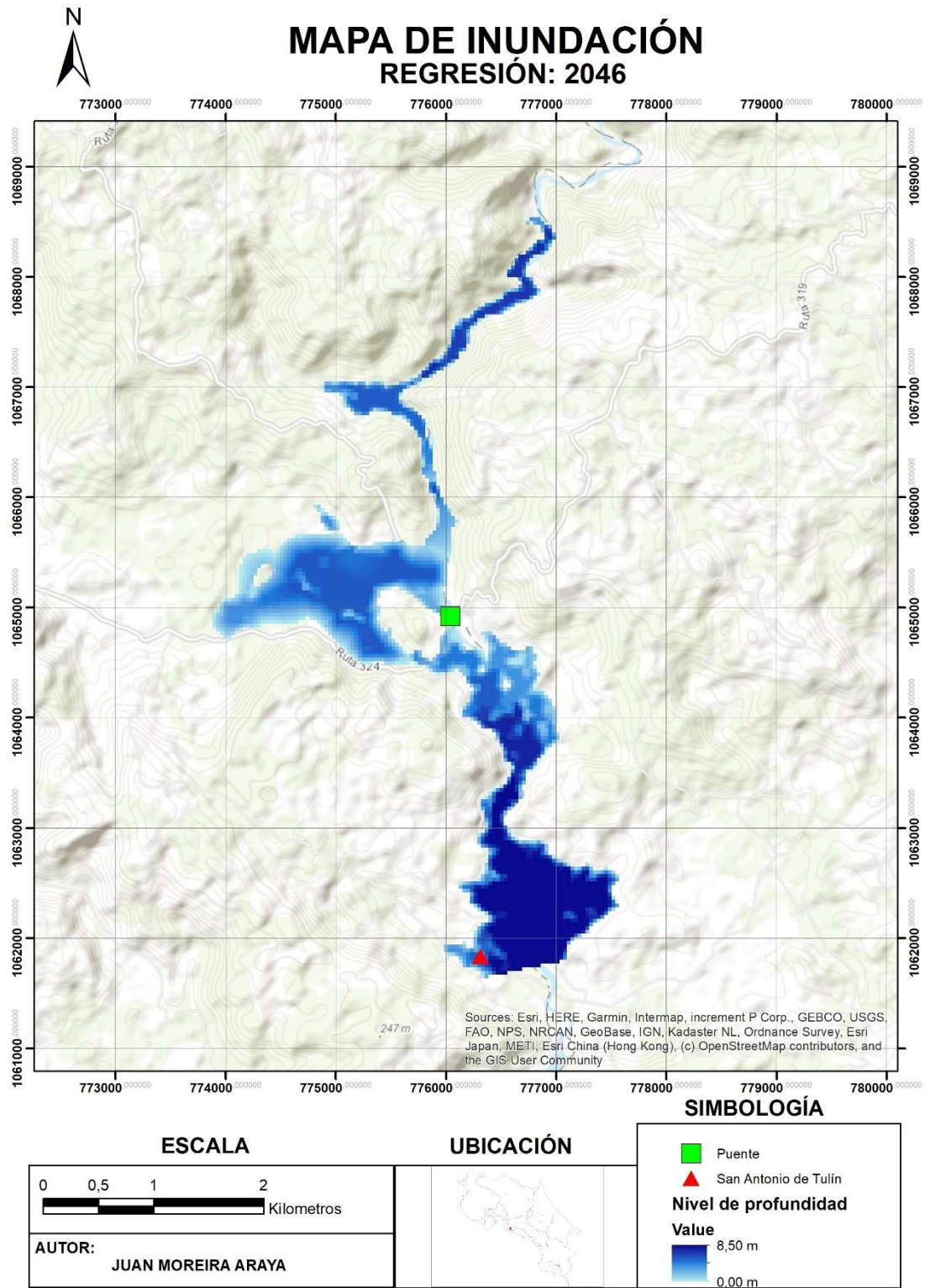
*Mapa de inundación regresión 2036*



Fuente: Autor

**Ilustración 50**

*Mapa de inundación regresión 2046*

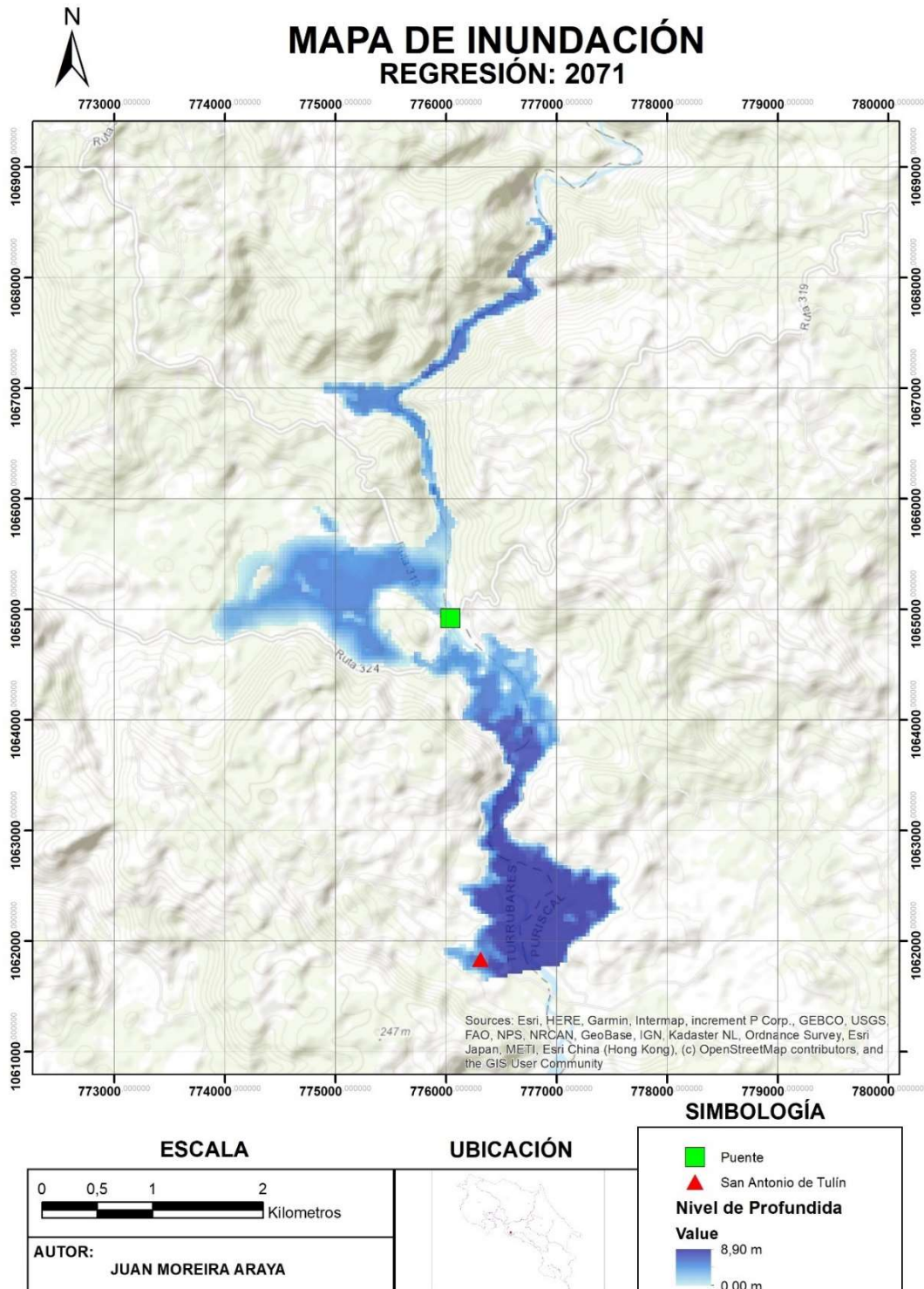


Fuente: Autor



**Ilustración 51**

*Mapa de inundación regresión 2071*



**Fuente: Autor**

## 9. Glosario

Caudal: es la cantidad de un líquido atravesando un área definida en un tiempo dado.

Cauce: es la sección transversal usualmente irregular donde transita el agua.

Área: es la medida de un plano bidimensional.

Perfil longitudinal: es el corte de toda la longitud de un objeto estudiado.

Perfil transversal: es un corte en el ancho de un objeto.

Velocidad: es la relación de distancia entre tiempo de un objeto.

Curvas de nivel: es la representación de altitudes de una forma bidimensional.

IMN: Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, institución encargada de estudios meteorológicos y de recolección de datos.

Escurrimiento: es toda el agua de lluvia no infiltrada que recorre ya sea de forma superficial o semi superficial el terreno.

Precipitación: Es toda el agua de lluvia que cae desde las nubes al terreno.

Pendiente: es la inclinación entre dos puntos dados.

Infiltración: es el proceso por el cual el agua es absorbida por el terreno.

Período de retorno: es la estimación de que una situación específica vuelva a suceder, esto por medio de registros históricos y cálculos matemáticos.

Población: grupo de personas conjuntas en una zona donde desarrollan su vida cotidiana.

Crecida: es el aumento lento o sumamente rápido de los niveles del agua.