

**MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RÍO GUALÍ EN EL MUNICIPIO DE
HONDA TOLIMA MEDIANTE LA HERRAMIENTA IBER**

CARLOS ANDRÉS BOHÓRQUEZ BOHÓRQUEZ

COD: 2135313

MANUEL SEBASTIÁN URREGO JIMÉNEZ

COD: 2114050

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2021**

**MODELACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RÍO GUALÍ EN EL MUNICIPIO DE
HONDA TOLIMA MEDIANTE LA HERRAMIENTA IBER**

CARLOS ANDRÉS BOHÓRQUEZ BOHÓRQUEZ

COD: 2135313

MANUEL SEBASTIÁN URREGO JIMÉNEZ

COD: 2114050

DIRECTOR:

DARWIN MENA RENTERÍA

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

MAGÍSTER EVALUACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

CODIRECTOR:

MIGUEL ANGEL CAÑON RAMOS

INGENIERO AMBIENTAL

MSC(C) EN HIDROSISTEMAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2021

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA 2021

DEDICATORIA

Mi gratitud a todas las personas que estuvieron presente en el desarrollo del presente documento especialmente a nuestras familias por brindarnos el aliento de culminar nuestros estudios, al Ing. Miguel Ángel Cañón cuyo papel fue de gran importancia en el desarrollo de este trabajo y a todas las personas que de una u otra manera estuvieron apoyando esta investigación y que nos brindaron una ayuda a nuestro crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a nuestros padres por todo el apoyo y la paciencia que han tenido durante estos años ya que sin ellos no habiéramos podido lograr esto, seguidamente queremos agradecer de manera especial a un excelente maestro y un gran amigo cómo lo es el Ing. Miguel Ángel Cañón ya que él siempre estuvo presente para ser una mano amiga cuando lo necesitamos.

Agradecemos a los maestros que durante toda la carrera nos ayudaron para prepararnos en lograr ser unos grandes ingenieros, y finalmente a todos los amigos y compañeros que pasaron por nuestra vida en el proceso que estamos culminando.

CONTENIDO

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>17</u>
<u>2</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>20</u>
2.1	OBJETIVO GENERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
<u>3</u>	<u>MARCO TEÓRICO</u>	<u>21</u>
3.1	CONTEXTO GEOGRÁFICO	21
3.1.1	CLIMA	22
3.2	CONTEXTO SOCIAL	24
3.3	CONTEXTO TEÓRICO	24
3.3.1	CICLO HÍDRICO	24
3.3.2	PRECIPITACIÓN	25
3.3.3	INUNDACIONES	25
3.3.4	AVENIDAS TORRENCIALES	25
3.3.5	CUENCA	26
3.3.6	HIDROGRAMAS	26
3.3.7	CONDICIONES DE FLUJO	27
3.3.8	CONDICIONES DE CONTORNO	27
3.3.9	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA O PROMEDIO DE LA CUENCA	27
3.3.10	CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA	27
3.3.11	HISTOGRAMA DE FRECUENCIA	28
3.3.12	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	28
3.3.13	CURVAS IDF	28
3.3.14	NÚMERO DE CURVAS	29
3.3.15	COEFICIENTE RUGOSIDAD DE MANNING	29
3.3.16	MODELACIÓN HIDROLÓGICA	30
3.3.17	HEC-HMS	30
3.3.18	COMPONENTES DEL MODELO HEC-HMS	31
3.3.19	CARACTERÍSTICAS	31
3.3.20	DESCRIPCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS	32
3.3.21	MODELACIÓN HIDRODINÁMICA	35
3.3.22	IBER	35
	MODELOS NUMÉRICOS DE IBER	36
3.4	CONTEXTO LEGAL	38
3.4.1	MARCO LEGAL	38
<u>4</u>	<u>METODOLOGÍA</u>	<u>40</u>

4.1 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE DATOS	40
4.1.1 SALIDA DE CAMPO	41
4.1.2 SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES	41
4.1.3 MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL	41
4.1.4 COEFICIENTE DE MANNING	42
4.1.5 NÚMERO DE CURVAS	42
4.1.6 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA	42
4.1.7 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	43
4.2 DESARROLLO DE LOS MODELOS.....	43
4.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	44
 <u>5 RESULTADOS</u>	 <u>45</u>
5.1 DATOS PREVIOS A LA MODELACIÓN	45
5.1.1 MAPA DE POLÍGONOS DE THIESSEN DE LA CUENCA DEL RÍO GUALÍ	45
MAPA DE POLÍGONOS DE THIESSEN DE LA CUENCA DEL RÍO GUALÍ	45
5.1.2 MAPA DE ESTACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO GUALÍ.....	46
5.1.3 ÁREA.....	46
5.1.4 LONGITUD DE LA CUENCA PRINCIPAL	47
5.1.5 PERÍMETRO DE LA CUENCA.....	47
5.1.6 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA O PROMEDIO DE LA CUENCA	47
5.1.7 CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA	47
5.2 REGISTRO FOTOGRÁFICO VISITA DE CAMPO	48
5.3 MODELACIÓN	49
5.4 CALIBRACIÓN	51
5.4.1 SIMULACIONES DEL MODELO HIDRODINÁMICO CON LA HERRAMIENTA IBER	53
5.5 MAPAS MODELO IBER	54
5.5.1 PERIODO DE RETORNO 2.5 AÑOS	54
5.5.2 PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS	56
5.5.3 PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	58
5.5.4 PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS	60
5.6 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	62
5.7 PERIODO DE RETORNO 2.5 AÑOS	63
5.8 PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS	64
5.9 PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS	64
5.10 PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS	65
5.10.1 MAPA DE PUNTOS IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS EN HONDA	65
5.10.2 MAPA DE INUNDACIÓN CON IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE AMENAZA EN HONDA.	66
 <u>6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</u>	 <u>67</u>
 <u>7 IMPACTO SOCIAL</u>	 <u>69</u>

8 CONCLUSIONES	70
-----------------------------	-----------

9 RECOMENDACIONES.....	71
-------------------------------	-----------

LISTAS DE IMÁGENES

<i>Imagen 1 . Cuenca del río Gualí. Fuente: Autores.....</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 2 Mapa de precipitación cuenca del río Gualí.</i>	<i>22</i>
<i>Imagen 3 Mapa de Temperatura Cuenca del río Gualí.....</i>	<i>23</i>
<i>Imagen 4 Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma.....</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 5 Grafica de metodología implementada para la elaboración del proyecto.</i>	<i>40</i>
<i>Imagen 5. Mapa de polígonos de Thiessen de la cuenca del río Gualí.</i>	<i>45</i>
<i>Imagen 6. Mapa de Estaciones Cuenca del Río Gualí.</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 7. Gualí en el municipio de Honda. Fuente: Autores.....</i>	<i>48</i>
<i>Imagen 8 . Afectaciones por el río Gualí. Fuente: Autores</i>	<i>48</i>
<i>Imagen 9. Desechos arrojados al rededor del cauce. Fuente: Autores.</i>	<i>49</i>
<i>Imagen 10. Modelo HEC-HMS.....</i>	<i>52</i>
<i>Imagen 11 Velocidad en X m³/s, periodo de retorno 2.5 años.</i>	<i>54</i>
<i>Imagen 12. Mapa de Velocidad en Y m³/s, periodo de retorno 2.5.....</i>	<i>54</i>
<i>Imagen 13. Mapa Altura en metros de lámina de agua.</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 14. Mapa Velocidad en eje X m³/s, periodo de retorno de 10 años.</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 15. Mapa Velocidad en eje Y m³/s para un periodo de retorno de 10 años.</i>	<i>56</i>
<i>Fuente: Autores.</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 16. Mapa Altura en metros lámina de agua en periodo de retorno de 10 años. Fuente: Autores.....</i>	<i>57</i>
<i>Imagen 17. Mapa Velocidad en eje X m³/s, para el periodo de retorno de 50 años.</i>	<i>58</i>
<i>Fuente: Autores.</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 18. Mapa Velocidad en eje Y m³/s, para un periodo de retorno 50 años.</i>	<i>58</i>
<i>Fuente: Autores.</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 19. Mapa Altura lámina de agua en metros, del periodo de retorno de 50 años. Fuente: Autores.....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen 20. Mapa Velocidad en eje X m³/s, para el periodo de retorno de 100.</i>	<i>60</i>
<i>Fuente: Autores</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 21. Mapa Velocidad en eje Y m³/s, en periodo de retorno de 100 años.</i>	<i>60</i>
<i>Fuente: Autores.</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 22. Mapa Altura lámina de agua en metros, en periodo de retorno de 100 años. Fuente: Autores.....</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 23. Mapa de puntos identificación de amenazas en Honda.....</i>	<i>65</i>
<i>Imagen 24 Mapa de puntos identificación de amenazas en Honda.....</i>	<i>66</i>

LISTAS DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1 Curva IDF estación 21230090. Fuente: Autores</i>	<i>29</i>
<i>Grafica 3 Curva hipsométrica de la cuenca del río Gualí. Fuente: Autores</i>	<i>47</i>
<i>Grafica 9. Niveles de amenaza de acuerdo con velocidad y profundidad de lámina de agua. Fuente: [52].....</i>	<i>62</i>

LISTAS DE TABLAS

<i>Tabla 2 Marco legal. Fuente: Autores</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5. caudales de diferentes periodos de retorno</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 7. Niveles de amenaza asociadas las variables hidráulicas.</i>	<i>63</i>

LISTAS DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Media ponderada de las precipitaciones.</i>	<i>32</i>
<i>Ecuación 2 Método SCS-CN.....</i>	<i>33</i>
<i>Ecuación 3 Circulación de la lluvia efectiva a través de la cuenca.</i>	<i>33</i>
<i>Ecuación 4 Tiempo máximo en horas.....</i>	<i>33</i>
<i>Ecuación 5 Tiempo de desfase de la cuenca.</i>	<i>34</i>
<i>Ecuación 6 Calculo caudal saliente del tramo.</i>	<i>34</i>
<i>Ecuación 1. Venant bidimensionales. Fuente: [47].</i>	<i>36</i>
<i>Ecuación 2 Fricción de fondo. Fuente: [47].....</i>	<i>37</i>
<i>Ecuación 3 fricción de fondo. Fuente: [64].</i>	<i>37</i>
<i>Ecuación 4 Viscosidad. Fuente: [64].....</i>	<i>38</i>

ANEXOS

Anexo 1. Curvas de intensidad duración frecuencia en diferente periodo de retorno.

Anexo 2. Hietogramas en diferentes periodos de retorno

GLOSARIO

- **Avenidas torrenciales:** las avenidas torrenciales son un tipo de movimiento en masa que se desplazan generalmente por los cauces de la quebrada, llevando a transportar volúmenes importantes de sedimentos, con velocidades peligrosas para los habitantes y la infraestructura que se encuentran ubicadas en las zonas de inundación [1].
- **Caudales:** el caudal es el volumen, de la cantidad de litros, que pasa por una sección específica de la una quebrada, río o arroyo en un tiempo determinado [2].
- **Cuenca:** área de drenaje de un curso de agua, río o lago [3].
- **Curvas IDF:** las curvas intensidad duración frecuencia, representa la intensidad o la magnitud de una lluvia fuerte que se expresa en milímetros por hora, para una duración que puede ser determinada [4].
- **HEC-HMS:** es un programa que calcula el hidrograma producido por una cuenca si lo facilitamos de la cuenca y datos de precipitaciones [5].
- **IBER:** es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de IBER abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos, y el flujo de marea en estuarios [6].
- **IDEAM:** instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), es una institución pública de apoyo técnico y científico al sistema nacional ambiental, que genera conocimientos, produce información confiable y consistente. sobre los estados y las dinámicas de los recursos naturales y del medio ambiente, que facilite la definición y ajustes de las políticas ambientales.
- **Inundación:** es el evento que debido a la precipitación (lluvia, nieve, o granizo extremo) provoca un incremento en el nivel de la superficie libre de agua [7].

- **Inundaciones súbitas:** son consecuencias que son ocasionadas por tormentas que caen en una superficie pequeña y escarpada, es decir, con fuertes pendientes, que ocurren en cuestiones de minutos [8].
- **Lámina de agua:** es la forma de expresar y de visualizar la cantidad de agua que existe o que está almacenada en el suelo en términos de altura [9]
- **Modelación hidrodinámica:** la modelación hidrodinámica de ríos es una herramienta fundamental en el estudio de área inundables en épocas de crecidas [10], la modelación hidrodinámica es capaz de simular una gran variedad de problemas ambientales, capaz de resolver ecuaciones de movimiento de superficie libre [11].
- **Periodo de retorno:** intervalo de tiempo medio a largo transcurrido entre un fenómeno hidrológico y otro igual o mayor magnitud, por ejemplo, caudal o nivel máximo de crecida [12].
- **Ronda hídrica:** es un área de especial importancia ecológica de dominio público inalienable, imprescriptible e inembargable que juega un papel fundamental desde el punto de vista ambiental [12].
- **Temporadas de lluvia:** son épocas del año en la cual se produce la mayor precipitación media anual de una región [13].
- **UNGRD:** la unidad nacional para la gestión del riesgo de desastres (UNGRD), dirige la implementación de la gestión del riesgo de desastre, atendiendo las políticas de desarrollo sostenible, y coordina el funcionamiento y el desarrollo continuo del sistema nacional para la prevención y atención de desastres.

RESUMEN

En el presente proyecto se realizaron modelos hidrológicos e hidrodinámicos que dieron una idea aproximada sobre el comportamiento del río Gualí en su paso por el municipio de Honda y con los cuales se identificó algunos impactos que se podrían generar.

Es por esto que se realizó un análisis en el área de estudio, con el propósito de evidenciar las áreas vulnerables que se encuentran en cercanías al río Gualí.

Este modelo se desarrolló con la ayuda del software IBER que es una herramienta que genera modelaciones numéricas del flujo de agua, en una lámina libre en 2 dimensiones (2D), IBER es un modelo desarrollado por la administración pública española, con la colaboración de las universidades de Universidad de Coruña, Universidad de Santiago de Compostela, Universidad Politécnica de Catalunya y el Centro internacional de métodos numéricos en ingeniería [14]. De igual manera se usaron softwares complementarios: ArcGIS y HEC-HMS.

Para el desarrollo de este trabajo de grado, se tuvo en cuenta la información registrada de las estaciones: Mariquita, el Edén, el Mango, la Danta, la Cimarrona, el Guayabo, Aeropuerto Honda, Aeropuerto Mariquita y las Brisas. A partir de esto se tomó en cuenta información secundaria de eventos generados por inundaciones que se presentan en las épocas de alta precipitación especialmente en las zonas altas de la cuenca, con la finalidad de poder justificar que las zonas se están viendo afectada por inundaciones generadas por el aumento de la lámina de agua del cauce y que ha perjudicado a la población que se encuentra ubicada en cercanías al río.

Luego de la recopilación de la información de las estaciones cercanas al cauce del río se realizaron las modelaciones en los diferentes periodos de tiempos seleccionados en HEC-HMS con la finalidad de poder obtener caudales de salida aguas abajo, información que se utilizara como datos iniciales en el software IBER donde se obtuvieron los escenarios de inundación logrando la información de

velocidades en los ejes X y Y, obteniendo valores en unidades de m^3/s además de la altura de la lámina de agua.

Con la información obtenida a partir de los resultados arrojados por la herramienta IBER, se desarrollaron los análisis de los resultados arrojados por el software en cada evento.

Palabras claves: inundaciones, modelo hidrológico, modelo hidrodinámico, Hec-Hms, IBER.

RESUME

In this project, a model was made, which will serve as a tool for government and state entities in Honda, department of Tolima, in order to calculate and identify the threats that are generated by the floods that occur in the area.

This is why an analysis was carried out in the study area, in order to show the vulnerable areas that are in the vicinity of the Gualí River.

This model was developed with the help of the IBER software, which is a tool that generates numerical models of the water flow in a 2-dimensional (2D) free sheet. IBER is a model developed by the Spanish public administration, with the collaboration of: University of Coruña, the University of Santiago de Compostela, the Polytechnic University of Catalonia and the International Center for Numerical Methods in Engineering [14]. The ArcGIS and HEC-HMS softwares were used as a complement in the same way. For the development of this project, the registered information of the stations was taken into account: Mariquita, El Edén, El Mango, La Danta, La Cimarrona, El Guayabo, Honda Airport, Mariquita Airport and Las Brisas. From this, secondary information on events generated by floods that occur in times of high rainfall, especially in the upper areas of the basin, were taken into account. This information was taken into account in order to justify that the areas are being affected by floods generated by the increase in the water surface of the riverbed and that has harmed the population that is located near the river. After collecting the information from the stations close to the riverbed, the modeling was carried out in the different periods of time selected in HEC-HMS in order to be able to obtain downstream outflow. This information will be used as initial data in the IBER software where the flood scenarios were obtained. Obtaining velocity information on the X and Y axes, obtaining values in units of m^3 / s in addition to the height of the water surface. With the information obtained from the results calculated by the IBER tool, we proceeded to develop the analysis of the results obtained by the software in each

event. In this way, we can provide possible solutions to the risks that are caused by the overflowing of the river. This is why strategies for mitigation, prevention and attention to emergencies are proposed in order to reduce the risks caused by extreme rainy seasons. It is important to clarify that this document seeks to provide approximate information on flooding events that occur in the study area, such as threats invulnerable areas.

Keywords: Floods, hydrological model, hydrodynamic mode, Hec-Hms, IBER.

1 INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países más ricos a nivel global en cuanto al aporte hídrico, pues sus condiciones geográficas la benefician en ser uno de los países con una contribución importante al aporte hídrico a nivel mundial. Se cuenta con 2.5% de agua dulce y el 97.5% es agua salada [15]. De ese 2.5% de disponibilidad de agua, Colombia aporta el 5% a nivel mundial, pues su precipitación anual es de 3.420 mm [16] y la del resto del mundo 900 mm [17]. Estos aportes de agua se componen por la precipitación que es generada por el ciclo hídrico y esa disponibilidad de agua con la que cuenta Colombia se ve reflejado en los ríos del territorio nacional, dentro de los más importantes son las cuencas; Amazonas, Magdalena, Cauca y Orinoco [18].

La modelación hidrodinámica es una herramienta que se utiliza para la determinación de diferentes problemas, pues estos pueden cumplir con la finalidad de brindar información detallada de un evento o acontecimiento, esto puede llegar a tener diferentes funciones tales como lo son el análisis de comportamiento de los caudales, el análisis del comportamiento actual del río, el comportamiento de contaminantes, entre otras, y es fundamental en el estudio de áreas inundables en épocas de crecidas [10]. Y son realizadas en las tres dimensiones (1D, 2D y 3D).

En Latinoamérica podemos encontrar en diferentes países la implementación de la modelación hidrodinámica de caudales como por ejemplo Argentina, Chile y Colombia.

En Argentina, la modelación que se realizó en el tramo medio del río Calamuchita, ubicado en la provincia de Córdoba, es analizado en dos dimensiones y es desarrollado a través de HEC-RAS (1D) e IBER (2D), dos diferentes softwares con el fin de determinar un modelo unidimensional y otro bidimensional. El enfoque de

la funcionalidad de esta modelación es determinar posibles catástrofes, ya que en dicha zona se han presentado inundaciones afectando a la población. [10].

Chile ha utilizado la modelación hidrodinámica para estudiar el estuario del río Mataquito que está ubicado en la región de Maule. Este estuario se identifica morfológicamente por ser angosto y poco profundo con una barra litoral que se conecta al océano. Esta investigación se caracteriza por el comportamiento hidrodinámico que se genera en la desembocadura de este río. Luego del terremoto y el Tsunami del 27 de febrero del 2010 las condiciones topográficas se vieron afectadas generando cambios y alteraciones en la zona y debido a esto se desarrolla el proyecto por medio de una modelación numérica utilizando como forzantes el río y el efecto de las mareas. Esta modelación se realizó gracias al software DELFT-3D. [19]

En Colombia se han desarrollado diferentes tipos de modelación, una de esas modelaciones hidrodinámicas es la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Atlántico. Este estudio se desarrolló a partir de un modelo bidimensional (modelo EFDC Explorer) con el fin de determinar una serie temporal de agua del embalse con los resultados de las velocidades medias durante dos (2) períodos climáticos, el período de lluvias y el período de sequía, como resultado del aprovechamiento del sistema hídrico. [20]

El departamento del Tolima cuenta con una gran riqueza de suelos y gran diversidad de climas que permiten que este se beneficie de agua dulce, cuenta con dieciocho cuencas mayores dentro de la que se destaca el río Gualí [21]. Lo que ha afectado que la influencia de este y la transformación del uso del suelo, causen inundaciones en temporada de lluvias extremas.

Es por esto que en el municipio de Honda se ha visto perjudicado por inundaciones causadas en temporadas de lluvia que sobrepasan la capacidad del cauce [16].

Debido a estas problemática este proyecto implementó la metodología de un modelo hidrodinámico que se alimenta de los sistemas de información geográficas (SIG) y los softwares de modelación hidrológica e hidrodinámica (IBER y HEC-HMS), y que a partir de estas brindó la información necesaria para identificar los impactos generados por el río.

Esta investigación se realizó con el propósito de que sirva a entidades gubernamentales y/o privadas como una herramienta base para la identificación de los impactos que son ocasionados por eventos de crecientes del río en temporadas de lluvia que afecta directamente a la población que está ubicada cerca al cauce.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL.

- Desarrollar una modelación hidrodinámica en 2D con la herramienta IBER con el fin de estimar la magnitud de las inundaciones y los posibles impactos generados por crecidas del río Gualí en el municipio de Honda, Tolima.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar estadísticamente los datos recolectados de las estaciones hidrológicas y meteorológicas para el modelo hidrológico del tramo en estudio para desarrollar los modelos hidrodinámicos.
- Estimar la magnitud de la inundación con respecto a altura de la lámina de agua y la velocidad.
- Identificar los posibles impactos que se puedan presentar en las cercanías del río Gualí a su paso por el municipio de Honda, Tolima a partir de los modelos desarrollados.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Contexto geográfico

La cuenca del río Gualí, se encuentra ubicada entre los 4° 45' y 3° 44' de latitud, al norte del ecuador, sobre la vertiente oriental de la cordillera central, en la zona andina colombiana.

Mapa de cuenca del río Gualí

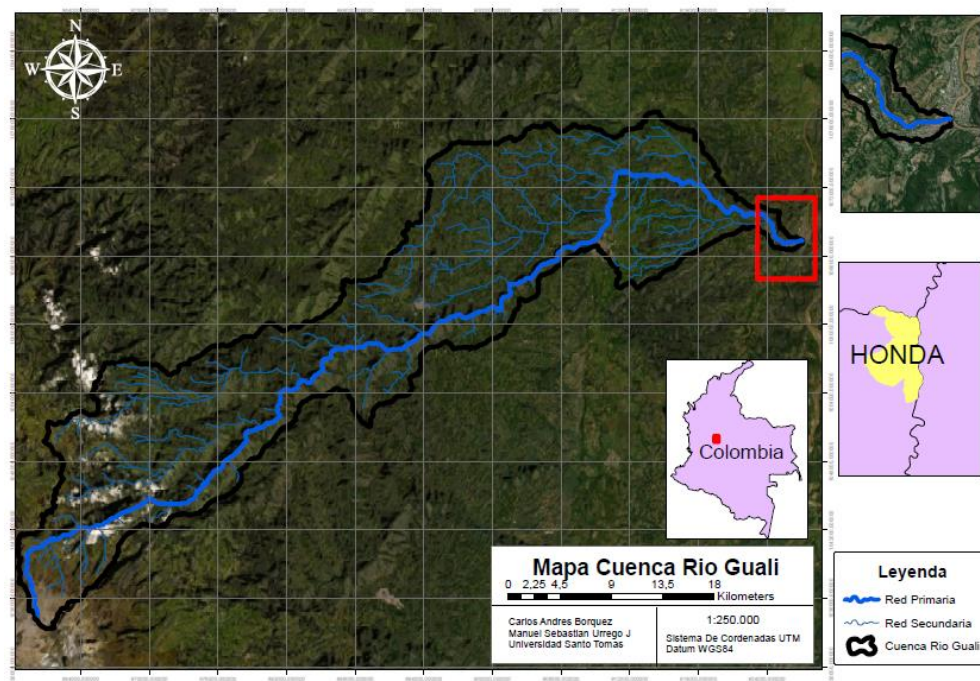


Imagen 1 . Cuenca del río Gualí. Fuente: Autores

El río nace a 4.850 msnm en la vereda de agua caliente del municipio de Casablanca, el río tiene un área de 78.669,99 hectáreas y con un caudal de 42,8 m³/s, sus aguas desembocan a la cuenca del río grande del Magdalena, en el municipio de Honda Tolima, la cuenca hídrica del río Gualí se encuentra ubicada al norte del departamento del Tolima sobre los municipios de Herveo, Fresno, Fálán, Palocabildo, Casabianca, Mariquita y una parte pequeña parte de Honda [22].

3.1.1 Clima

El clima de la región es de carácter tropical aunque se presenta variación debido a la zona de confluencia intertropical (ZCIT) lo que genera que en la zona se presenten dos periodos los cuales son húmedo y seco oscilando durante todo el año, estos periodos se presentan en dos temporadas lluvias los cuales son ocasionados en los meses de abril y mayo que es denominada la primera temporada de lluvias y la segunda temporada y la más fuerte se presenta en los meses de julio y agosto, esto genera que en la zona se presenten abundantes lluvias de tipo de turbulencia dinámica.

Aunque otro factor importante que interactúa en el clima de la zona de estudio son los vientos pues la acción de las masas de aire cálido y frío que provienen del Magdalena medio son los causantes de eventos climatológicos en la región [22].

Mapa de precipitación cuenca del río Gualí

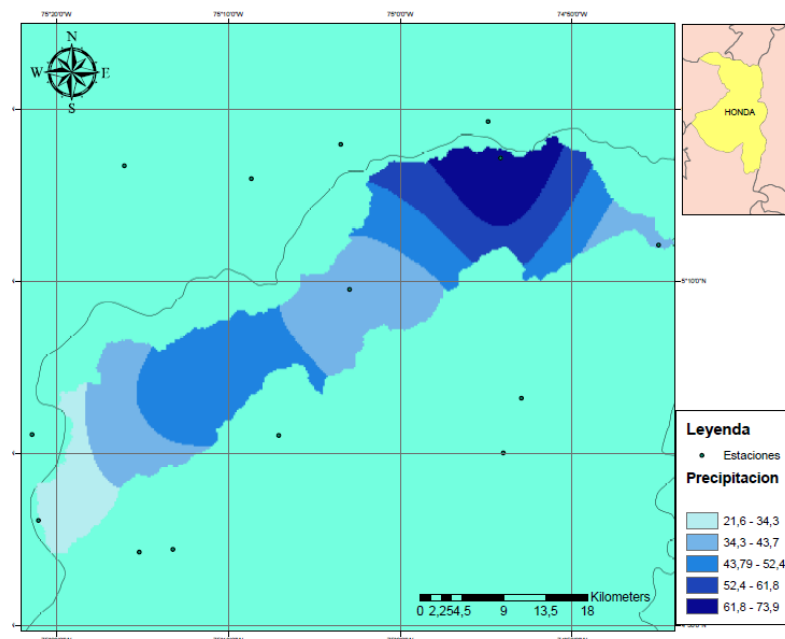


*Imagen 2 Mapa de precipitación cuenca del río Gualí.
Fuente: Autores.*

El componente de temperatura en toda la cuenca tiene una relación entre la temperatura y la altura sobre el nivel del mar, esta relación expresa que la temperatura disminuye en la medida que aumenta la altura, para la identificación y creación del mapa de temperatura de la cuenca se implementó información de registros mensuales de las estaciones cercanas a la cuenca, lo que arrojó que en todo la cuenca se representa una temperatura media de 18,9°C, una temperatura máxima de 28,54°C y una temperatura media mínima de 3°C esto porque en todo el área de la cuenca se encuentra el nevado del Ruiz con jurisdicción de parques nacionales. Se puede notar que en la zona de estudio se encuentra diferentes climas como lo son frio, templado y caluroso, esta representación se observa en la distribución de temperatura que está en toda la cuenca del río en la imagen 2. Donde se pueden identificar los climas que se representan el área de estudio.

Mapa de temperatura cuenca del río Gualí

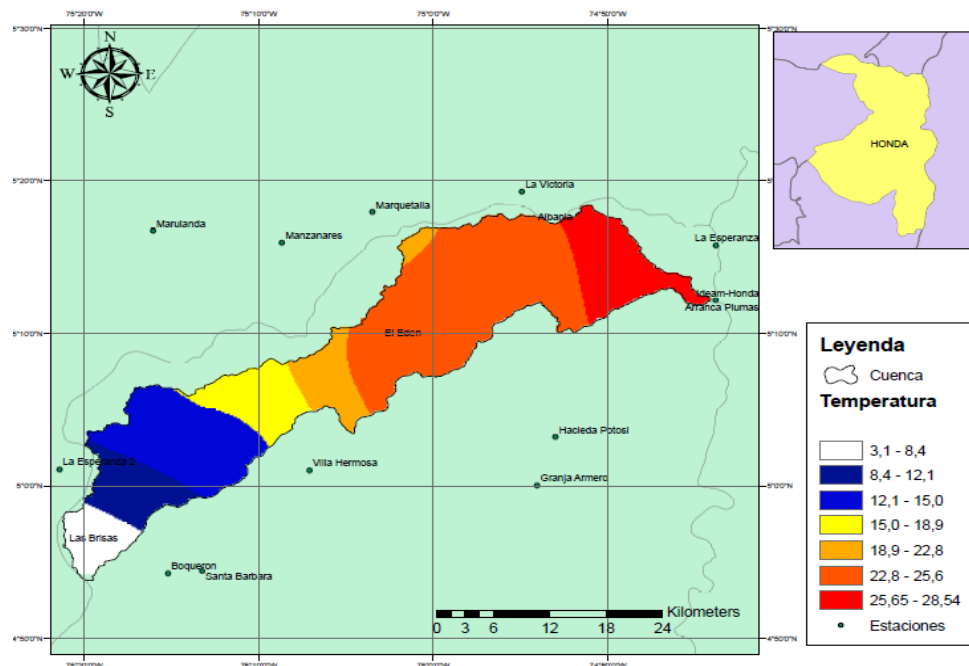


*Imagen 3 Mapa de Temperatura Cuenca del río Gualí.
Fuente: Autores.*

3.2 Contexto social

La población del municipio de Honda es de 26.873 habitantes según el DANE en el año 2005. Honda es un municipio básicamente urbano, sólo tiene 8 veredas y al contrario de la mayoría de las poblaciones tolimenses su economía no depende de la agricultura. El movimiento comercial del municipio integra al turismo, la pesca y la ganadería, cuenta con capacidad hotelera, arquitectura colonial y sus diversos atractivos que hacen un importante destino turístico [23].

- El 88 % de las viviendas de honda son casas.
- El 97.6% de las viviendas tienen conexión a energía eléctrica.
- El 26,5% tiene conexión a gas natural.
- Del total de la población de honda el 47.2% son hombres y el 52.8% mujeres.
- El 1.1% de la población residente en honda se auto reconoce como rizal, palenquera, negro, mulato. afrocolombiano o afrodescendiente.
- El 5.7% de los establecimientos se dedican a la industria; el 62.2% al comercio; el 30.2% a servicios y el 1.9% a otra actividad.
- En los establecimientos con mayor numero (0 a 10 empleados) el comercio (62.6%) es la actividad más frecuente y en el grupo de 10 a 50 personas la actividad principal es el comercio (50.0%).

3.3 Contexto teórico

3.3.1 Ciclo hídrico

El ciclo hídrico es la sucesión de etapas por las que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de aguas y reevaporación. Este ciclo involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, así movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas:

- El sol que proporciona la energía necesaria para elevar el agua en este caso evaporación,
- La gravedad que hace que el agua condensada descienda por precipitación y escurrimientos.

Todo esto es el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, en los estados (sólidos, líquido y gaseoso) [24].

3.3.2 Precipitación

Es toda el agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, en forma líquida (llovizna y lluvia) y de forma sólida (nieve y granizo). son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión [24]. La precipitación contribuye al sistema hidrológico continental. Para la formación de la precipitación es necesario la condensación del vapor de agua en la atmósfera, la saturación es una condición esencial para ejecutar la condensación [24].

3.3.3 Inundaciones

Las inundaciones son la producción de la precipitación de forma de lluvia, nieve o granizo extremo, oleadas, mareas de tormentas o fallas de alguna estructura hidráulica. Lo que provoca un aumento al nivel de la superficie libre de agua de los ríos o del mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no lo hay [7].

3.3.4 Avenidas torrenciales

Son crecidas repentinas producto de fuertes precipitaciones que causan aumentos rápidos del nivel de agua de los ríos y quebradas de alta pendiente. Estas crecientes pueden ser acompañadas por flujo de sedimentos de acuerdo con las condiciones

de la cuenca. Debido a sus características pueden causar grandes daños en la infraestructura y la pérdida de vidas humanas [25].

3.3.5 Cuenca

La cuenca es un espacio geográfico limitado por divisorias de agua esta es expresada el ciclo hídrico en un volumen de control que permite, a partir de agua precipitada que entra en este dominio, determinar la parte que escurre a lo largo de las laderas y que puede ser interceptada por las depresiones naturales del terreno, la fracción que se evapora o se infiltra y finalmente la cantidad que fluye a través de los drenajes naturales de la cuenca y forma el flujo superficial. Los flujos superficiales, subterráneos y subsuperficial conforman la escorrentía que integra los cauces de las corrientes, alimentan los diferentes almacenamientos y dan lugar a toda una red hidrográfica que drena sus aguas finalmente al mar [18].

3.3.6 Hidrogramas

Un hidrograma es la expresión gráfica de $Q = f(t)$. Esta se puede representar a escalas muy diversas [26]. Un hidrograma de caudales es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto, el hidrograma es una expresión integrada de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia escorrentía de una cuenca de drenaje particular [27].

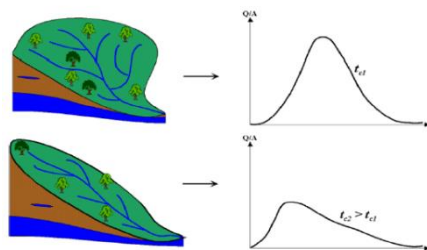


Imagen 4 Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma

Fuente: [38]

3.3.7 Condiciones de flujo

- **Flujo permanente**

Cuando se utiliza este término, hace referencia especialmente para los casos que se toma el mismo valor de caudal o nivel en un determinado tiempo y cauce [28].

- **Flujo no permanente**

Como su nombre lo indica, para este tipo de flujo se tienen presente las diferentes variables que tiene afectación en el cauce y por esta razón el tiempo, caudales y demás no siempre serán los mismos [29].

3.3.8 Condiciones de contorno

Es el conjunto de condiciones que le acepta dar soluciones a una ecuación diferencial en una región de interés que anteriormente fue delimitada [30]. Este tipo de condiciones de contorno permiten dar la información sobre las interacciones del sistema analizando y el medio exterior [31].

3.3.9 Pendiente media de la cuenca o promedio de la cuenca

La pendiente media de la cuenca es calculada con base en un plano topográfico que contenga las curvas de nivel o el modelo de elevación digital.

De acuerdo con el uso del suelo y la red de drenaje, la pendiente influye en el comportamiento de la cuenca afectando directamente el escurrimiento de las aguas lluvias; esta es la magnitud y el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal. Si las cuencas son de pendiente fuerte existe la tendencia a la generación de crecientes de en los ríos en tiempo relativamente cortos [32].

3.3.10 Curva hipsométrica de la cuenca

La curva hipsométrica simboliza el área de la cuenca drenada, variando con la altura de la superficie. Esta función relaciona la propiedad altimétrica de la cuenca en un

plano y su elevación, el grafico nos permite realizar un estudio de similitud entre dos cuencas, pues estas presentan variaciones de precipitación y variaciones en la altura. De igual forma la curva hipsométrica nos permite asociar las edades de los ríos de respectivas cuencas [33].

3.3.11 Histograma de frecuencia

La curva de frecuencia es la representación del promedio de alturas, lo que significa que la curva hipsométrica y el histograma de frecuencia cuentan con la misma información, lo que da a una idea de la variación de alturas en la cuenca [33].

3.3.12 Tiempo de concentración

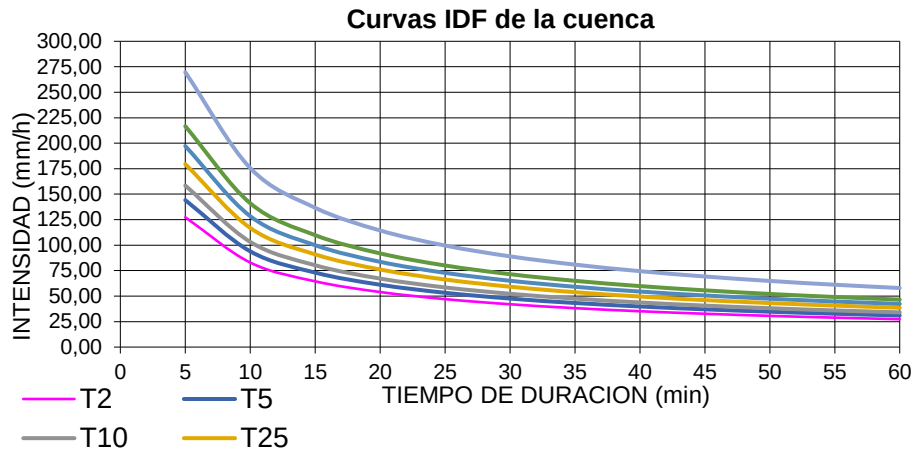
El tiempo de concentración es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida [32].

3.3.13 Curvas IDF

Las Curvas IDF son rectas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferentes duraciones, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno [34].

Es decir que las curvas IDF corresponden a una representación gráfica de las relaciones entre las intensidades de precipitación, la duración y el periodo de retorno o frecuencia de la precipitación [34].

Grafica curvas IDF de la cuenca



Gráfica 1 Curva IDF estación 21230090. Fuente: Autores

3.3.14 Número de curvas

El número de curvas (CN) es un parámetro con el cual se determina el escurrimiento o la impermeabilidad del suelo. Este se calcula con el método de soil conservation service (SCS), con los valores de rango entre 0 a 100, donde el valor de CN=0 es un suelo permeable y CN=100 es un suelo impermeable y toda la precipitación genera escorrentía, el CN se puede determinar empleando solamente la información del uso del suelo y el tipo del suelo [35].

3.3.15 Coeficiente rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning está basado en la resistencia de la superficie del suelo ante la presencia de un fluido, esto quiere decir que a mayor resistencia del suelo mayor es el coeficiente de Manning [36].

3.3.16 Modelación hidrológica

La modelación hidrológica es una herramienta útil para la comprensión del funcionamiento de una cuenca de drenaje, pues esta es una representación lógica que permite conocer los procesos de conversión de la precipitación en escorrentía y la capacidad de agua para transportar sustancias, este tipo de modelación se enfoca en los modelos de escorrentía superficial. Este tipo de modelos son aplicados en la previsión de la alarma temprana de riesgos de avenidas e inundaciones [37].

Este tipo de modelos se puede definir como una representación simplificada del mundo real, que permite asemejar lo que ocurre en ciertas circunstancias, los modelos hidrológicos representan los procesos que se dan dentro de un espacio (cuenca) y que transforma una precipitación en escorrentía [37].

3.3.17 HEC-HMS

El modelo de **HEC-HMS** es un modelo lluvia escorrentía que se basa en estructurar la cuenca origen en subcuencas asociadas a los cauces de la red fluvial [38]. La modelación hidrológica con **HEC-HMS** consta de dos partes principales; la primera es el cómputo de la precipitación efectiva y la segunda es la transformación de esta en escorrentía. El modelo incluye, además, la posibilidad de transitar el hidrograma de salida de una cuenca a través de un cauce o un embalse. Este tipo de modelo dispone de diferentes modelos matemáticos para resolver cada una de estas etapas [39].

3.3.18 Componentes del modelo HEC-HMS

Este programa utiliza tres componentes en el modelo para poder simular la respuesta hidrodinámica de la cuenca:

- Modelo de la cuenca
- Modelo meteorológico
- Especificaciones de control y datos de entrada

Cuando se realiza una simulación, este programa calcula la respuesta que puede tener la cuenca a una precipitación que se transforma en escurrimiento, dada la entrada del modelo meteorológico [40].

3.3.19 Características

Hec-Hms utiliza una serie de características para realizar la modelación hidrodinámica, estos son métodos que se utilizan en la ingeniería y que en el programa se concentran en la elaboración de cálculos y la aplicación de métodos [41].

- El uso de elementos que permiten conceptualizar el comportamiento de la cuenca.
- Permite visualizar series hidrológicas y climáticas empleadas en el modelo.
- Permite controlar las características de la simulación hidrológica, con tiempos de inicio y fin e intervalos de tiempo para el cálculo.
- Permite realizar estimación de parámetros mediante protocolos de modelación matemática incluidos en el programa.

3.3.20 Descripción del modelo hidrológico HEC-HMS

Para la elaboración de los modelos en Hec-Hms es necesario como primera medida la entrada de la precipitación estipulada por cada subcuenca, a partir de los polígonos de Thiessen. Estos datos o valores de precipitación son obtenidos por las estaciones pluviométricas cerca de la cuenca de estudio o de su conveniencia. Estos valores se utilizan para la elaboración del modelo y este a su vez utiliza ecuaciones probabilísticas como la media pondera de las precipitaciones [42].

Ecuación 1

$$P_{sb}(i) = \frac{\sum_{j=1}^n P_{em}(i,j)w(j)}{\sum_{j=1}^n w(j)}$$

*Ecuación 1 Media ponderada de las precipitaciones.
Fuente: [42].*

Donde:

- $P_{sb}(i)$ es la precipitación media uniforme sobre una subcuenca en el intervalo i .
- $P_{em}(i,j)$ es la precipitación registrada en el intervalo i y la estación j .
- $w(j)$ Es el área de influencia de la estación j en la subcuenca.
- n Es el número de estaciones meteorológicas con influencia en la subcuenca.

Ecuación 2

La precipitación efectiva es la fracción de la precipitación total que es trasformada en escorrentía, el resto de la precipitación se considera como perdida o abstracciones. Para la elaboración de este cálculo el software cuenta con diferentes procedimientos, pero para la elaboración de este modelo para la cuenca del río

Gualí se escogió el método del servicio de conservación de suelos SCS, o como común mente se llama el número de curvas CN [42].

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Ecuación 2 Método SCS-CN.

Fuente: [43].

Ecuación 3

Para esta ecuación denominada como la circulación de la lluvia efectiva a través de la cuenca, se implementa la generación del hidrograma en el punto de drenaje de la cuenca en consecuencia de la circulación de la lluvia en toda la superficie de la cuenca, representando la escorrentía superficial directa [42].

$$Q_p = \frac{2.08 A}{T_p}$$

Ecuación 3 Circulación de la lluvia efectiva a través de la cuenca.

Fuente: [42].

Donde:

- Q_p Es el caudal máximo en m^3/s de lluvia efectiva.
- A Es la superficie de la cuenca en Km^2 .
- T_p Es el tiempo al máximo en horas, cuyo valor se obtiene en la siguiente ecuación.

$$T_p = \frac{T_y}{2} + T_l$$

Ecuación 4 Tiempo máximo en horas.

Fuente: [42].

Donde:

- T_y Es la duración del pulso de lluvia.
- T_l Es el tiempo de desfase de la cuenca. Este valor se obtiene a partir la siguiente ecuación.

$$T_l = \frac{L^{0.8}(2.540 - 22.86 CN)^{0.7}}{14.104 CN^{0.7} I^{0.5}}$$

Ecuación 5 Tiempo de desfase de la cuenca.

Fuente: [42].

Donde:

- T_l Es el tiempo de desfase de la cuenca dando en horas.
- L Es la longitud hidráulica en m .
- I Es la pendiente media de la cuenca en m/m .
- CN Es el valor de número de curva medio de la cuenca.

Ecuación 4

Para la ejecución de avenidas o hidrograma se referencia a la manera de cómo se programa las avenidas en la red del cauce. En las múltiples funciones y ecuaciones con las que cuenta HEC-HMS tiene implementado el método de Muskingum. Que es la técnica implementada para almacenamientos [42].

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j$$

Ecuación 6 Calculo caudal saliente del tramo.

Fuente: [42].

Donde:

- I_j Es caudal entrante en un tramo en el instante j .
- Q_j Es caudal saliente del mismo tramo en el instante j .
- C_1, C_2, C_3 Son constantes que dependen de los parámetros K y X , que representan un tiempo de circulación.

- X Depende de la forma del almacenamiento a modelado, este valor varía entre 0 para un almacenamiento sin embalse, 0.5 para el caso que exista un embalse y para corrientes naturales un valor medio 0.2.
- K Es la circulación del hidrograma de avenidas en cada uno de los tramos del cauce.

3.3.21 Modelación hidrodinámica

La modelación hidrodinámica es una representación resumida de la realidad la cual se puede trabajar en simulaciones unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales [43]. De igual manera es una herramienta que permite reconocer de manera puntual la forma cuantitativa de un flujo de agua superficial. La aplicación de estos permite predecir flujos dando como resultados de acercamiento sobre tales variables que son de vital importancia para la toma de decisiones como lo son; lámina de agua, variación del caudal, elevación de la superficie. De acuerdo con el tiempo se han implementado tecnologías entre este software que permiten realizar las modelaciones, las cuales nos contribuyen dando como resultado la variación de las variables en un tiempo determinado. Lo cual sirve como insumo para la toma de decisiones en la problemática que esta se plantea [44].

3.3.22 IBER

Es un simulador de movimiento de agua, con un modelo de dos dimensiones, el cual nos permitir modelar, la hidráulica y la morfología fluvial. Esto conduce evaluar las zonas con mayor riesgo y también permite modelar el transporte de sedimento de una cuenca [45].

Con **IBER** se puede ejecutar gran cantidad de modelos numéricos con la aplicación a la hidráulica y la morfología fluvial. Permite el cálculo de flujo en ríos, en zonas inundables, evaluación en zonas de riesgo y delimitación de vías de intenso

desagüe. Permite la simulación de paso del agua bajo puentes, compuertas y vertederos [46].

Alguno de los campos de aplicación de **IBER** son [47]:

- Simulación del flujo en lámina libre en el cauce natural.
- Evaluación de zonas inundables, cálculo de las zonas de flujo preferente.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.
- Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- Estabilidad de los sedimentos del lecho.
- Procesos de erosión y sedimentos por transporte de material granular.

Modelos numéricos de IBER

- **Ecuaciones**

El módulo hidrodinámico de IBER resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por el viento [47].

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = 0 \\
 & \frac{\partial}{\partial t}(h U_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h U^2_x + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (h U_x U_y) \\
 & = -gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{t_{s,x}}{\rho} - \frac{t_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \\
 & \frac{\partial}{\partial t}(h U_y) + \frac{\partial}{\partial x} (h U_x U_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h U^2_y + g \frac{h^2}{2} \right) \\
 & = -gh \frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{t_{s,y}}{\rho} - \frac{t_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right)
 \end{aligned}$$

Ecuación 7. Venant bidimensionales. Fuente: [47].

Donde

- h es el calado.
- U_x, U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad.
- g es la aceleración de la gravedad.
- ρ es la densidad del agua.
- Z_b es la cota de fondo.
- t_s es la fricción en la superficie libre debida al razonamiento produciendo por el viento.
- t_b es la fricción debida al razonamiento del fondo.
- v_t es la viscosidad de la turbulencia.

La fricción de fondo, esta se evalúa mediante la fórmula de Manning como:

$$t_{b,x} = \rho g h \frac{n^2 U_x (U)^2}{h^{4/3}}$$
$$t_{b,y} = \rho g h \frac{n^2 U_y (u)^2}{h^{4/3}}$$

Ecuación 8 Fricción de fondo. Fuente: [47].

La fuerza de rozamiento que es realizada por el viento sobre la superficie libre se calcula a partir de la velocidad del viento a 10 m de altura, utilizando para ello la ecuación Van Dom:

$$t_{s,x} = \rho C_{VD}(V_{10})V_{x,10}$$
$$t_{s,y} = \rho C_{VD}(V_{10})V_{y,10}$$

Ecuación 9 fricción de fondo. Fuente: [64].

Donde

- $V_{x,10}, V_{y,10}$ son los 2 componentes de la velocidad del viento a 10 m de altura.
- (V_{10}) es el módulo de la velocidad a 10 m de altura.
- C_{VD} es un coeficiente de arrastre superficial que se calcula en función de la velocidad del viento a partir de la siguiente expresión:

$$(V_{10}) < 5,6 \frac{m}{s} \rightarrow C_{VD} = 1,2 * 10^{-6}$$

$$(V_{10}) \geq 5,6 \frac{m}{s} \rightarrow C_{VD} = 1,2 * 10^{-6} + 2,25 * 10^{-6} (1 - \frac{5,6}{(V_{10})})^2$$

Ecuación 10 Viscosidad. Fuente: [64].

Todas las funciones y los parámetros que aparecen en las ecuaciones hidrodinámicas (incluyendo el coeficiente de Manning y la velocidad del viento) puede imponerse de forma variable tanto espacial como temporal.

3.4 Contexto legal

3.4.1 Marco legal

Este proyecto ha destacado los artículos de las siguientes normas; (Decreto 1076/15, Decreto 1640/02, Guía nacional de modelación de recurso hídrico para aguas superficiales continentales, Decreto 1323/09, Ley 1523/12, Decreto 2157/17).

Norma	Descripción
Decreto 1076/15	Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto 1640/02	Por el cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.

Guía Nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales	Presenta los lineamientos mínimos para la aplicación de modelos matemáticos de simulación de la calidad de las aguas superficiales continentales.
Decreto 1323/09	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico
Ley 1523/12	Por el cual se adopte la política nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
Decreto 2157/17	Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas

Tabla 1 Marco legal. Fuente: Autores

4 METODOLOGÍA

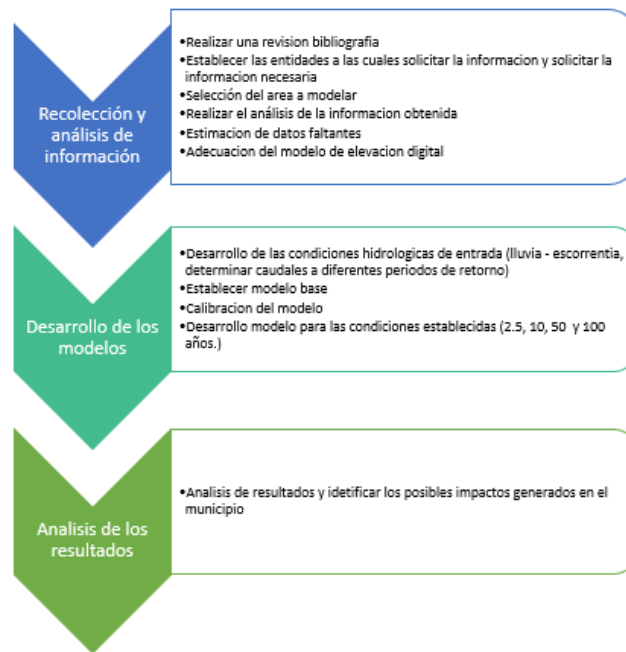


Imagen 5 Grafica de metodología implementada para la elaboración del proyecto.

Fuentes: Autores.

4.1 Recolección y análisis de información de datos

En esta etapa del proyecto se recopiló la información principal para los modelos de lluvia escorrentía e hidrodinámico, la recopilación de esta información se divide en:

- Compilación de los datos históricos de estaciones climatológicas.
- Modelo de elevación digital.
- Revisión bibliográfica para obtención de los valores de Manning.
- Número de Curvas.
- Salida de campo

Se realizó la búsqueda en diferentes entidades estatales como el IDEAM, la corporación autónoma regional para este caso CORTOLIMA y la información

tomada de CORMAGDALENA, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) e información de las páginas de la alcaldía de Honda.

4.1.1 Salida de campo

Se realizó una visita a campo para reconocer el área de estudio y observar el comportamiento del cauce del río en su paso por dicha área, con esta visita se pudo identificar los posibles lugares en donde se podría presentar una problemática entre los usos de suelo actuales y la dinámica del río.

Las condiciones en las que se encontraba el río se dejan en evidencia mediante un registro fotográfico, sumado a esto se hizo dialogo con habitantes del municipio donde manifiestan que si bien en los últimos 2 años no han tenido problemas con crecientes del río. Pero existe una percepción de inseguridad por eventos anteriores.

4.1.2 Selección de las estaciones

La selección de las estaciones permitió describir de manera espacial y de manera temporal las diferentes variables climáticas como la precipitación y la temperatura que inciden sobre la cuenca hidrográfica del río Gualí. Las estaciones seleccionadas se encuentran considerablemente cerca de la cuenca del río y contaban con una buena cantidad de datos.

4.1.3 Modelo de elevación digital

Para la identificación de la geografía en la zona de estudio se acudió a la base de datos de la plataforma virtual earth explorer usgs, esta página es una ventana única para la obtención de datos geoespaciales, aquí se pueden adquirir imágenes satelitales de los Landsat. En este sitio web dependiendo de la ubicación es posible extraer imágenes satelitales y modelos de elevación digital. A partir del modelo de

elevación digital (DEM) extraído de esta página se desarrolló la delimitación de la cuenca, se obtuvo la pendiente, se hizo la extracción de los ríos secundarios y la cuenca principal y se utiliza en para desarrollar el modelo IBER.

4.1.4 Coeficiente de Manning

Para la determinación de número de Manning en caudales los factores más importantes son; el tipo y tamaño de los materiales que componen y las características morfológicas del canal [48]. Se tuvieron en cuenta los valores de rugosidad o el número de Manning establecidos en el POMCA de la cuenca del río Gualí. Estos valores fueron de 0.033 para el lecho y cauce principal (predomina el material granular grueso y de gran tamaño) y para las bancas 0.047 (presencia de pastos y arbustos pequeños), según las condiciones particulares de cada cauce [21].

4.1.5 Número de curvas

En la cuenca del río Gualí se encontraron diferentes tipos de suelos a los cuales se le asignó un grupo hidrológico para la asignación de número de curvas. Estos tipos de suelo se asignaron por la herramienta ArcMap por el shapefile de uso del suelo que fue descargado en la base de datos del SIGOT.

4.1.6 Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Mediante la herramienta de sistemas de información geográfica, se procedió a establecer la caracterización de la geomorfología de la cuenca. estos aspectos fueron el área, la longitud principal del cauce, perímetro de la cuenca, forma de la cuenca, pendiente, curva hipsométrica y tiempo de concentración.

4.1.7 Tratamiento de la información

Para esta etapa se utilizó el modelo de elevación digital que se adquirió de la página web earth explorer usgs, donde se ajustó la superficie del territorio, se ubicó la zona de modelación hidrodinámica y se efectuó la delimitación de la cuenca aguas arriba. Para la hidrología, se generó las curvas IDF utilizando los registros históricos de precipitación que se obtuvieron de las estaciones del IDEAM las cuales fueron (2301001, 2301002, 2301006, 2301009, 2301010, 2301012, 2301502, 2301504 2615515). Estas estaciones se encontraban cerca de la cuenca del río Gualí y nos permitieron tener la información de precipitación para realizar el modelo hidrodinámico y de lluvia escorrentía.

4.2 Desarrollo de los modelos

Para la elaboración de la simulación de lluvia escorrentía se utilizó el software HEC-HMS, con la finalidad de desarrollar el cálculo de los caudales basados en la morfometría y la meteorología desde la zona del nacimiento del río. Esta modelación se controla con un límite de tiempo, donde se realizó una simulación de una tormenta en la zona estudiada con eventos máximos de precipitación, datos que fueron obtenidos por las estaciones pluviométricas cercanas al cauce. Con la finalidad de identificar y dar solución a las posibles inundaciones que se pueden presentar en el municipio de Honda, departamento del Tolima.

En HEC-HMS el modelo de lluvia escorrentía se basa en estructurar la cuenca de origen en subcuencas asociadas a los cauces de la red fluvial [49]. En este punto se realiza la estructuración de la cuenca donde se divide toda la cuenca en subcuencas, se asigna la morfometría mediante la geometría del drenaje. Se crean los ríos que contribuyen a toda la cuenca donde se le asignaron parámetros de forma como lo son longitud, área del cauce y rugosidad del suelo, a su vez se crearon uniones que representaron los puntos de unión del cauce y por último se creó el sumidero que represento en el modelo la salida de los caudales del modelo.

Por último, se introdujo al programa un registro pluviométrico que contendrá hietogramas, asignándole a este la duración de la tormenta.

La modelación de la cuenca del río se realizó con intervalos de 5 minutos entre las 3:00 y las 6:00. estableciendo estos parámetros de control se obtienen los caudales de salida en la parte baja de la cuenca para los diferentes periodos de retorno.

4.3 Identificación de impactos

Para la identificación de los posibles impactos, que se pudiesen generar en los modelos se tomó en cuenta la visita a campo en donde, se realizó el reconocimiento del área de estudio, identificando la distribución en la que se encuentra el municipio es cercana al río.

De acuerdo con lo observado en la visita de campo, se estableció una tabla de magnitud, la cual se dividió en dos partes siendo una la parte rural y la otra la parte urbana. Dándole a estas asignaciones de valores con respecto a la relación a la altura de la lámina de agua.

Se dividieron los niveles de riesgos en 3 los cuales se representaron en (medio, alto y bajo), y a partir de esto se identificaron los impactos que se podrían generar a partir de las modelaciones obtenidas.

5 RESULTADOS

5.1 Datos previos a la modelación

La caracterización de la temperatura en la cuenca del río Gualí se realizó a partir de la información disponible registrada en las estaciones climatológicas que se encuentran localizadas dentro de la cuenca y su área de influencia.

5.1.1 Mapa de polígonos de Thiessen de la cuenca del río Gualí

Con la finalidad de identificar las estaciones que influyan sobre el área de estudio, se ubicaron todas las estaciones, que registran o generan datos de precipitación y apoyándose de la metodología de polígonos de Thiessen, se descartaron las estaciones que no influyen en la cuenca. En la imagen 6 se muestra los polígonos de Thiessen generados para la cuenca del río Gualí identificando las estaciones que tienen influencia sobre esta cuenca.

Mapa de polígonos de Thiessen de la cuenca del río Gualí

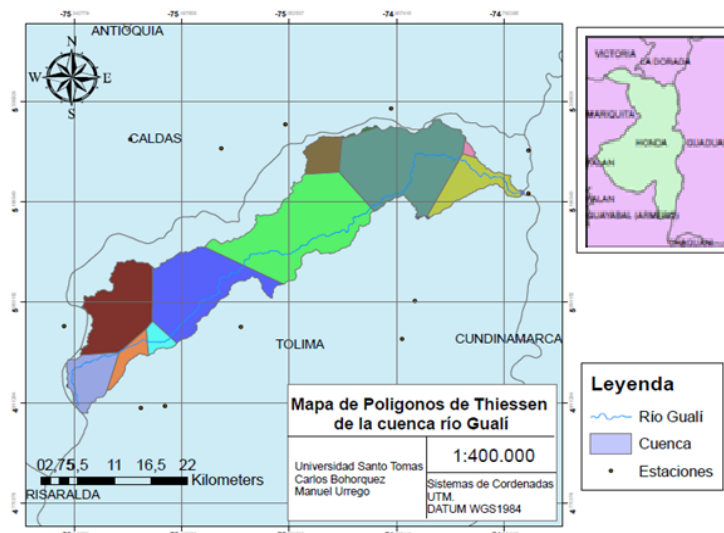


Imagen 6. Mapa de polígonos de Thiessen de la cuenca del río Gualí.

Fuente: Autores

5.1.2 Mapa de estación de la cuenca del río Gualí

En la imagen 7 se encuentran el mapa de la distribución de las estaciones de precipitación que se utilizaron para la elaboración de la modelación, todas son operadas por el IDEAM. Estas estaciones fueron utilizadas, pues estas registran una buena cantidad de datos para la elaboración del proyecto, pues esta cuenta con datos mayores a 15 años, lo que nos permitió obtener una buena información para la ejecución de las modelaciones.

Mapa de estaciones pluviométricas de la cuenca río Gualí

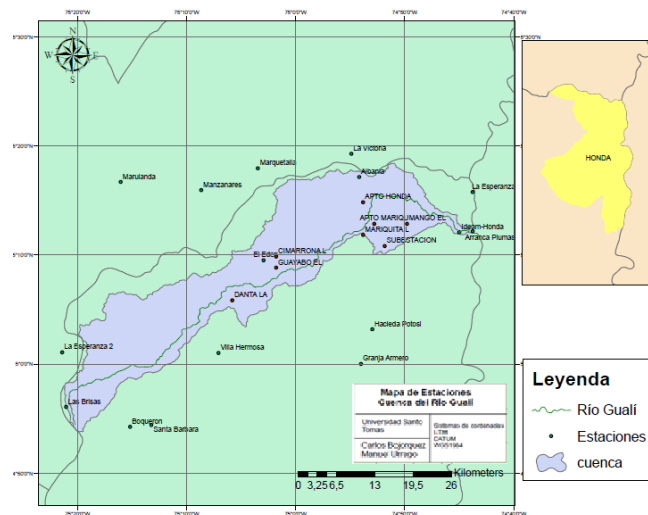


*Imagen 7. Mapa de Estaciones Cuenca del Río Gualí.
Fuente: Autores*

5.1.3 Área

Se identificó el total del área de estudio de la cuenca, donde se definió el siguiente valor: **793,74 Km²**. De toda la cuenca la cual la conforman 17 subcuencas que conforman toda la cuenca del río Gualí.

5.1.4 Longitud de la cuenca principal

la longitud principal de la cuenca se hizo con la herramienta ArcMap dando como resultado una longitud de 102,6 km

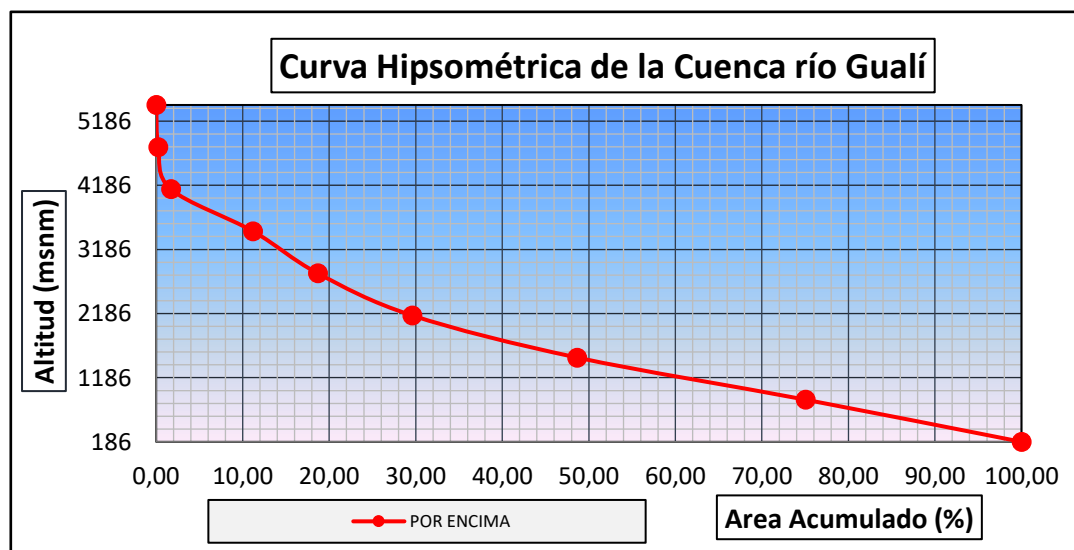
5.1.5 Perímetro de la cuenca

El resultado obtenido del perímetro de la cuenca nos da un resultado de **227,004** Km.

5.1.6 Pendiente media de la cuenca o promedio de la cuenca

La pendiente media de la cuenca del río Gualí **37,1%**. lo que representa que la pendiente de la cuenca es muy fuertemente accidentada.

5.1.7 Curva hipsométrica de la cuenca



Grafica 2 Curva hipsométrica de la cuenca del río Gualí. Fuente: Autores

La curva hipsométrica de la cuenca del río Gualí, nos arroja que la cuenca se encuentra en edad avanzada (río viejo).

5.2 Registro fotográfico visita de campo



Imagen 8. Gualí en el municipio de Honda. Fuente: Autores



Imagen 9 . Afectaciones por el río Gualí. Fuente: Autores



Imagen 10. Desechos arrojados al rededor del cauce. Fuente: Autores.

5.3 Modelación

La modelación obtenida por el software HEC-HMS. Nos permitió realizar simulaciones para ciertos periodos de retornos. Estos resultados obtenidos identifican un pronóstico a la respuesta hidrológica que tiene la cuenca. De esta manera la información generada permite ajustar un balance hidrodinámico a él escurrimiento superficial que se produce en esta. A esto se le suman factores importantes a considerar como lo son área de la cuenca, conservación del suelo, condiciones de antecedentes de humedad del suelo y cambios por la acción del hombre [50].

Al ejecutar la simulación del modelo se obtuvieron valores de escurrimientos, producto de una precipitación que se ve desarrollada en un producto de salida al final de la cuenca. Estos valores de escurrimiento obtenidos al final de la cuenca se transformaron en caudales que es el cálculo del escurrimiento en función del tiempo, queda como resultados valores de caudales a distintos periodos de retorno.

Con la finalidad de desarrollar el cálculo de los caudales basados en la morfometría y la meteorología desde la zona del nacimiento del río. Esta modelación se controla con un límite de tiempo, donde se realizó una simulación de una tormenta en la zona estudiada con eventos máximos de precipitación, datos que fueron obtenidos por las estaciones pluviométricas cercanas al cauce. Con la finalidad de identificar y dar solución a las posibles inundaciones que se pueden presentar en el municipio de Honda, departamento del Tolima.

En HEC-HMS el modelo de lluvia escorrentía se basa en estructurar la cuenca de origen en subcuencas asociadas a los cauces de la red fluvial [58]. En este punto se realiza la estructuración de la cuenca donde se divide toda la cuenca en subcuencas, se asigna la morfometría mediante la geometría del drenaje. Se crean los ríos que contribuyen a toda la cuenca donde se le asignaron parámetros de forma como lo son longitud, área del cauce y rugosidad del suelo, a su vez se crearon uniones que representaron los puntos de unión del cauce y por último se creó el sumidero que represento en el modelo la salida de los caudales del modelo. Por último, se introdujo al programa un registro pluviométrico que contendrá hietogramas, asignándole a este la duración de la tormenta.

La modelación de la cuenca del río se realiza con intervalos de 5 minutos, estableciendo estos parámetros de control se obtienen los caudales de salida en la parte baja de la cuenca para los diferentes periodos de retorno.

El modelo se calibro en base a la información que se tenía de una estación a la salida de la cuenca, esta estación hidrometeorológica Arranca plumas se le tuvo que completar datos faltantes mediante promedio, este método se desarrolla tomando la estación a la cual se le va a completar los datos y se hace un promedio anual.

Los caudales de la estación calibrada fueron los caudales con los cuales se realizó la calibración del modelo en HEC-HMS y a partir de los cuales se desarrollaron los distintos escenarios, los resultados de los modelos en los distintos periodos de retorno en este modelo se observan en la Tabla 5 y con estos resultados se procedió

a desarrollar los modelos hidrodinámicos en IBER siendo los datos de entrada para los mismos.

5.4 Calibración

para la calibración del modelo se emplearon los datos de caudales máximos mensuales de la estación Puente López, en términos probabilísticos se determinó los caudales asociados a diferentes periodos de retorno, me mediante el software HidroEsta se ajustaron los datos a la distribución Gumbel dos parámetros y así determinar los valores observados para los periodos de retorno 2.5, 10, 50, 100. El modelo Hec-Hms fue ajustado mediante el proceso de identificación hasta que el pico del hidrograma se aproximara al valor observado.

Tabla 2. caudales de diferentes periodos de retorno

	T (Años)	2.5	10	50	100
Simulado	Q (m ³ /s)	167,4	250,9	337,3	355,2
Observado	Q (m ³ /s)	142,02	224,7	297,18	327,83
Error - Medio	Q (m ³ /s)	-0,17871	-0,1166	-0,135	-0,175

Fuente: Autores.

El error se determinó puntualmente entre valor observado y simulado dando como resultado un error medio aceptable, este valor arrojado para este caso de manera negativa significa que el modelo en HEC-HMS está sobreestimando la información, esto quiere decir que respecto al valor observado este genera más información a la que debería generar, que el caudal simulado es más alto a comparación del observado.

Para el tiempo de retorno de 2.5 años podemos observar que existe una sobre estimación en el caudal de salida por el software HEC-HMS de 0.17871, para el periodo de retorno de 10 años una mayor al observado de 0.1166, para el periodo de retorno de 50 años una estimación de 0.135 y para el periodo de retorno de 100 años de 0.175

Esto representa que en todos los diferentes periodos de retorno el modelo estimo datos mayores a los observados por el software HidroEsta.

A continuación, se representa toda la cuenca del río Gualí dividida en subcuencas, esto con la finalidad de poder elaborar la modelación en HEC-HMS, este resultado se observa en la imagen 13.

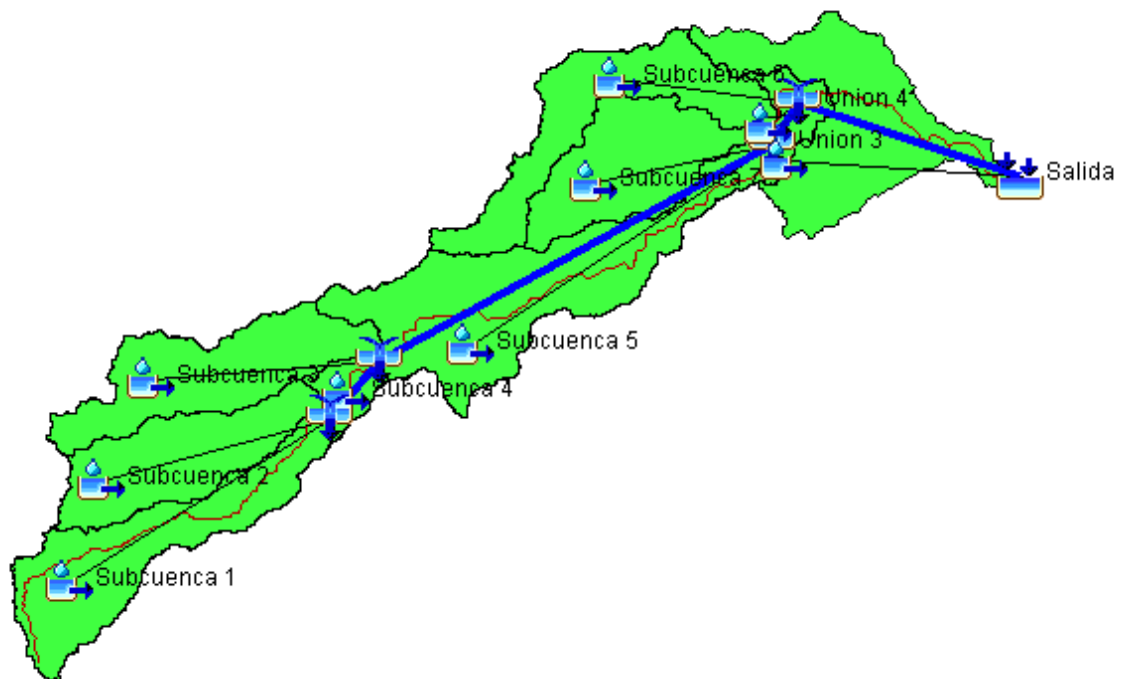


Imagen 11. Modelo HEC-HMS.

Fuente: Autores.

A partir de las modelaciones obtenidas por el software HEC-HMS se obtuvieron caudales de salida para cada periodo de retorno, los cuales sirvieron como entrada para la ejecución de la modelación hidrodinámica en IBER.

Estos caudales se representaron por una tormenta simulada desde la parte alta de la cuenca y desembocando en la parte baja de esta. Esta tormenta en cada uno de los periodos de retorno ejecutando el inicio de la tormenta a partir de las 5 de la mañana y dando picos desde las 6 hasta las 8 de la mañana, mostrando variaciones en cada simulación.

Esto arroja diferentes caudales de salida en los distintos periodos de retorno para la cuenca.

5.4.1 Simulaciones del modelo hidrodinámico con la herramienta IBER

Los caudales de salida que se obtuvieron en la herramienta HEC-HMS del modelo de lluvia escorrentía fueron en los periodos de retorno de 2.5, 10, 50 y 100 años, para el municipio de Honda. Con estas tres simulaciones se generaron los escenarios de inundación, con la finalidad de determinar las posibles inundaciones que son generadas por el desbordamiento del río por el paso del municipio, pues este ha afectado a la población cercana al cauce generada por aumento en la lámina de agua en las temporadas de lluvia.

Para la calibración de la modelación en IBER, esta se realizó dependiendo de las coberturas de la cuenca, la cual en la salida de campo y bibliografía obtenida con el PONCAS de la cuenca. se determinó que el número de Manning correspondiente es para el lecho y cause de la cuenca de 0.033 y de 0.047 [51].

5.5 Mapas Modelo IBER

5.5.1 Periodo de retorno 2.5 años

Mapa de Velocidad en X m³/s, periodo de retorno 2.5 años

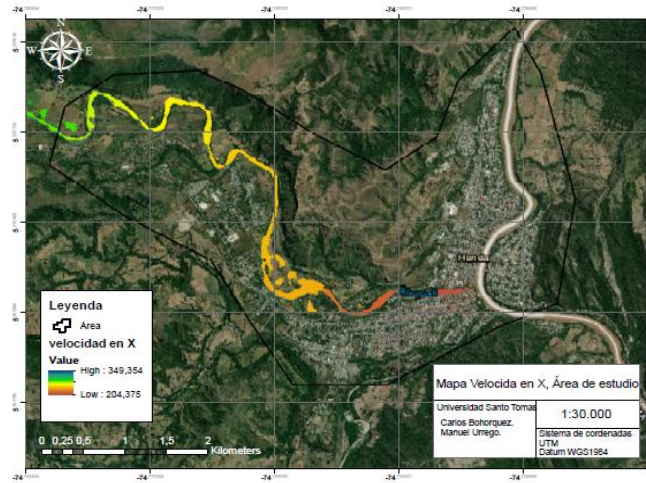


Imagen 12 Velocidad en X m³/s, periodo de retorno 2.5 años.

Fuente: Autores.

Mapa de Velocidad en Y m³/s, periodo de retorno 2.5 años

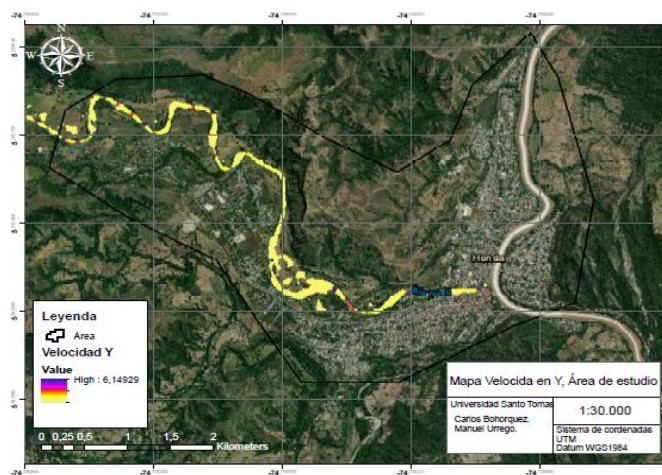


Imagen 13. Mapa de Velocidad en Y m³/s, periodo de retorno 2.5.

Fuente: Autores.

Mapa de altura en metros de la lámina de agua periodo de retorno 2.5 años

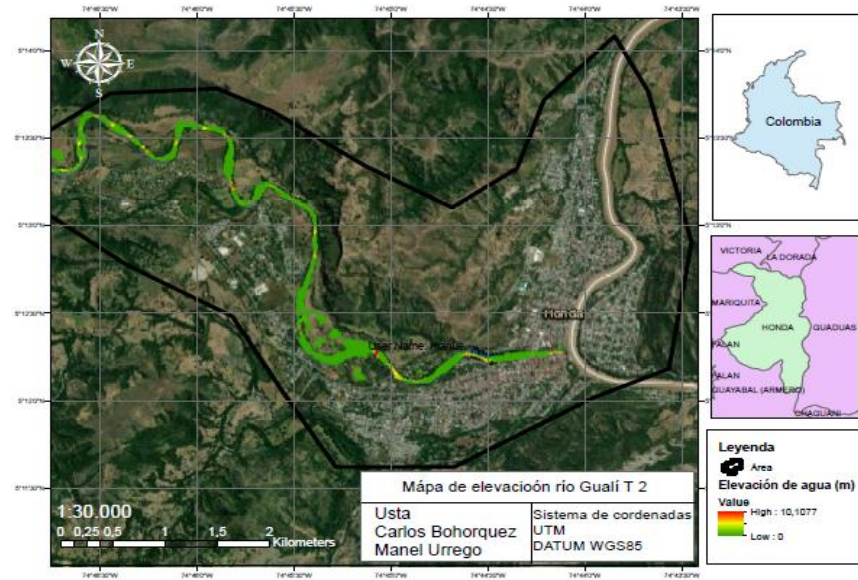


Imagen 14. Mapa Altura en metros de lámina de agua.

Fuente: Autores.

En este periodo de retorno se observó una afectación mínima en las condiciones del río, no se presenta un crecimiento considerable ni velocidades fuera de lo común, este periodo de retorno da una idea de cómo puede llegar a comportarse la cuenca en los siguientes periodos.

5.5.2 Periodo de retorno 10 años

Mapa de Velocidad en X m^3/s , periodo de retorno 10 años

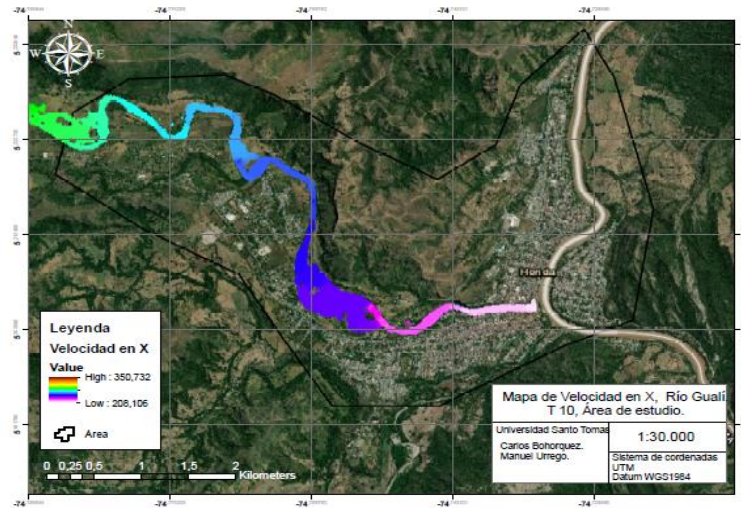


Imagen 15. Mapa Velocidad en eje X m^3/s , periodo de retorno de 10 años.

Fuente: Autores.

Mapa de Velocidad en Y m^3/s , periodo de retorno 10 años

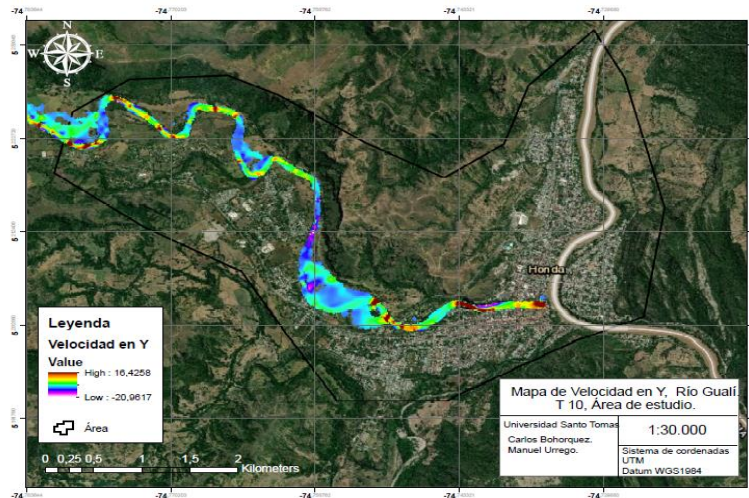


Imagen 16. Mapa Velocidad en eje Y m^3/s para un periodo de retorno de 10 años. Fuente: Autores.

Mapa de altura en metros de la lámina de agua periodo de retorno 10 años

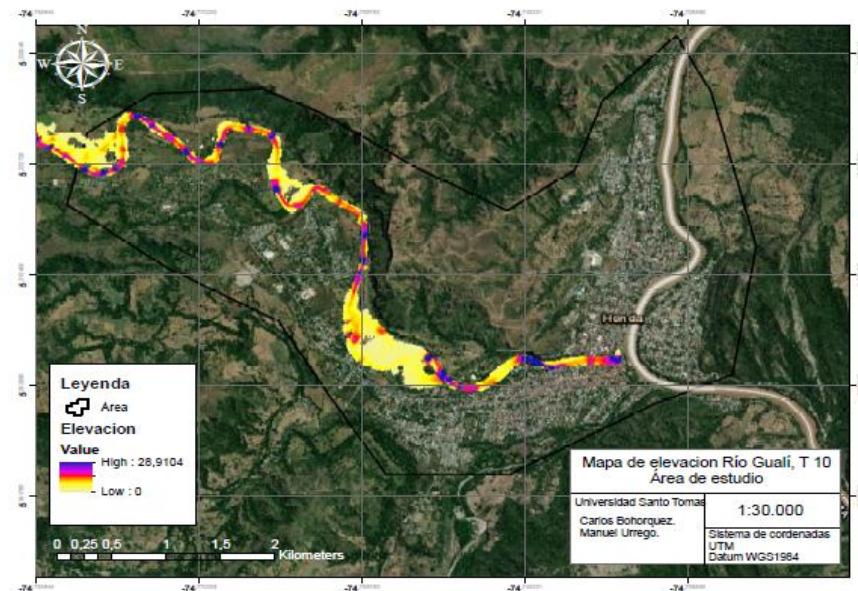


Imagen 17. Mapa Altura en metros lámina de agua en periodo de retorno de 10 años. Fuente: Autores.

Para este periodo de retorno se observó un crecimiento en las variables estudiadas generando afectaciones en cultivos, zonas forestales y en las zonas urbanas del municipio, la velocidad en el eje Y aumenta de manera considerable en comparación al periodo de retorno anterior lo que genera un incremento en la turbulencia del río y podría generar arrastre de piedras que aumente la perdida de las zonas donde ingrese la mancha de inundación.

La parte turística también se vería afectada en algunos balnearios ubicados muy cerca de la costa del río lo que generaría pérdidas para las personas que tienen su sustento en esta actividad. La actividad agrícola también se vería afectada de manera drástica ya que muchos cultivos se podrían perder debido a la cercanía con el río, teniendo en cuenta que la ganadería es importante para la actividad económica del municipio se podrían generar pérdidas de semovientes.

5.5.3 Periodo de retorno de 50 años

Mapa de Velocidad en X m^3/s , periodo de retorno 50 años

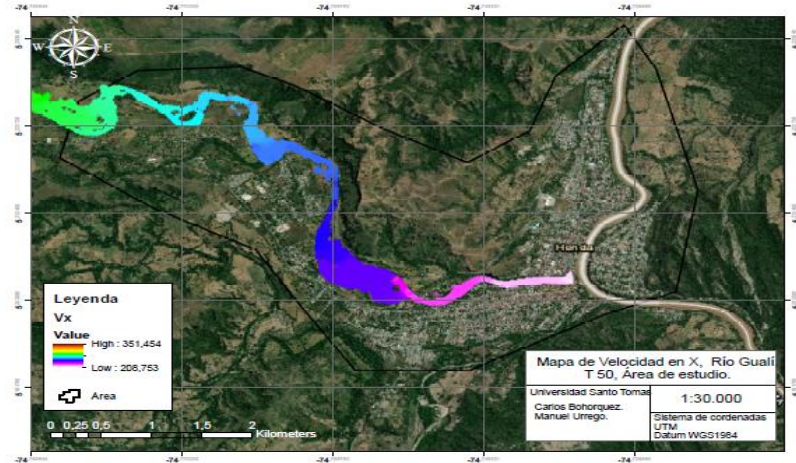


Imagen 18. Mapa Velocidad en eje X m^3/s , para el periodo de retorno de 50 años. Fuente: Autores.

Mapa de Velocidad en Y m^3/s , periodo de retorno 50 años

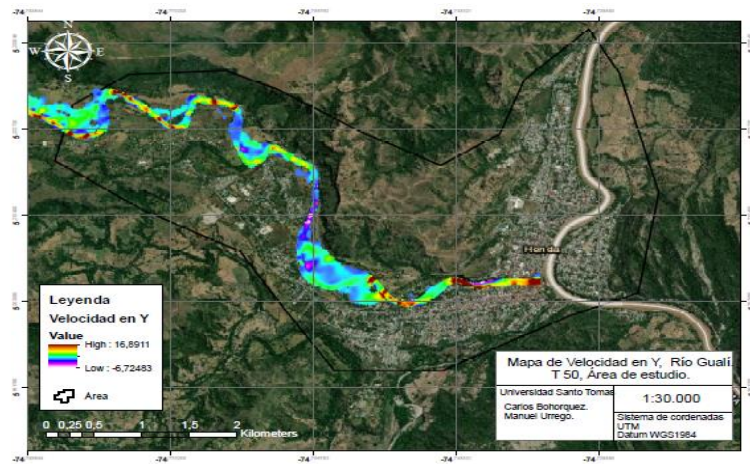


Imagen 19. Mapa Velocidad en eje Y m^3/s , para un periodo de retorno 50 años. Fuente: Autores.

Mapa de altura en metros de la lámina de agua periodo de retorno 50 años

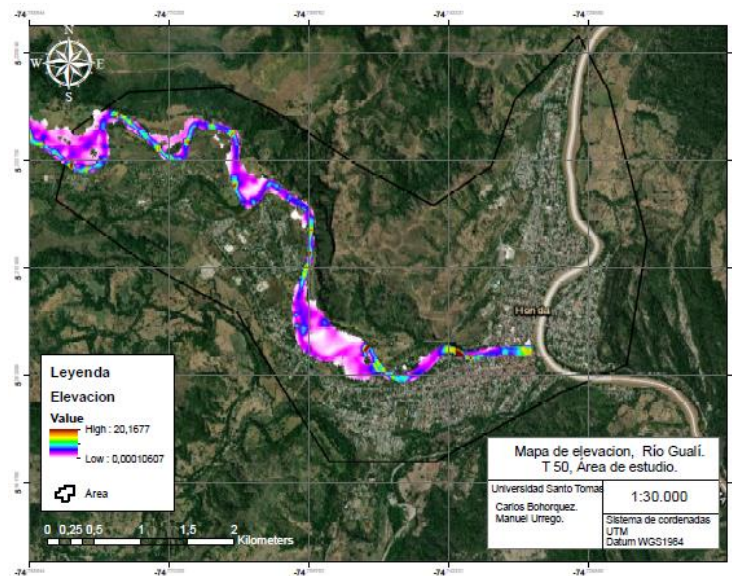


Imagen 20. Mapa Altura lámina de agua en metros, del periodo de retorno de 50 años. Fuente: Autores.

En este periodo de retorno las condiciones en comparación con el periodo de retorno anterior se mantienen casi constantes con una leve disminución, los efectos que generaría en el área de estudio son similares a los mencionados anteriormente. La mancha de inundación por otra parte muestra una tendencia a expandirse hacia las zonas urbanas donde se presentaría pérdida de locales y viviendas además de afectar lugares turísticos ancestrales debilitando bases de casas antiguas.

Del mismo modo los cultivos, ganadería y algunas zonas forestales se verían afectados al igual que el periodo anterior, aumenta la zona de afectación generando pérdidas más considerables en la economía del municipio, la velocidad en el eje Y generaría el arrastre de mayores sedimentos, arrastre de palos de árboles y piedras que generarían una destrucción mayor.

5.5.4 Periodo de retorno de 100 años

Mapa de Velocidad en X m^3/s , periodo de retorno 100 años

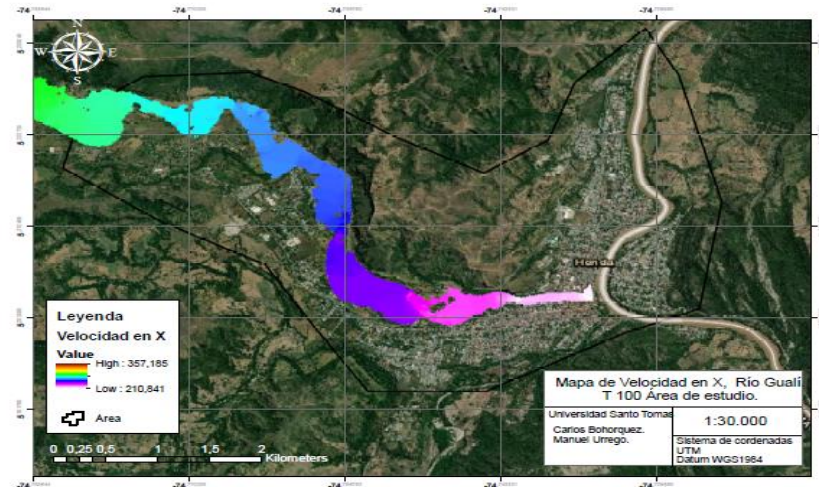


Imagen 21. Mapa Velocidad en eje X m^3/s , para el periodo de retorno de 100.

Fuente: Autores

Mapa de Velocidad en Y m^3/s , periodo de retorno 100 años

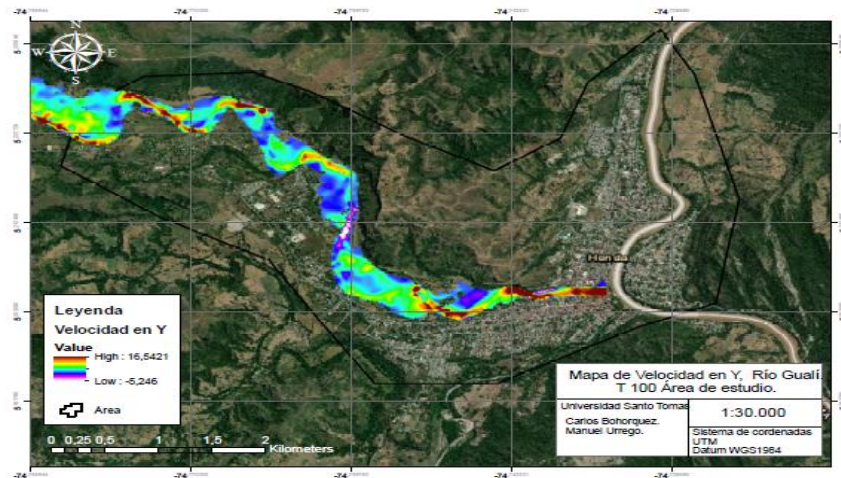


Imagen 22. Mapa Velocidad en eje Y m^3/s , en periodo de retorno de 100 años.

Fuente: Autores.

Mapa de altura en metros de la lámina de agua periodo de retorno 100 años

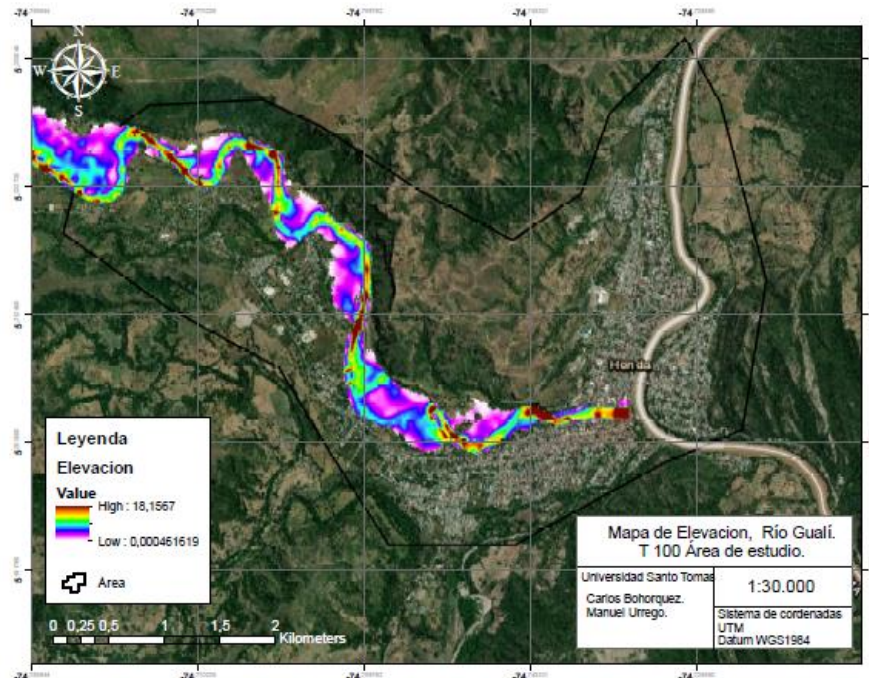


Imagen 23. Mapa Altura lámina de agua en metros, en periodo de retorno de 100 años. Fuente: Autores.

Para el tiempo de retorno de 100 años se observa un comportamiento similar al anterior con magnitudes muy similares, pero con una amplitud en la inundación menor.

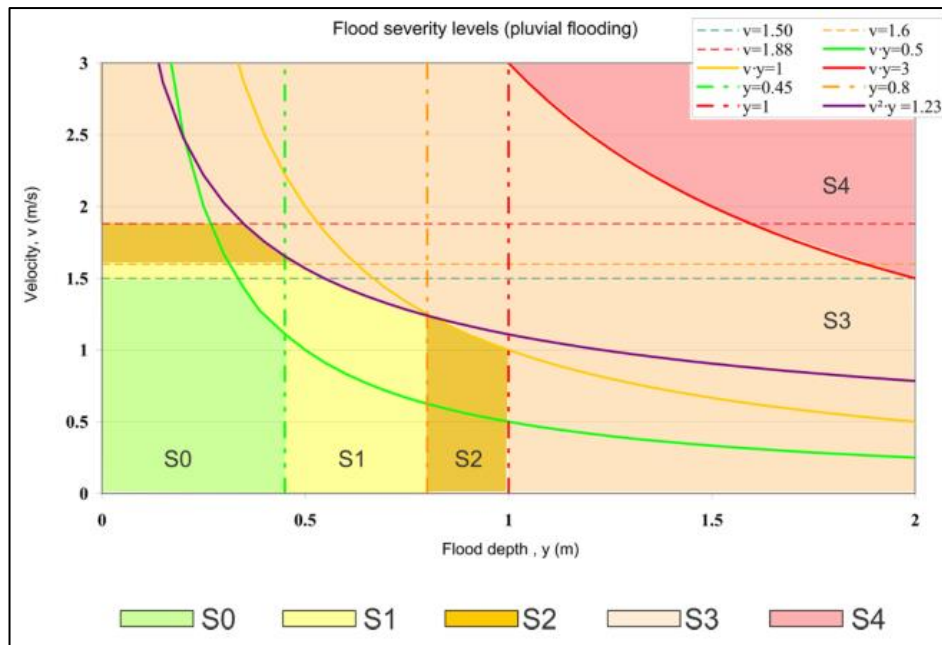
De igual manera se ve afectada la economía con los impactos que se mencionan en los periodos de retorno anteriores, la afectación en la parte urbana es mínimamente menor, pero sigue siendo considerable ya que puede afectar infraestructura antigua y locales comerciales.

5.6 Identificación de impactos

Para la identificación de la amenaza que se genera por la inundación, de acuerdo con los criterios de clasificación por inundación, se han diseñado diferentes metodologías para la elaboración de los mapas de amenaza por inundación. Una de estas metodologías es la que abarca la determinación de los valores límites para la profundidad del agua y la velocidad del flujo, en función a los eventos ocasionados por los periodos de retorno. De esta manera podemos categorizar el nivel de amenaza producido por la mancha de agua, de acuerdo con los periodos de retorno establecidos en las modelaciones.

De acuerdo con esto se realizó la clasificación de amenaza, donde se establecieron cinco categorías.

Es importante resaltar que para la identificación de los impactos generados por la inundación de la lamina de agua, tomamos las velocidades en el eje X. Obtenidas por las simulaciones en la herramienta IBER



Grafica 3. Niveles de amenaza de acuerdo con velocidad y profundidad de lámina de agua. Fuente: [52]

Tabla 3. Niveles de amenaza asociadas las variables hidráulicas.

Profundidad (m)	Nivel de amenaza para la profundidad	Niveles de amenaza				
$z < 0,5$	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
$0,5 > z < 0,75$	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
$0,75 > z < 1,0$	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
$1,0 > z < 1,5$	Alto	Alto	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto
$z > 1,5$	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto
Nivel de amenaza para la velocidad		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Velocidad (m/s)		$z < 1,5$	$1,5 > z < 1,75$	$1,75 > z < 2,0$	$2,0 > z < 2,5$	$z > 3,0$

Fuente: [53]

5.7 Periodo de retorno 2.5 años

Punto	Latitud	Longitud	TR 2,5
			Amenaza
Puente salida	5° 12' 17" N	74° 44' 8" W	Muy baja
Sector urbano 1	5° 12' 15" N	74° 44' 15" W	Muy baja
Sector urbano 2	5° 12' 13" N	74° 44' 26" W	Muy baja
Sector urbano 3	5° 12' 14" N	74° 44' 38" W	baja
Sector urbano 4	5° 12' 5" N	74° 44' 51" W	baja
Sector urbano 5	5° 12' 12" N	74° 45' 17" W	baja

Fuente: Autores

5.8 periodo de retorno 10 años

Punto	Latitud	Longitud	TR 10
			Amenaza
Puente salida	5° 12' 17" N	74° 44' 8" W	bajo
Sector urbano 1	5° 12' 15" N	74° 44' 15" W	bajo
Sector urbano 2	5° 12' 13" N	74° 44' 26" W	medio
Sector urbano 3	5° 12' 14" N	74° 44' 38" W	medio
Sector urbano 4	5° 12' 5" N	74° 44' 51" W	medio
Sector urbano 5	5° 12' 12" N	74° 45' 17" W	medio

Fuente: Autores

5.9 periodo de retorno 50 años

Punto	Latitud	Longitud	TR 50
			Amenaza
Puente salida	5° 12' 17" N	74° 44' 8" W	bajo
Sector urbano 1	5° 12' 15" N	74° 44' 15" W	medio
Sector urbano 2	5° 12' 13" N	74° 44' 26" W	medio
Sector urbano 3	5° 12' 14" N	74° 44' 38" W	alto
Sector urbano 4	5° 12' 5" N	74° 44' 51" W	alto
Sector urbano 5	5° 12' 12" N	74° 45' 17" W	alto

Fuente: Autores

5.10 periodo de retorno 100 años

Punto	Latitud	longitud	TR 100
			amenaza
Puente salida	5° 12' 17" N	74° 44' 8" W	medio
Sector urbano 1	5° 12' 15" N	74° 44' 15" W	alto
Sector urbano 2	5° 12' 13" N	74° 44' 26" W	alto
Sector urbano 3	5° 12' 14" N	74° 44' 38" W	muy alto
Sector urbano 4	5° 12' 5" N	74° 44' 51" W	muy alto
Sector urbano 5	5° 12' 12" N	74° 45' 17" W	muy alto

Fuente: Autores

5.10.1 Mapa de puntos identificación de amenazas en Honda



Imagen 24. Mapa de puntos identificación de amenazas en Honda.

Fuente: Autores.

Para la identificación de los puntos de amenaza se realizó a partir de la identificación de alta afectación por la amenaza por inundación en la salida de campo, dando como lugar a seis zonas de alta vulnerabilidad. Estos puntos se dividieron en puente Agudelo ubicado sobre el río a final de la desembocadura de este y los demás puntos distribuidos en toda la zona urbana ubicada al cauce.

5.10.2 Mapa de Inundación con identificación de puntos de amenaza en Honda.

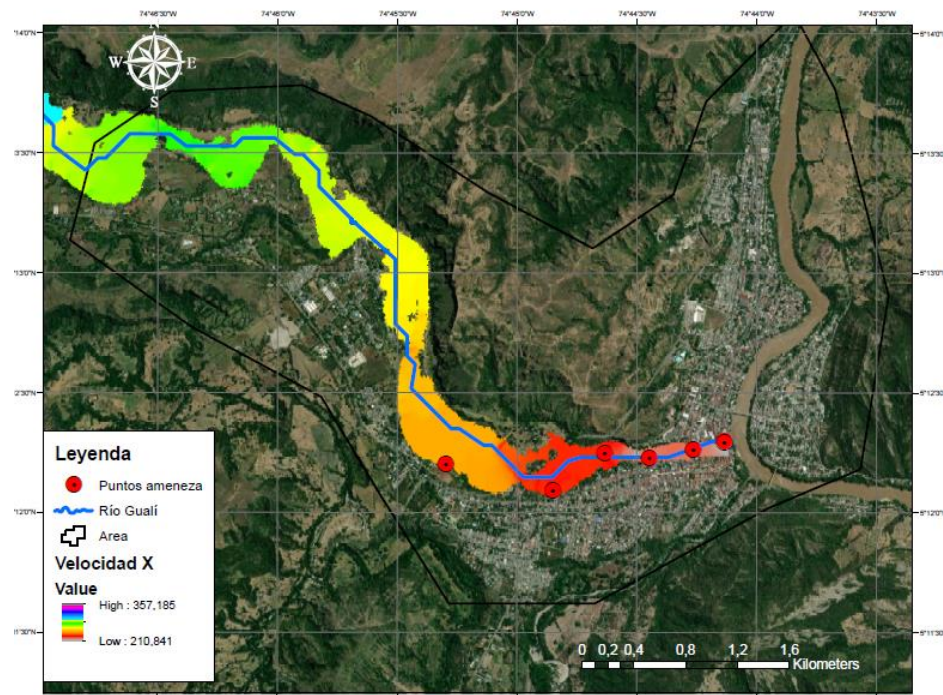


Imagen 25 Mapa de puntos identificación de amenazas en Honda.

Fuente: Autores.

Como se puede observar la mancha de inundación afectaría a las zonas donde se tomaron puntos de referencia, pues este tipo de inundaciones a través de los años ha afectado a la población cercana al cauce, dejando grandes pérdidas de vidas humanas y económicas, pues las zonas que más vulnerabilidad por el aumento de la lámina de agua son zonas urbanas localizadas por todo el cauce del río dentro del municipio de Honda, zonas de agricultura que se encuentran cercanas a la

cuenca, afectación del sector económico como lo es la pesca, pues este es uno de los principales sectores económicos de la región y afectación a la ganadería.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los escenarios que se establecieron en los diferentes periodos de retorno que se generaron a partir del software IBER, podemos determinar que los 4 periodos estudiados van a generar condiciones que afectaran de distintas maneras a la población y el área cercana a la ribera del río.

El escenario en que mayor afectación podría presentarse sería el periodo de retorno de 50 años y 100 años ya que la altura de la lámina de agua alcanza su mayor máximo. Esto generaría afectaciones en el municipio como inundaciones, siendo este un riesgo inminente lo cual podría presentarse en la zona derrumbes ya que el cuse principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los cursos de agua [54]. Ocasionando derrumbes y afectación a la infraestructura vulnerables.

Observando los modelos se puede evidenciar que la velocidad tanto en el eje X como en el eje Y en cada uno de los escenarios no aumenta de manera abrupta, si bien son velocidades considerables no generarían mayores afectaciones en el área de estudio.

La altura de la lámina de agua debe tener una consideración más importante ya que en las partes rurales del área de estudio se observó que no se cuenta con algún tipo de barreras protectoras y en el caso que se llegase a presentar alguna de las modelaciones previamente mencionadas estos lugares se verían seriamente afectados.

Honda posee un suelo donde mayormente es arenoso por lo que está expuesto a un mayor riesgo de hundimientos y derrumbes provocados por las crecientes que

se puedan presentar en los modelos desarrollados en la parte urbana del área de estudio. Con la visita a campo se observó que las partes rurales basan sus actividades económicas en el turismo en mayor medida, también se encontraron pequeños cultivos de arroz y algodón y en una menor medida la ganadería, al presentarse un crecimiento considerable en la altura de la lámina de agua en estos sectores se afectarían dichos cultivos ya que en estas partes no cuentan con barreras de contención, se generarían pérdidas económicas no solo por los cultivos sino por la pérdida de semovientes.

Con base en lo anterior se realizó la identificación de impactos, se realizó una identificación para la parte urbana y para la parte rural, como ya se mencionó la parte rural tendría los mayores impactos teniendo como principal problema la pérdida de cobertura vegetal, afectando cultivos, actividades ganaderas y turismo, también generaría la afectación de las viviendas, para la parte urbana el impacto más considerable se presentaría en el periodo de retorno de 50 años, afectando la infraestructura del municipio y generando posibles derrumbes en las partes costeras del mismo ya que estas viviendas están situadas prácticamente en un abismo directo al río como se puede observar en las imágenes tomadas en campo.

Un aspecto que genera estas condiciones de inseguridad en la infraestructura urbana es la mala disposición de los residuos ya que utilizan los "abismos" como botaderos por parte de la población, en charlas con la población manifestaban que arrojaban las basuras a estos lugares porque no se tenía claro los horarios de recolección de residuos establecidos por el municipio o simplemente porque era más sencillo para ellos arrojarlos ahí que desplazarse hasta el lugar donde deben dejar dichos residuos.

7 IMPACTO SOCIAL

Este trabajo es una base para desarrollar un plan de contingencia para posibles inundaciones o crecidas que pueda presentar el río. es una herramienta para el mejoramiento del sistema de alertas tempranas que posee el municipio.

Por otra parte, este es un proyecto que incentiva el uso de herramientas como lo son los modelos hidrodinámicos para el estudio del comportamiento que pueda tener un río y a partir de estos trabajar por el bienestar de la comunidad.

Por último, se desea que los resultados y recomendaciones expuestas en este documento sean tenidas en cuenta por parte del gobierno municipal y se continúe con los sistemas de prevención y atención de riesgos y desastres, además de generar una concientización en la comunidad de la importancia del cuidado y buen manejo del río.

8 CONCLUSIONES

- El desarrollo del modelo hidrodinámico permite realizar la identificación de impactos de una manera práctica ya que da una visión de los escenarios que puedan presentarse y de esta manera poder generar maneras para mitigar los posibles impactos identificados además de ser base fundamental para trabajar con los sistemas de alerta temprana para el municipio de Honda.
- La población presente en el área de estudio tiene una percepción de inseguridad bastante alta en cuanto a posibles crecientes del río, sobre todo en la parte rural del municipio debido a que no cuentan con algún tipo de barrera de contención en caso de presentarse un evento.
- Los modelos hidrodinámicos son herramientas poco utilizadas en el área de estudio y se convierten en buenos sistemas para trabajar en mejorar las condiciones de seguridad del municipio ante posibles eventos como los presentados en el documento.
- El impacto más significativo identificado en el trabajo fue la pérdida de cobertura vegetal ya que se presenta un conflicto por la invasión de las zonas inundables del río por parte de la comunidad para el desarrollo de distintas actividades económicas.
- Un aspecto importante a tener en cuenta en la elaboración del proyecto fue la falta de concientización por parte de la comunidad sobre el cuidado de las riberas del río ya que en la parte urbana son utilizados para la disposición final de los residuos aumentando el riesgo de los posibles impactos.

9 RECOMENDACIONES

Con base en el documento y las conclusiones presentadas se recomienda principalmente a la alcaldía municipal desarrollar programas de protección y concientización de la importancia del cuidado del río y su ribera mejorando la gestión de recolección y disposición de sus residuos.

Por otra parte, trabajar en obras civiles que sirvan para la contención de inundaciones en las partes rurales del municipio ya que no cuentan con barreras para esto.

Trabajar en planes de contingencia en el caso que se presentase algún evento de este tipo, capacitando a las personas sobre cómo actuar en el caso de que se presente una inundación fuerte.

Mejorar el sistema de alertas tempranas, monitoreando el comportamiento del río teniendo en cuenta las condiciones presentadas en este documento como una base de posibles eventos.

Bibliografía

- [1] J. H. C. Acosta, Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá, Medellín, 2011.
- [2] Corantioquia, Manual Piragüero Medición del caudal, Medellín, Colombia: Corantioquia, 2014.
- [3] OMM, GLOSARIO HIDROLÓGICO INTERNACIONAL, Suiza, 2012.
- [4] I. J. P. F. V. I. C. S. P. I. C. S. P. Dr. Ing. Roberto Pizarro T., MÓDULO 2, CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA.
- [5] J. Sánchez, HEC-HMS, Manual elemental, España.
- [6] IBER, Manual básico de usuario, España, 2010.
- [7] S. d. gobernación, Inundaciones, México D.F., 2009.
- [8] G. d. Mexico, INUNDACIONES SÚBITAS, ¡Las más peligrosas!.
- [9] I. M. R. C. G. INTA., El agua del suelo.
- [10] T. R. S. R. M. G. M. L. y. J. M. D. Santiago Ochoa, Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba., Córdoba, Argentina, SEPTIEMBRE 2016.
- [11] J. P. C. C. R. C. b. H. R. L. F. Torres Bejaranoa, La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia, Barranquilla, Colombia, 2014.
- [12] Minambiente, GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA, Bogotá D.C., 2017.
- [13] U. N. p. I. G. d. R. d. D. -. Colombia, Temporada de lluvias, En zonas de ladera conozco y reduzco los riesgos, Bogotá D.C., Colombia .
- [14] L. C. G. C. E. E. J. P. E. V.-C. J. D. y. A. C. E. Bladéa, «Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos,» *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, p. 10, 20 de noviembre de 2012.
- [15] UNESCO, ¿Hay suficiente agua en el mundo?.
- [16] IDEAM, Reporte de avance del estudio nacional del agua, 2018.
- [17] E. O. O. -. R. A. Uribe, INFORME NACIONAL SOBRE LA GESTION DEL, 2000.
- [18] IDEAM, Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas, Bogotá D.C., 2013.
- [19] C. J. R. Herrera, Modelación hidrodinámica del estuario del río Mataquito mediante la herramienta computacional Delft-3D Flow, Concepción, noviembre 2015.

- [20] J. P. C. C. R. C. H. R. L. y. R. C. R. F. Torres-Bejaranoa, La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia, Barranquilla, Colombia, 13 de abril de 2015.
- [21] Cortolima, POMCA DE LA CUENCA DEL RIO GUALI.
- [22] U. d. Tolima, PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RIO GUALI, Ibagué, Colombia, 2010.
- [23] DANE, Boletín censo general 2005 perfil Honda-Tolima, Honda-Tolima: DANE, 2005.
- [24] D. J. J. O. Gálvez, CICLO HIDROLÓGICO, LIMA - PERÚ, 2011.
- [25] F. O. C. y. D. S. A., Movimientos en masa en la región Andina, Canada, 2007.
- [26] F. J. S. S. Román, Hidrología Superficial (II): Hidrogramas, Salamanca: Univ. Salamanca (España) - Dpto. Geología.
- [27] S. G. d. Lima, ¿QUÉ ES CUENCA HIDRÓLOGICA?, LIMA - PERÚ, 2011.
- [28] U. n. N. a. d. C. olombia, FLUJO PERMANENTE GRADUALMENTE VARIADO, Manizales: U niversidad N acional de C olombia, 2006 .
- [29] A. L. REYES, MODELACIÓN DE FLUJO NO PERMANENTE EN SISTEMAS HIDRÁULICOS CON HEC-RAS. APLICACIÓN AL SISTEMA DE CANALES Y LAGOS DE TEXCOCO, MÉXICO, D. F.: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, SEPTIEMBRE 2014.
- [30] C. d. A. d. Mediterráneo, AGUA Y EDUCACIÓN AMBIENTAL: NUEVAS PROPUESTAS PARA LA ACCIÓN, Caja de Ahorros del Mediterráneo, NOVIEMBRE DE 2003.
- [31] J. D. D. G. GÓMEZ, Integration of hydrogeological modelling in decision support systems in Spain: the case of Loma de Ubeda aquifer, Berlin, 2013..
- [32] Minambiente, Caracterización de la cuenca del rio la vieja – plan de ordenación y manejo de la cuenca del rio la vieja, Colombia : Minambiente .
- [33] S. M. R. H. G. B. J. M. Ibáñez Asensio, Morfología de las cuencas, Escuela técnica Superior de Ingeniería.
- [34] N. R. Morales, Curvas de intensidad duración frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas, Costa Rica: MINAET, 2011.
- [35] D. F. P. M. J. Havrylenko S. B., Estimación del número de curva en la cuenca del Río Arrecifes (Provincia de Buenos aires), Buenos aires.
- [36] TyCGis, Modelización hidráulica bidimensional con IBER y ArcGis, Madrid, España..
- [37] M. D. M. Juan Antonio Pascual Aguilar, Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS., Madrid: Universidad de Alcalá, 2016.

- [38] M. G. A. S. M. G. J. V. V. F. N. G. J. Javier López, Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas, España, 2012.
- [39] M. I. Mastaglia, EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN MODELO HIDROLÓGICO DISTRIBUIDO EN GRANDES CUENCAS DE SISTEMAS TÍPICOS Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA DISCRETIZACIÓN ESPACIAL. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL ARROYO FELICIANO., Santa Fe, Argentina : UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL - FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS HÍDRICAS, Julio 2014.
- [40] D. C. P. G. Dr. Paul Hernández Romero, MANUAL PARA EL USO DE MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS, Puebla: UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA, Mayo 2018.
- [41] U. N. d. Colombia, «Universidad Nacional de Colombia,» Universidad Nacional de Colombia , [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/hydrotoolbox/herramientas/borrador-herramientas/hec-hms>. [Último acceso: 12 5 2021].
- [42] J. G. M. S. A. G. M. V. J. y. G. F. López, Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas, Pamplona, España , 2012.
- [43] M. García, SISTEMA DE INFORMACION COMPONENTE HIDROLOGICO REDES, MEDICIONES, OBSERVACIONES Y PROCESOS BASICOS, 1999.
- [44] J. P. C. C. R. C. b. H. R. L. y. R. C. R. F. Torres-Bejaranoa, La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia., Colombia, Barranquilla, 13 de abril de 2015.
- [45] L. B. Pérez, Modelación física en el Laboratorio de Hidráulica, Madrid, 10 de junio de 2010.
- [46] Iber, Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas, España, 2010.
- [47] L. C. G. C. E. E. J. P. E. V.-C. J. D. A. C. E. Bladé, Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos, España, 2012.
- [48] J. Oliveras, «hidrojing,» 22 febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.hidrojing.com/como-seleccionar-el-coeficiente-de-rugosidad-de-manning-en-cauces-naturales/>. [Último acceso: 5 10 2019].
- [49] J. J. L. M. G. A. S. M. G. J. V. y. F. N. Gimena, Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas, Pamplona, 14 de junio 2012.
- [50] J. A. Echeverría, “Guía de Aplicaciones del HEC-HMS en cuencas cubanas. Ejemplos prácticos.”, Habana, 2015.
- [51] Cortolima, POMCA DE LA CUENCA DEL RIO GUAL.
- [52] Escuder-Bueno, 2012.

- [53] G. S.A.S., 2020.
- [54] Cortolima, Gestion del riesgo PONCA de la cuenca del río Gualí, Honda: Cortolima.
- [55] UNGRD, Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia., Bogotá D.C, 2012.
- [56] E. C. D. COLOMBIA, LEY 1450 DE 2011, 2011.
- [57] C. F. J. Céspedes, LOS DETERMINANTES AMBIENTALES Y SU EFECTO EN LA PLANIFICACIÓN DEL TERRITORIO, Bogotá D.C., 2017.
- [58] eoeearth.org, «www.eoeearth.org/article/Hydrologic_cycle, adaptado por Ordoñez, 2011,» 2011. [En línea]. Available: www.eoeearth.org/article/Hydrologic_cycle, adaptado por Ordoñez, 2011. [Último acceso: 24 9 2020].
- [59] J. Sánchez, Precipitaciones, España.
- [60] A. Musy, "Hydrologie générale", 2001.
- [61] C. N. D. P. D. D. S. D. G. -. Mexico, INUNDACIONES, Mexico D.F., 2019.
- [62] i. d. d. d. y. desastres, «idiger,» instituto distrital de detencion y desastres, [En línea]. Available: <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>. [Último acceso: 5 10 2019].
- [63] i. -. E. I. D. d. G. d. R. y. C. Climático, «idiger,» [En línea]. Available: <https://www.idiger.gov.co/riesgo-por-avenidas-torrenciales>. [Último acceso: 5 10 2019].
- [64] A. P. A. C. Jorge Mario Vera Rodríguez, Metodolo gía para el análisis de vulnerabilidadante ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos to rrenciales en cuencas hidrográficas, 5 de mayo de 2017.
- [65] D. M. R. R. y. G. M. Denise Soares, Amenazas y vulnerabilidades: las dos caras de los desastres en Celestún, Yucatán, Distrito Federal, México, 6 de mayo de 2013.
- [66] S. d. d. i. s. d. Bogota, ¿ Que ha pasado con la vulnerabilidad social en colombia? conenctar libertades instrumentales y fundamentales, Bogotá D.C., 2010.
- [67] D. d. d. s. d. l. s. g. d. l. o. d. l. e. a. -. OEA, Comisión Nacional de Actividades Espaciales.
- [68] G. K. S. Cruz, Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones en Colombia, Valencia, 2012.
- [69] S. d. M. A. y. R. Naturales, «gobierno de mexico,» gobierno de mexico, [En línea]. Available: www.gob.mx. [Último acceso: 5 10 2019].
- [70] G. d. España, «<https://sig.mapama.gob.es>,» [En línea]. Available: <https://sig.mapama.gob.es/Docs/PDFServiciosProd2/SubcuencasCompPfafs.pdf>. [Último acceso: 5 10 2019].

- [71] WWF, «Fondo Mundial para la Naturaleza,» Fondo Mundial para la Naturaleza , 20 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=323450>. [Último acceso: 5 10 2019].
- [72] eoeearth.org, «The Encyclopedia of Earth,» 2011. [En línea]. Available: www.eoeearth.org/article/Hydrologic_cycle, adaptado por Ordoñez, 2011. [Último acceso: 5 10 2019].
- [73] L. Posada, Transporte de Sedimentos, Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas. Medellín, 1994 .
- [74] F. K. T. C. N. W. R. Swanson, Landform effects on ecosystem patterns and processes., BioScience,, 1988.
- [75] S. S. F. M. W. C. K. Gregory, An ecosystem perspective of riparian zones, BioScience, 1991.
- [76] N. L. A. J. D. B. M. B. K. J. R. P. K. L. R. B. D. S. R. S. J. C. Poff, The natural flow regime., BioScience,, 1997.
- [77] C. G. A. Capó, Análisis e interpretación de los perfiles longitudinales en la red fluvial del sur y suroriente de mallorca, Mallorca, España.
- [78] Fao, Cuencas Fluviales, Roma, Italia : La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 1980.
- [79] hum.unne.edu.ar, «hum.unne.edu.ar,» [En línea]. Available: hum.unne.edu.a. [Último acceso: 5 10 2019].
- [80] argentina.gob.ar, «argentina.gob.ar,» [En línea]. Available: www.argentina.gob.ar. [Último acceso: 5 10 2019].
- [81] eird.org. [En línea]. Available: www.eird.org. [Último acceso: 5 10 2019].
- [82] IDEAM, «IDEAM,» IDEAM, [En línea]. Available: www.ideam.gov.co. [Último acceso: 5 10 2019].
- [83] C. K. GUARNIZ MUÑOZ, “Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo”, TRUJILLO – PERÚ: universidad privada antenor orrego, 2014.
- [84] J. A. N. d. Guzmán, “MODELAMIENTO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL, PARA LA DETERMINACIÓN DE PLANOS DE INUNDACIÓN DE QUILLACOLLO”, COCHABAMBA, BOLIVIA, Diciembre, 2014.
- [85] M. R. H. G. B. J. M. Ibáñez Asensio Sara, Valores del nº de curva (cálculo de la escurrimiento), Valencia : universidad pontificia de valencia.
- [86] A. Morales, «Mappinggis,» 03 2017. [En línea]. Available: <https://mappinggis.com/>. [Último acceso: 5 10 2019].
- [87] B. L. Cardona, Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas., Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012.
- [88] A. I. G. d. Matauco, ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LA CUENCA Y DE LA RED DE DRENAJE DEL RÍO ZADORRA Y SUS AFLUENTES

APLICADO A LA PELIGROSIDAD DE CRECIDAS, Universidad del País Vasco, 2004.

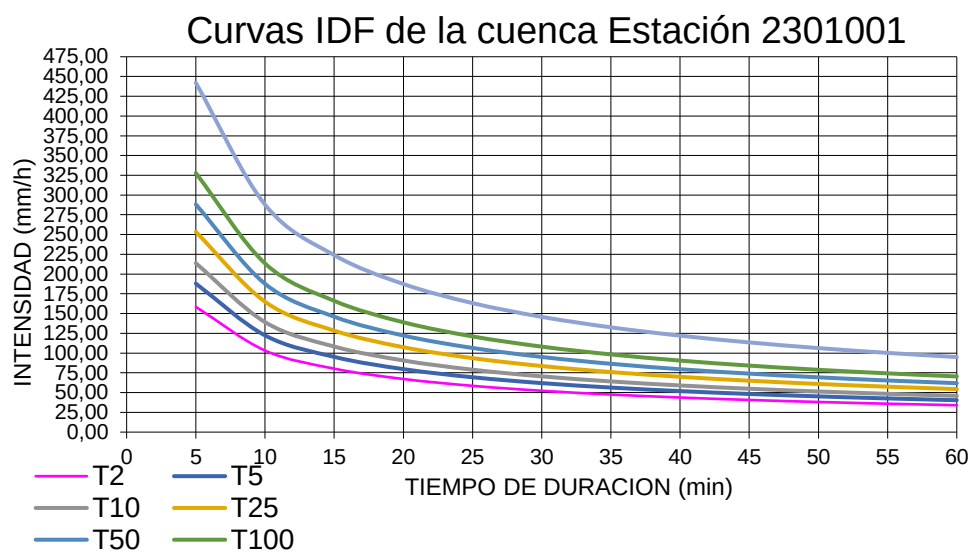
- [89] Cortolima, PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA DE LAS QUEBRADAS LAS PANELAS Y LA Balsa, Cortolima.
- [90] D. I. R. P. T., MÓDULO 2. CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA, SOCIEDAD ESTÁNDARES DE INGENIERÍA PARA AGUAS Y SUELOS LTDA. MÓDULO 2.
- [91] D. F. C. Aranda, Estimación estadística de la precipitación máxima probable en San Luis Potosí, San Luis Potosi - Mexico: Universidad Autónoma de San Luis Potosi , 1998.
- [92] D. F. Campos-Aranda, Relación y estimación de predicciones de lluvia horaria-diaria en dos zonas geográficas de México, San Luis Potosí, 2011.
- [93] A. N. d. Agua, GENERACIÓN DEL MAPA TEMÁTICO DE CURVA NÚMERO (CN), Lima, Peru: Autoridad Nacional del Agua, 2015.
- [94] R. M. P. M. Valentina Estrada Sifontes, Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba, Cuba, 2012.
- [95] T. R. M. G. M. L. J. M. D. Santiago Ochoa, Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba, Córdoba, Argentina., 30/09/2016.
- [96] E. F. M. A. Angel Oswaldo Antonio Paiba, Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia, Facatativá, Cundinamarca. , 2015.
- [97] G. V.-N. F. L.-P. S. G.-M. J. V.-D. M. Y. M. M. Y. Colombia REINOSO-FLOREZ, Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca del rio Gualí, Tolima, Ibagué, Colombia, 2010.
- [98] T. R. S. R. M. G. M. L. y. J. M. D. Santiago Ochoa, «Modelaciónhidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba,» *REVISTAFACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES*, vol. 3, nº 2, p. 7, 2016.
- [99] M. A. A. CARDONA, MANUAL PARA EL CÁLCULO DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN: ERNINUNDACIÓN Y COMPLEMENTARIOS A PARTIR DE UN EJEMPLO DE APLICACIÓN, Bogota D.C , 2017.
- [100] E. M. D. L. Q. P. G. E. E. D. D. CAUCA, VIVIANA KATHERIN OSORIO CASTAÑEDA. INGRID PAOLA ORTIZ RODRÍGUEZ, BOGOTÁ D.C.: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, 2015.
- [101] U. d. Oriente, «ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS DIFERENTES MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA PREDICCIÓN DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARA EL DISEÑO ADECUADO DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS,» *SABER. Revista Multidisciplinaria del*

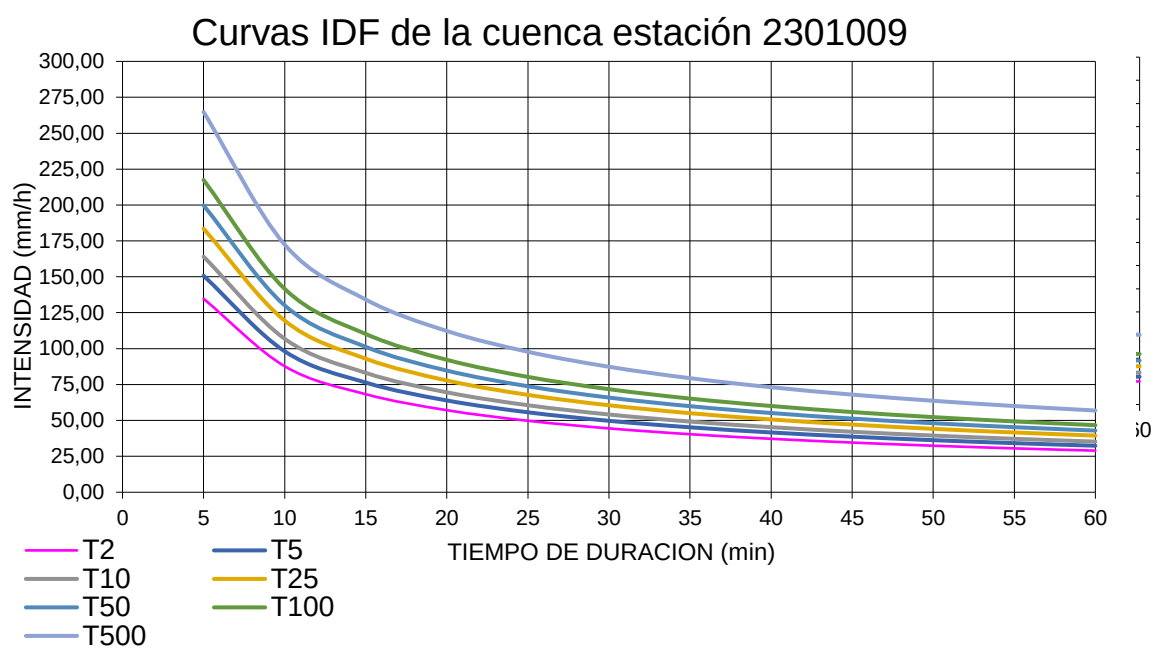
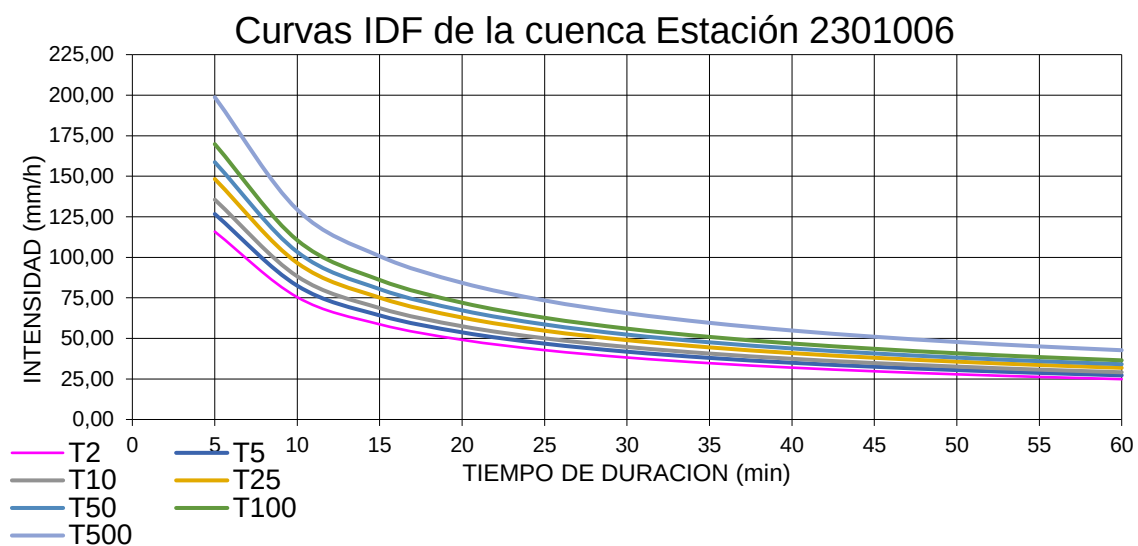
Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, vol. 18, nº 2, p. 196, 2006.

ANEXOS

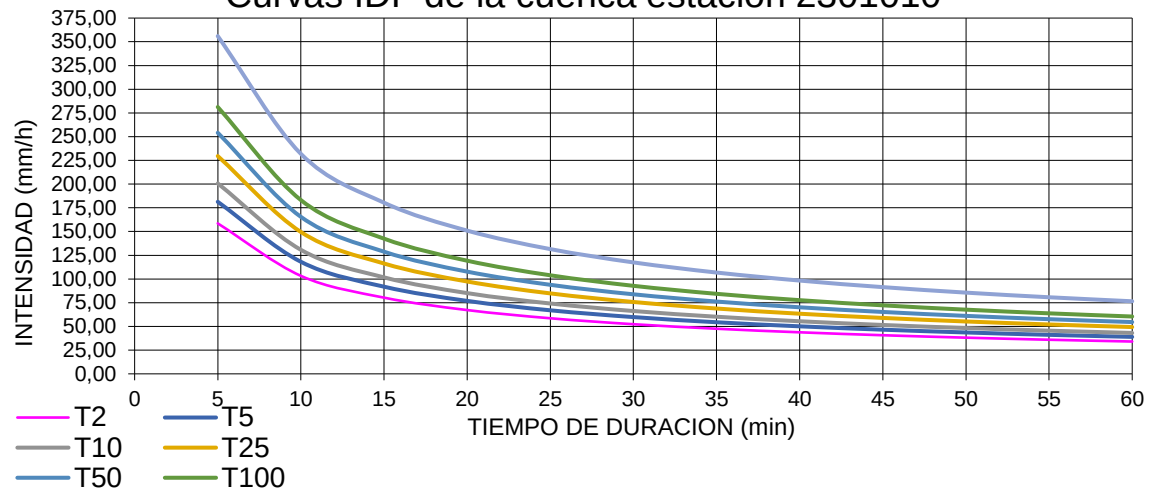
Anexo 1.

Curvas de intensidad duración frecuencia en diferente periodo de retorno

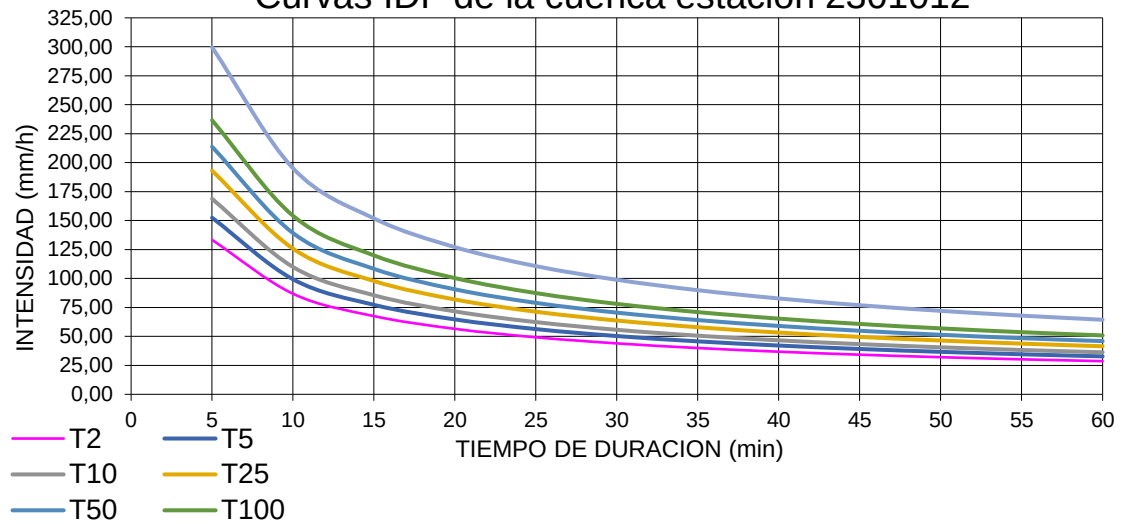




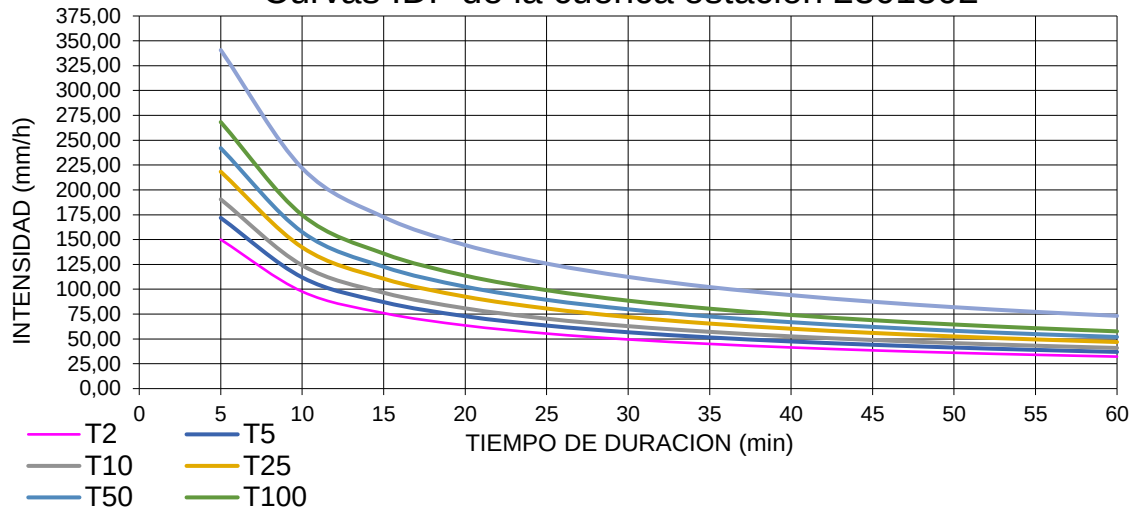
Curvas IDF de la cuenca estación 2301010



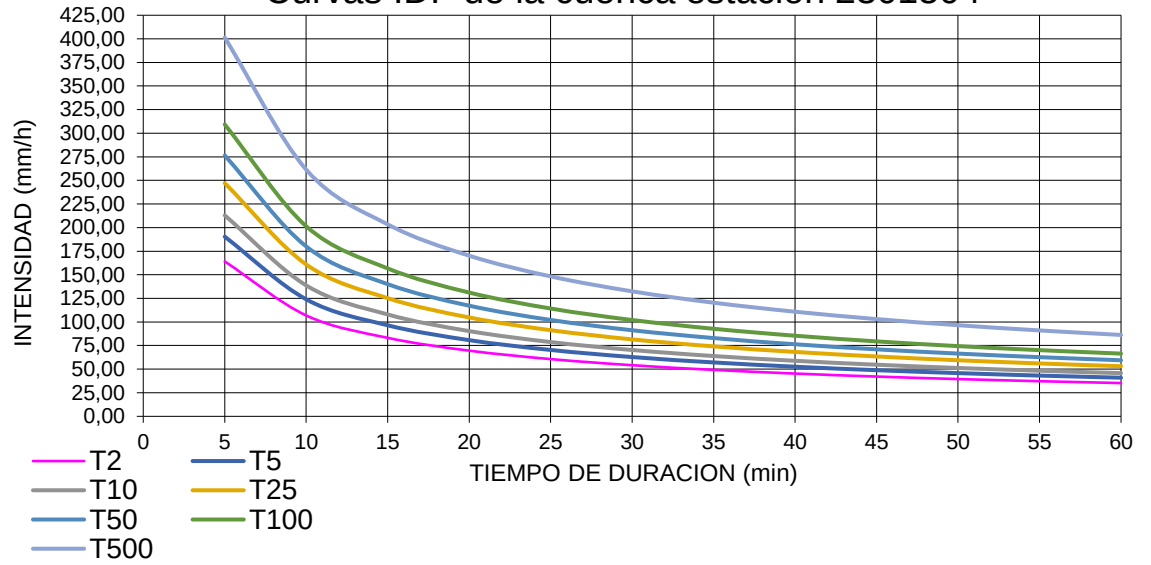
Curvas IDF de la cuenca estación 2301012

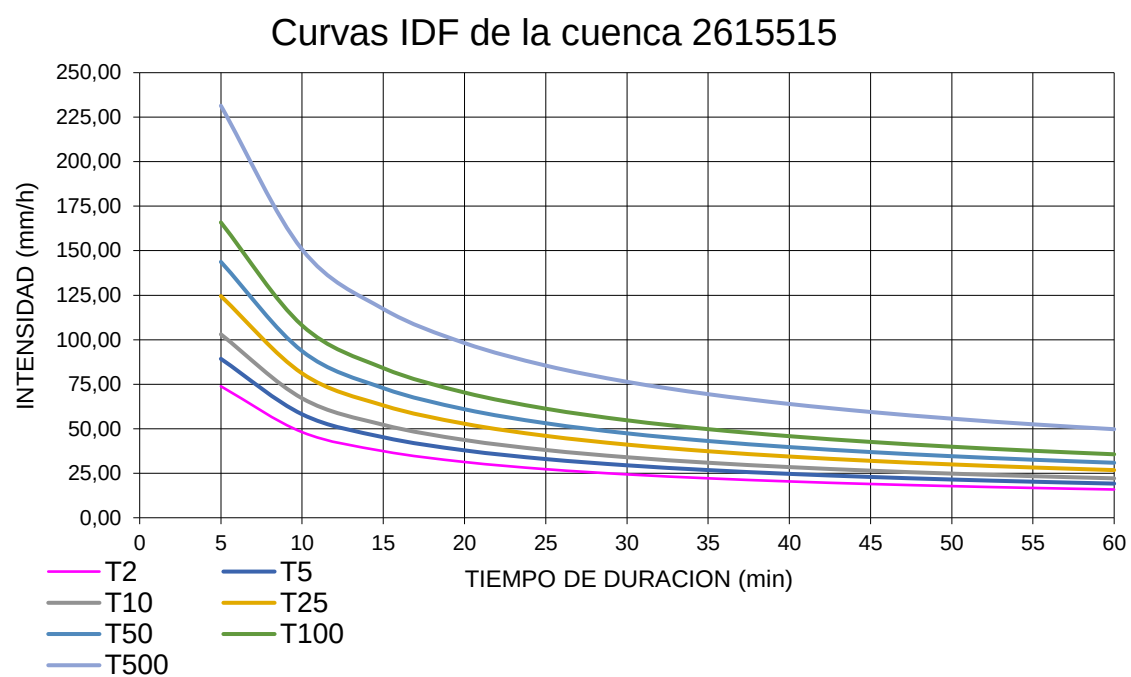


Curvas IDF de la cuenca estación 2301502



Curvas IDF de la cuenca estación 2301504



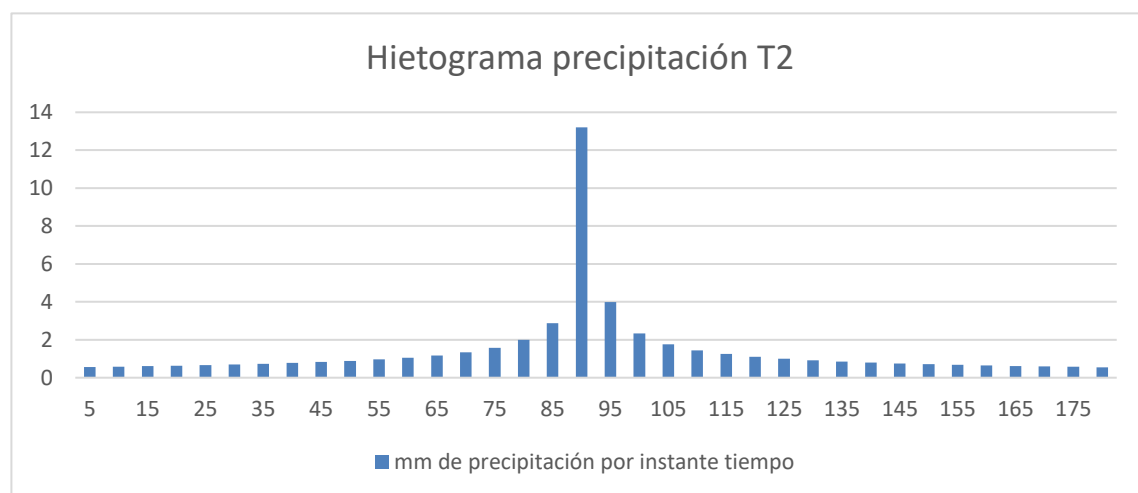


Anexo 3

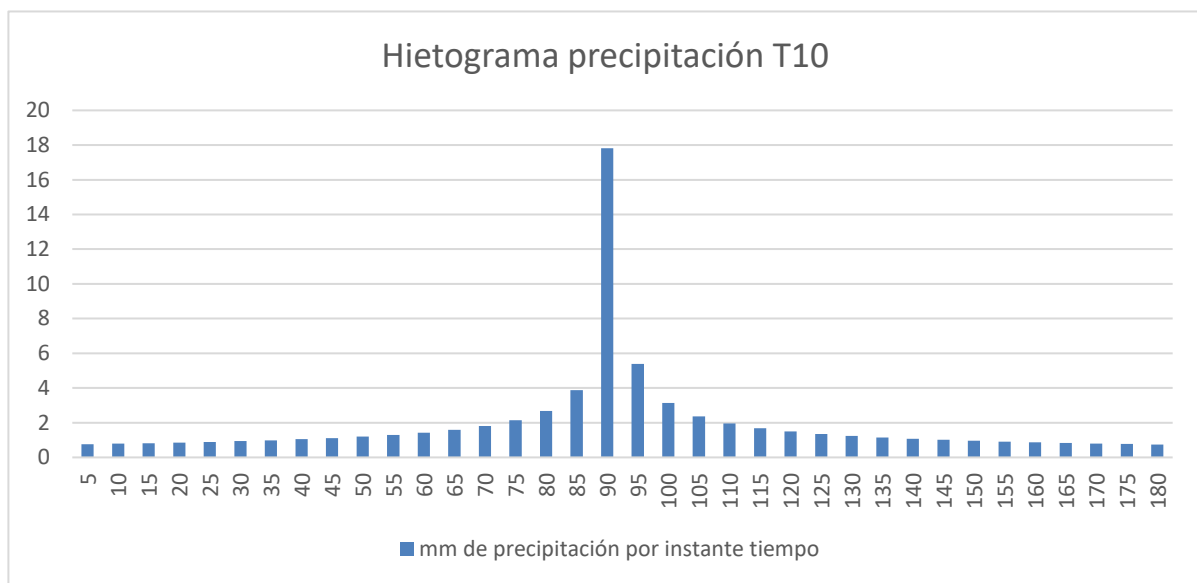
Hietogramas en diferentes periodos de retorno

Hietograma estación 2301001

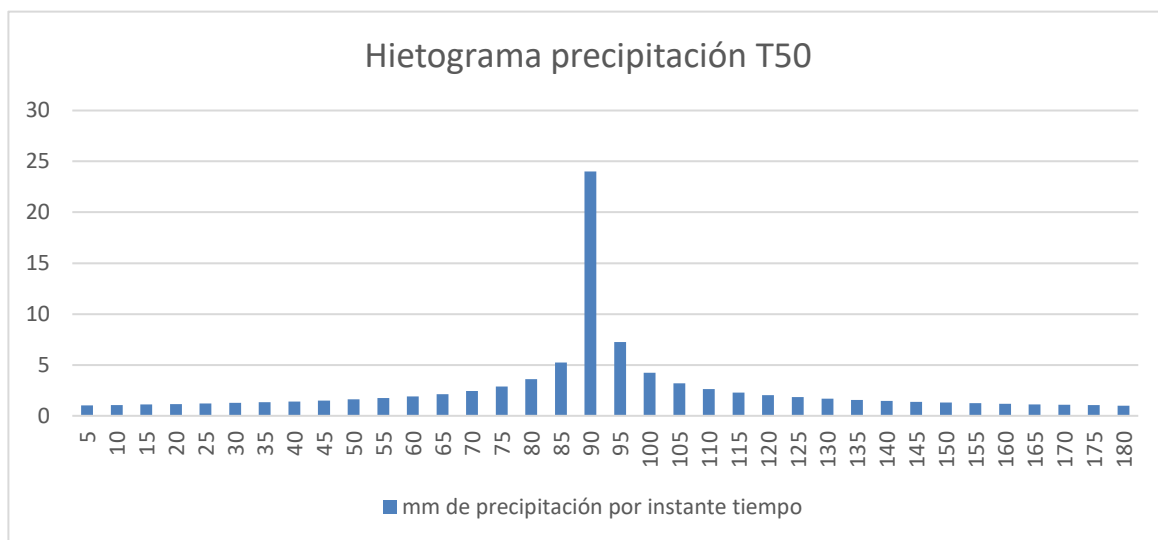
T 2 años



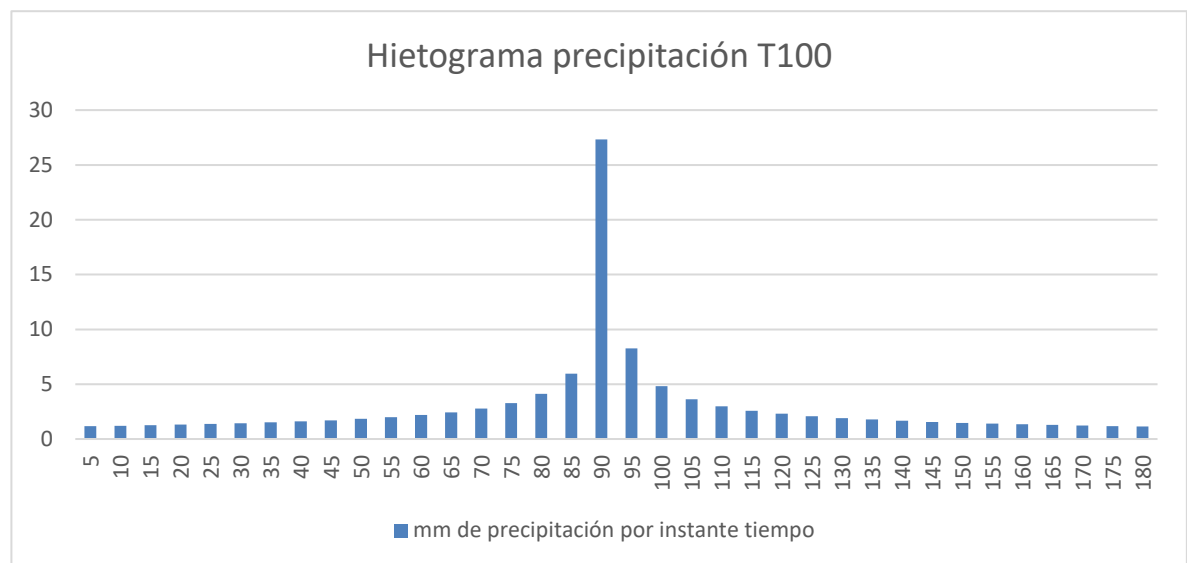
T 10 Años



T 50 Años

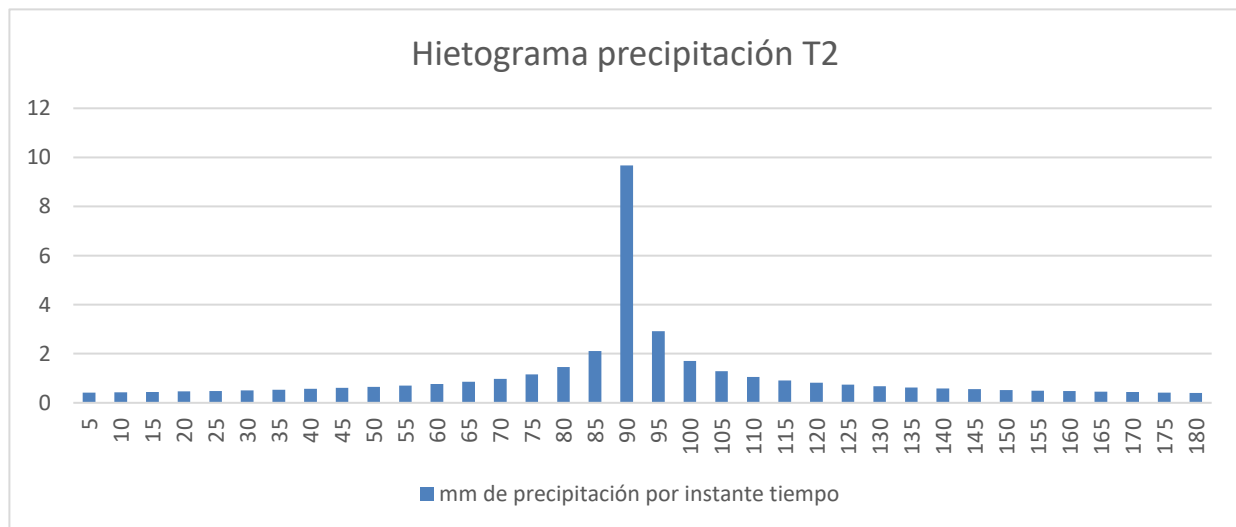


T 100 Años

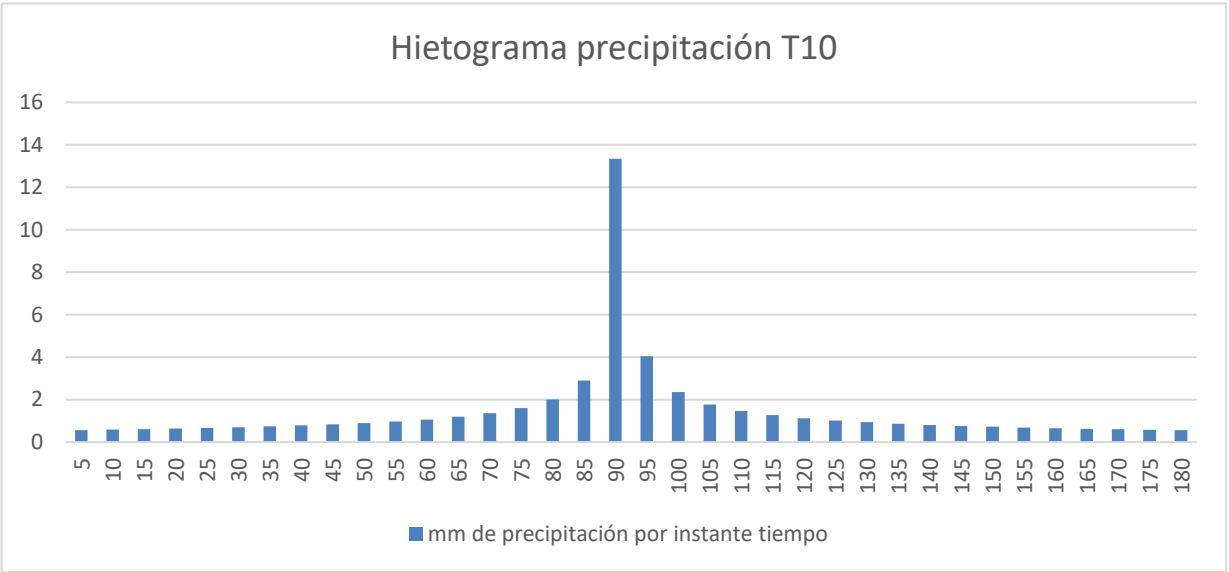


Hietograma estación 2301002

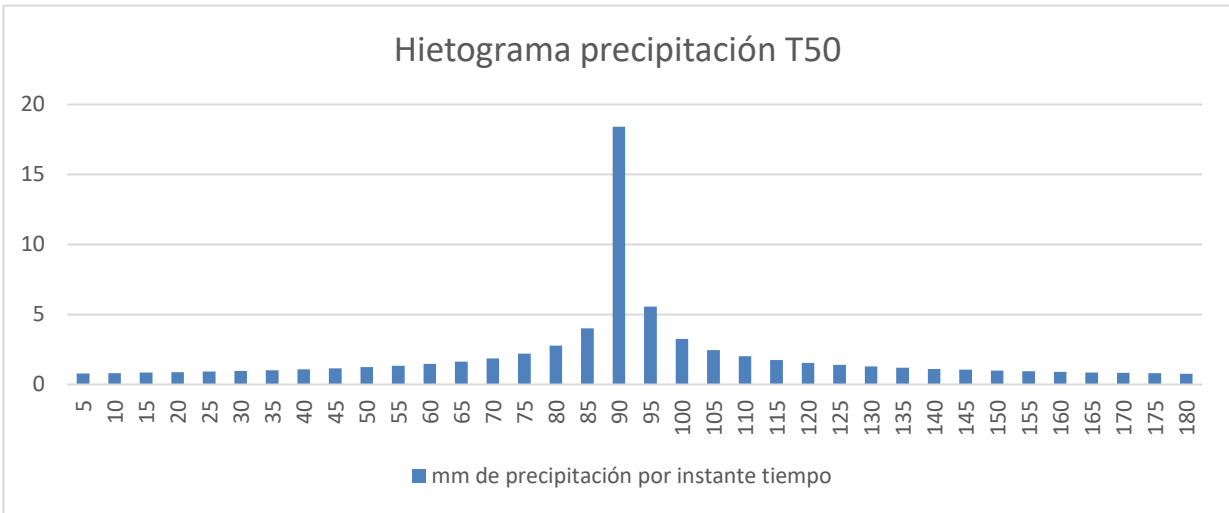
T 2 Años



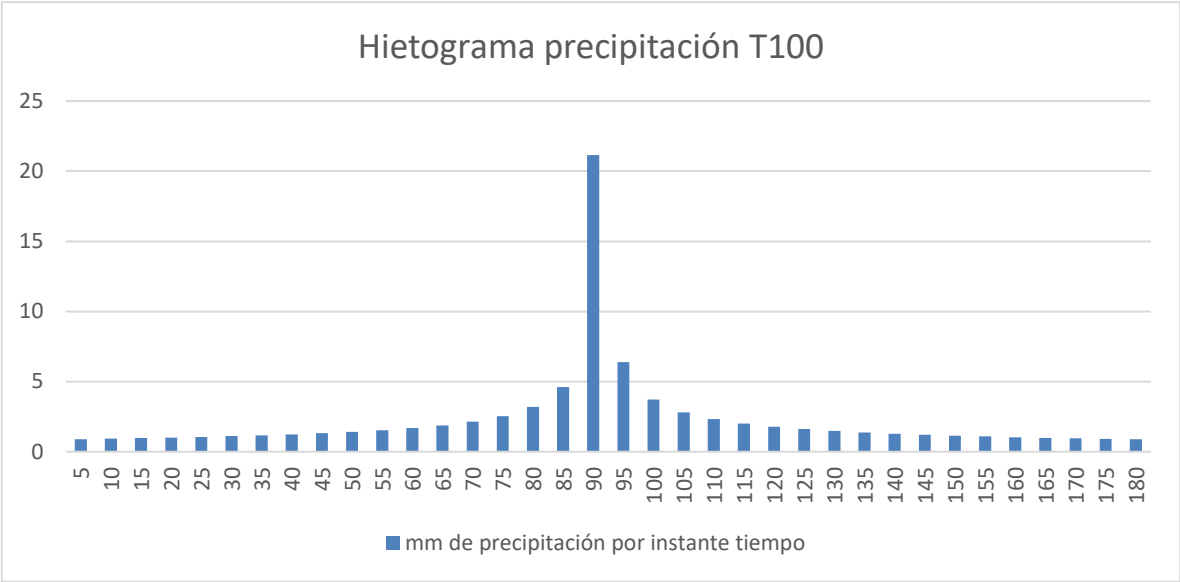
T 10 Años



T 50 Años

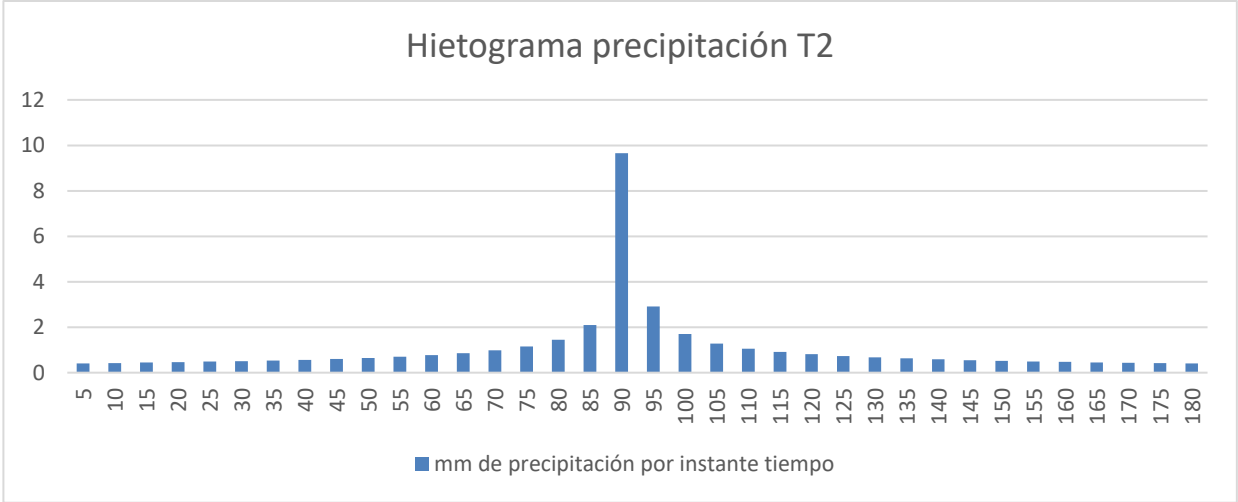


T 100 Años

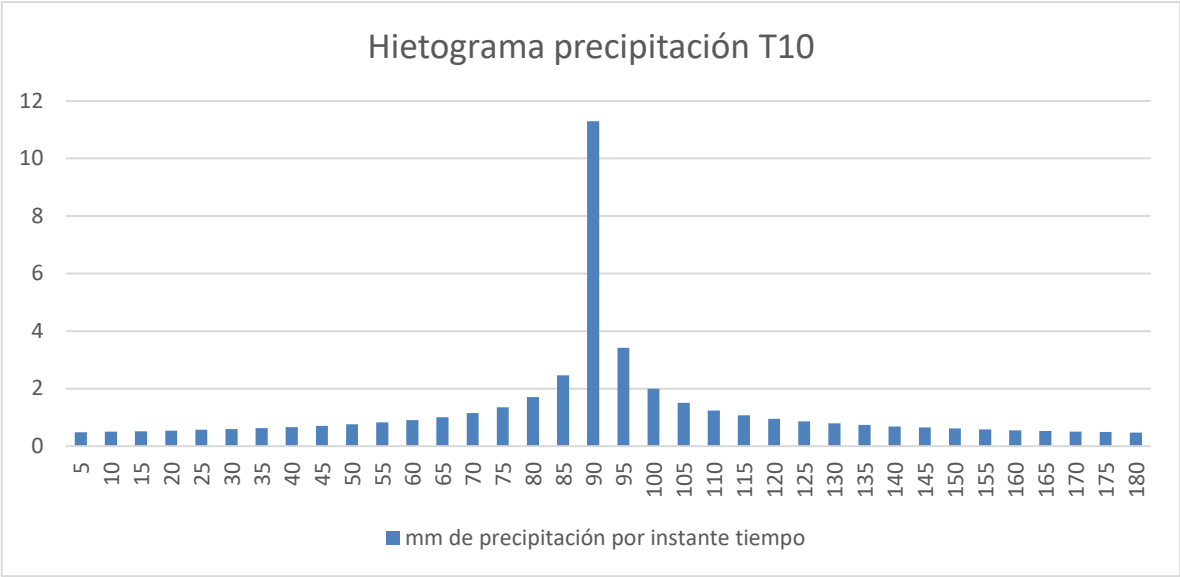


Hietograma estación 2301006

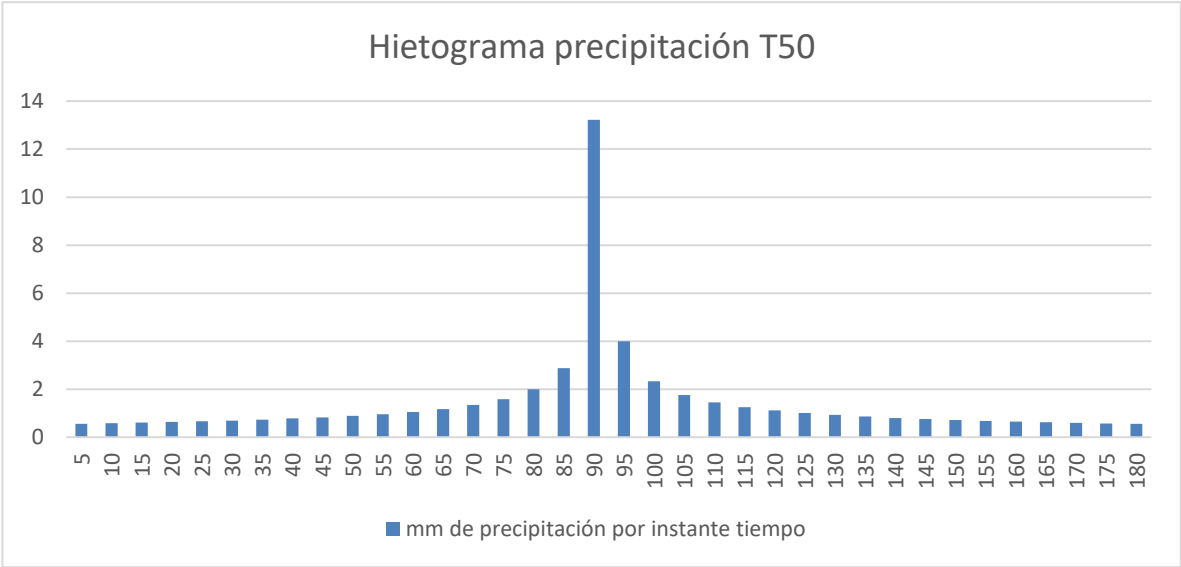
T 2 Años



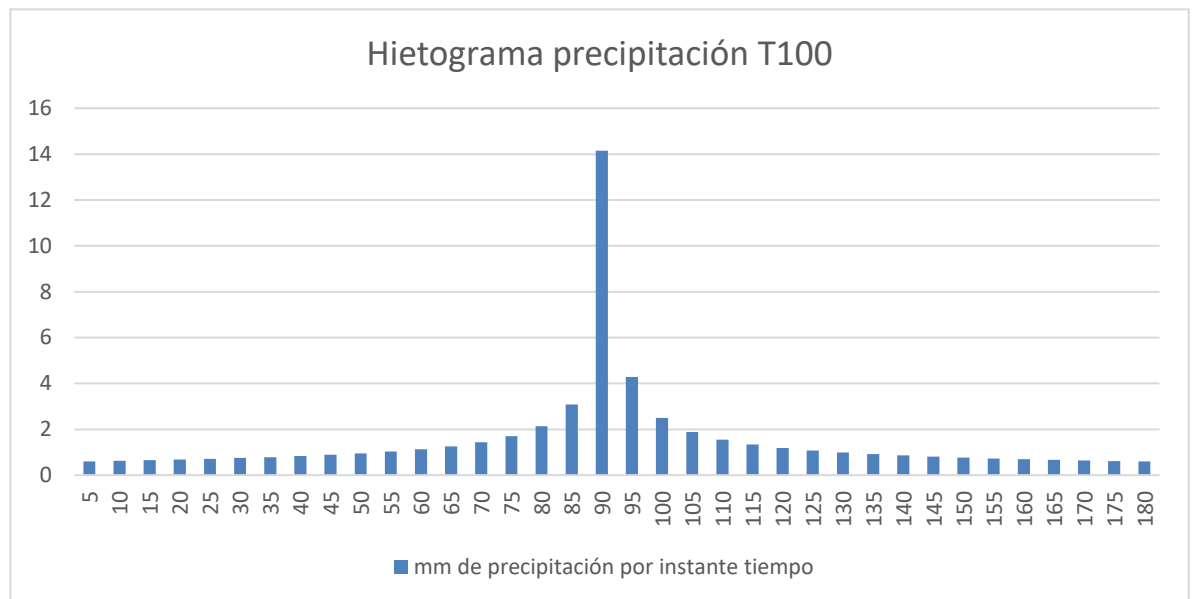
T 10 Años



T 50 Años

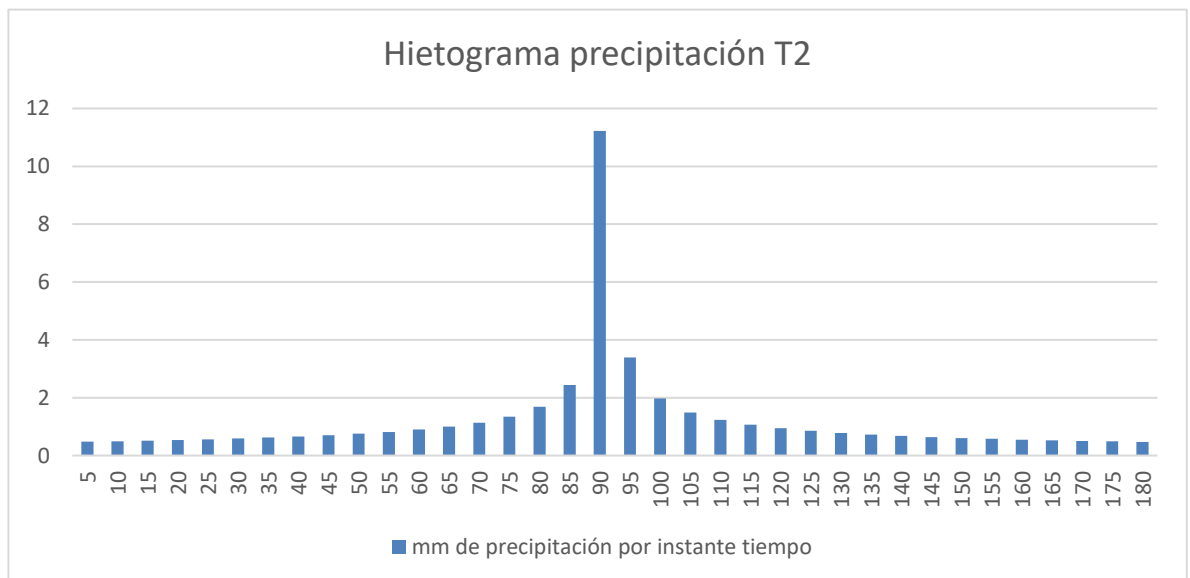


T 100

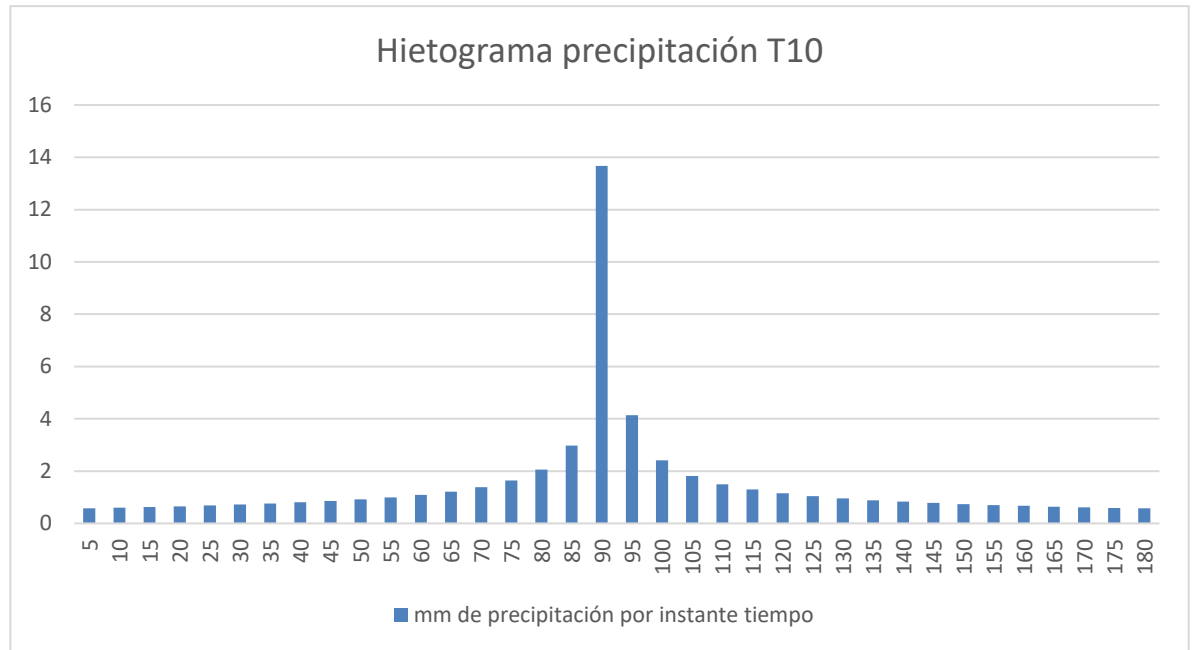


Hietograma estación 2301009

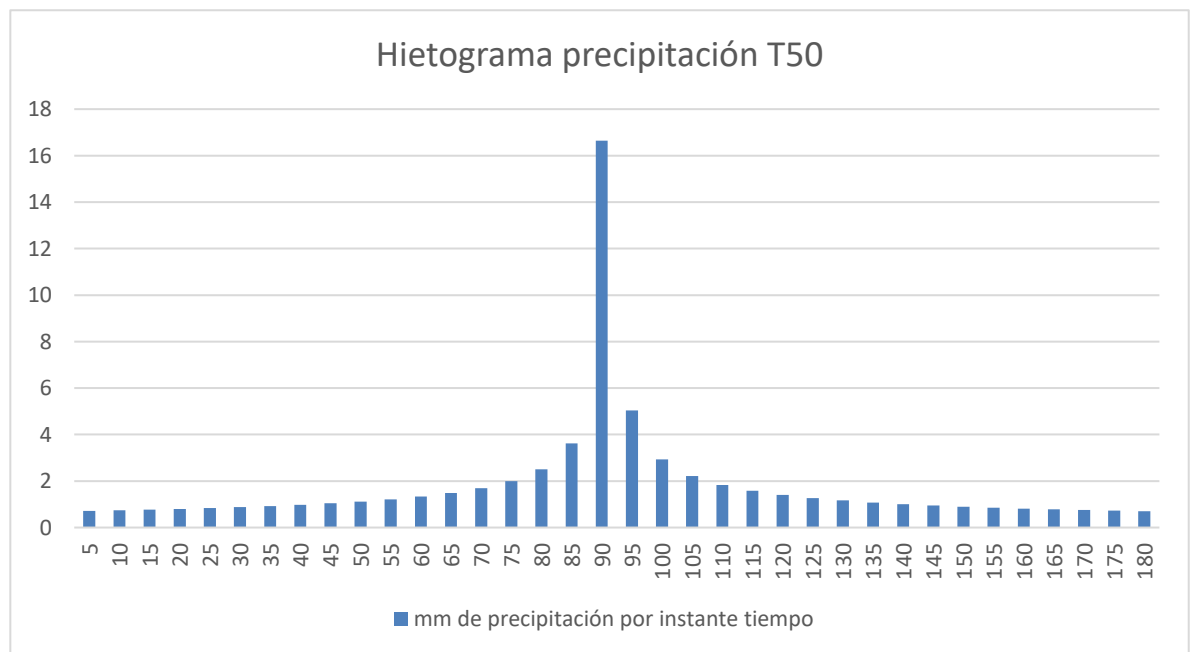
T 2 Años



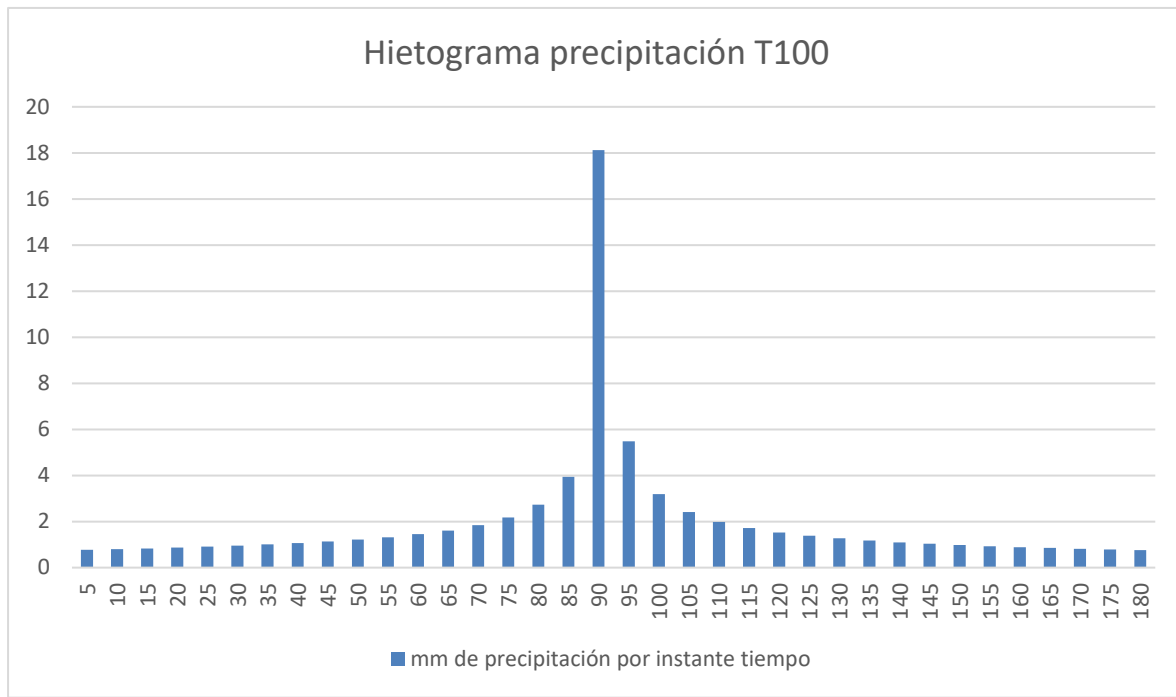
T 10 Años



T 50 Años

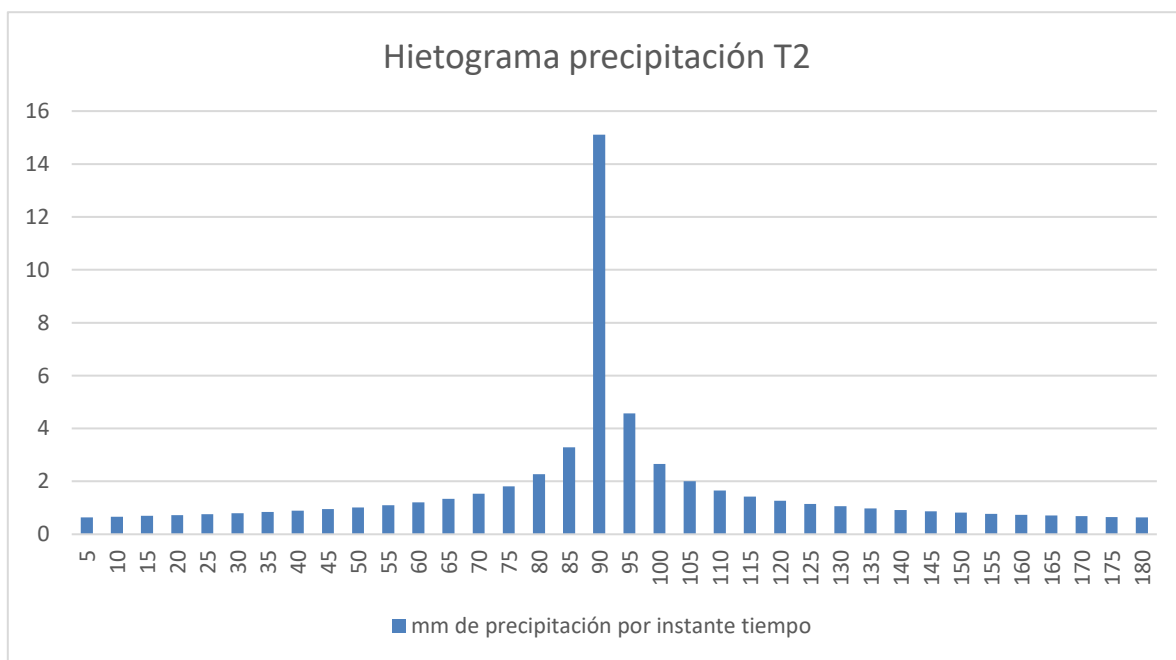


T 100 Años

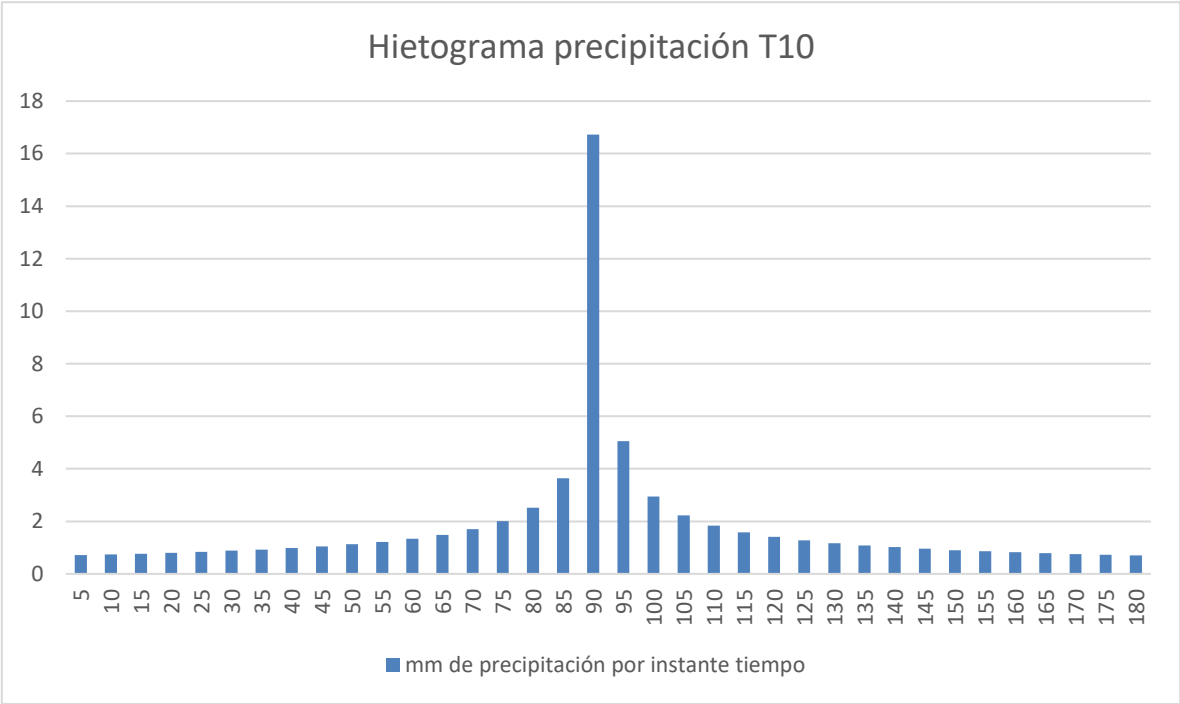


Hietograma estación 2301010

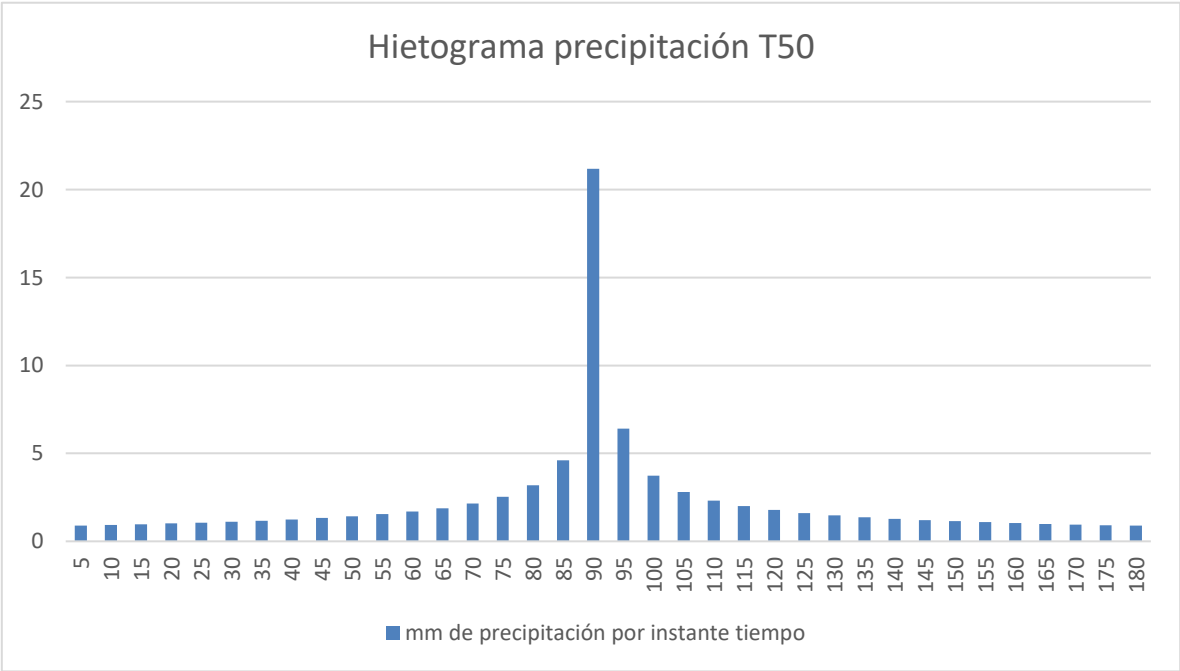
T 2 Años



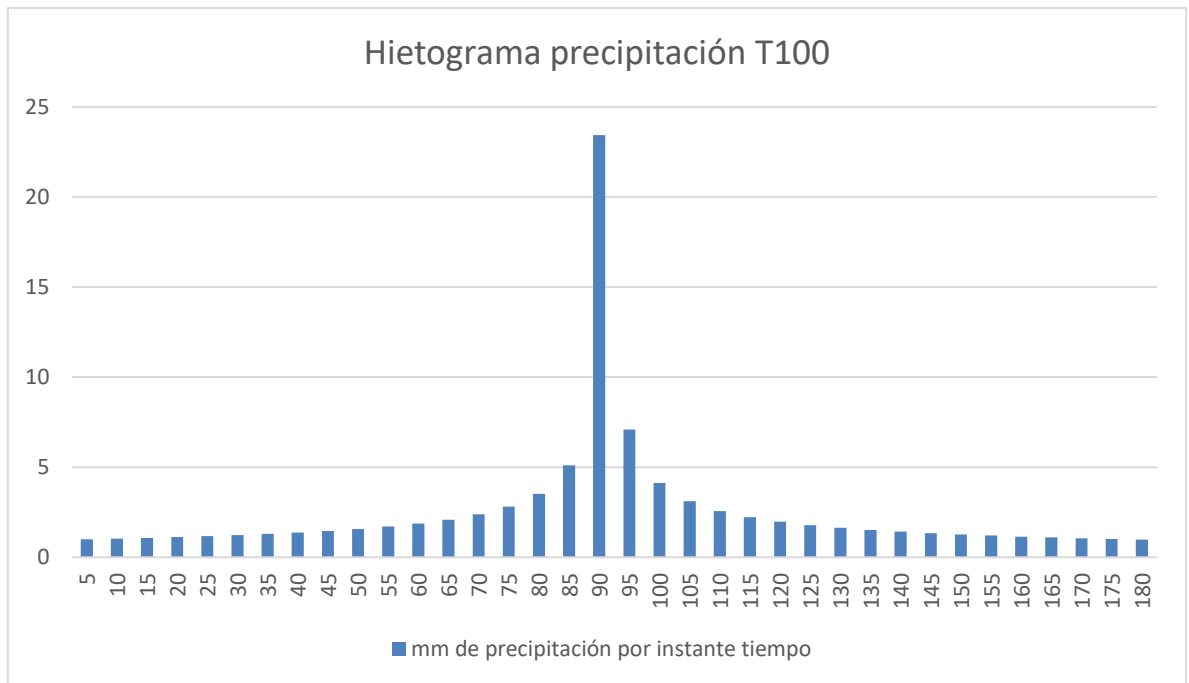
T 10 Años



T 50 Años

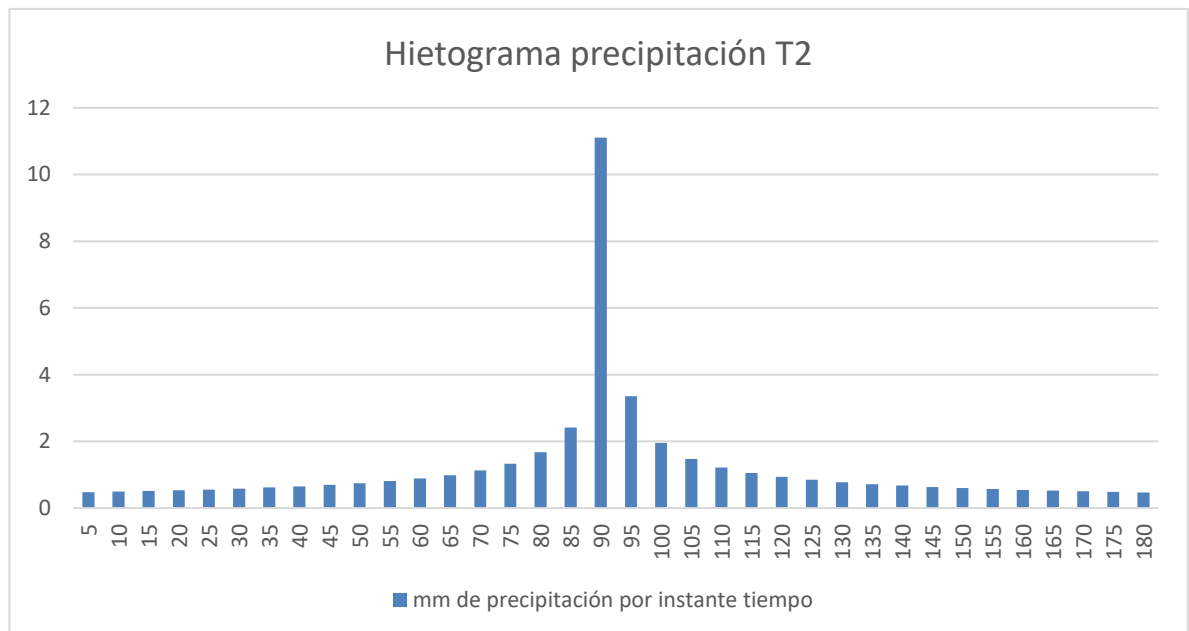


T 100 Años

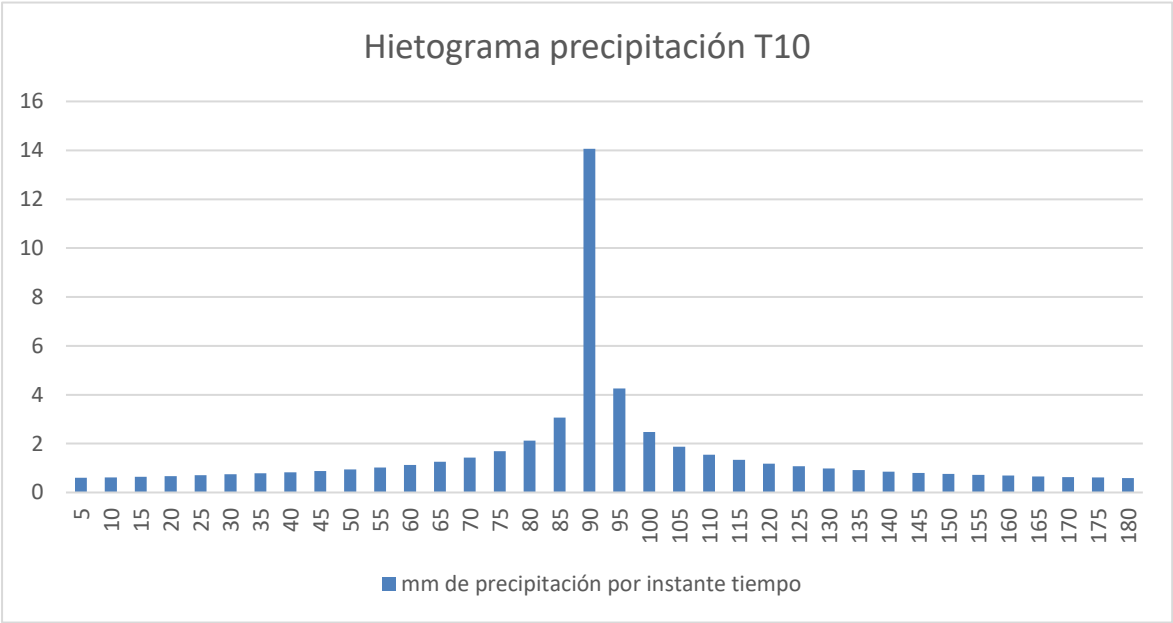


Hietograma estación 2301012

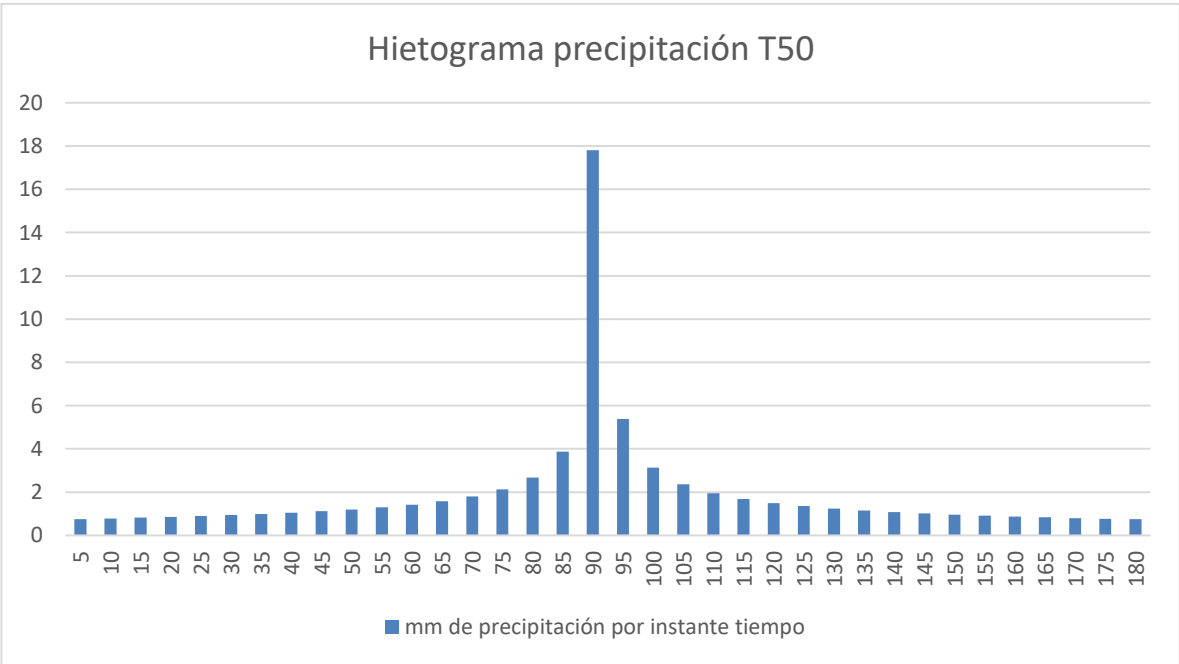
T 2 Años



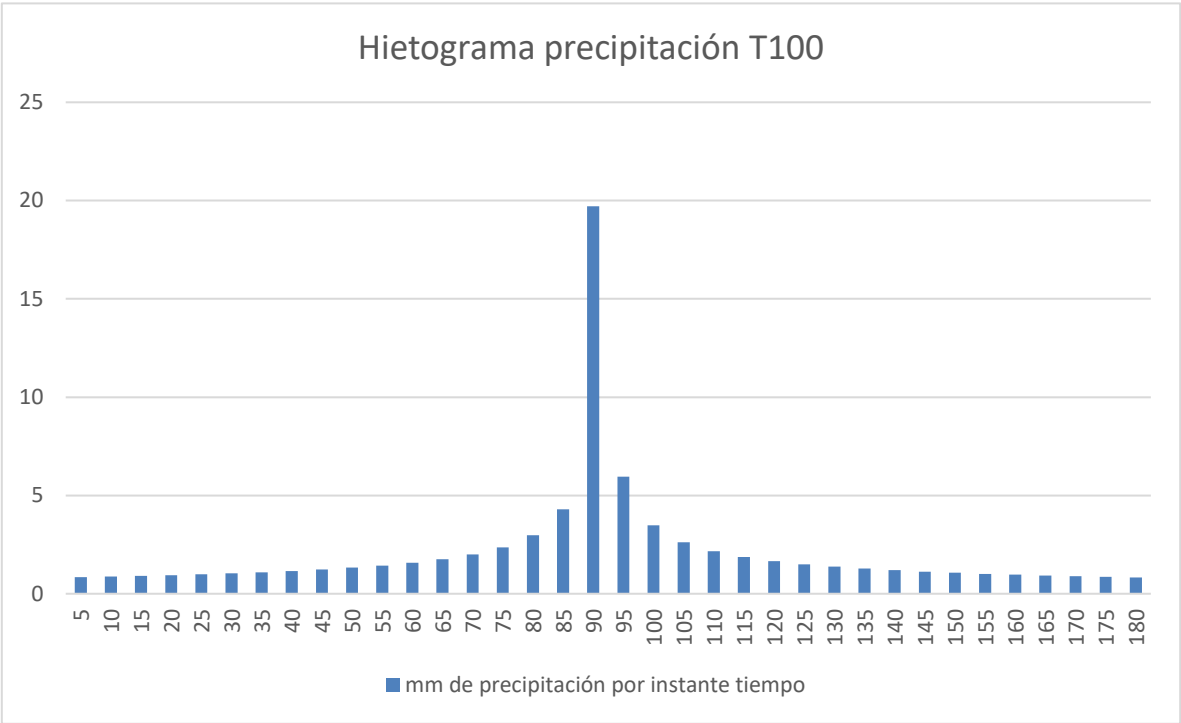
T 10 Años



T 50 Años

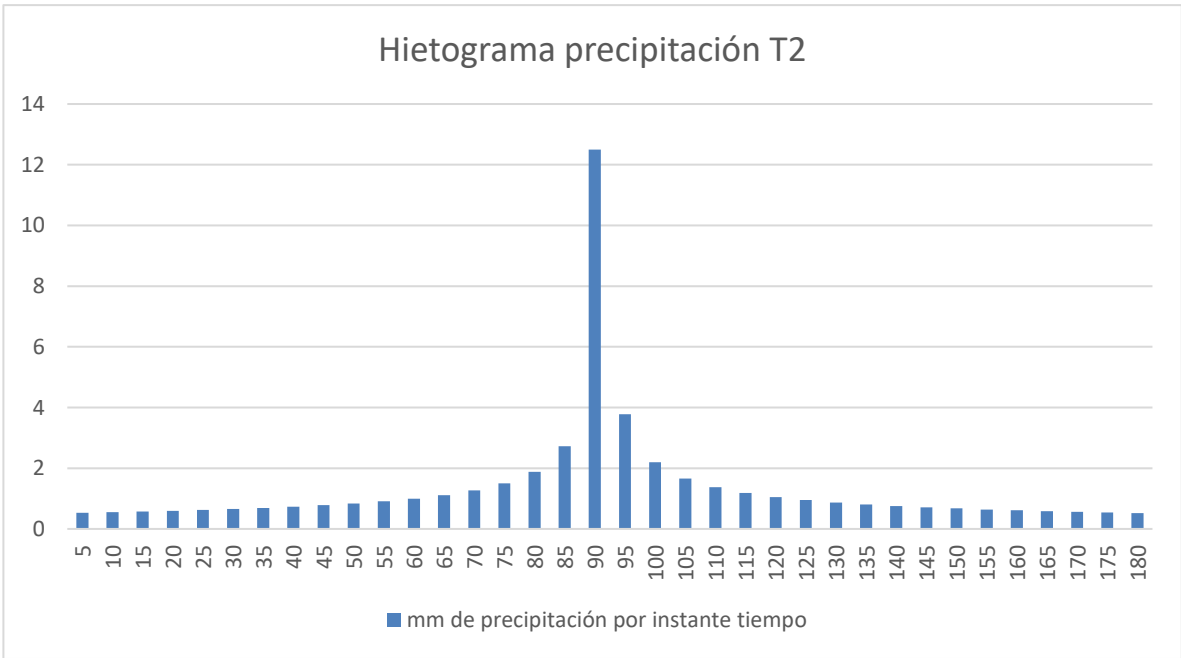


T 100 Años

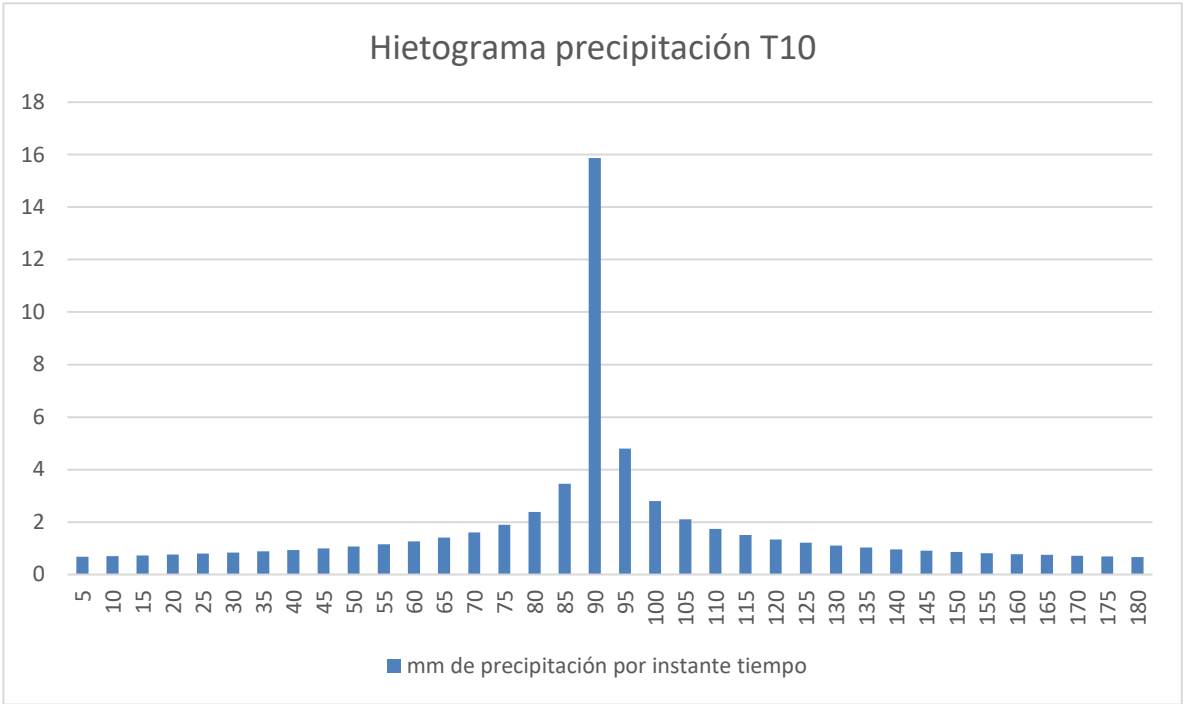


Hietograma estación 2301502

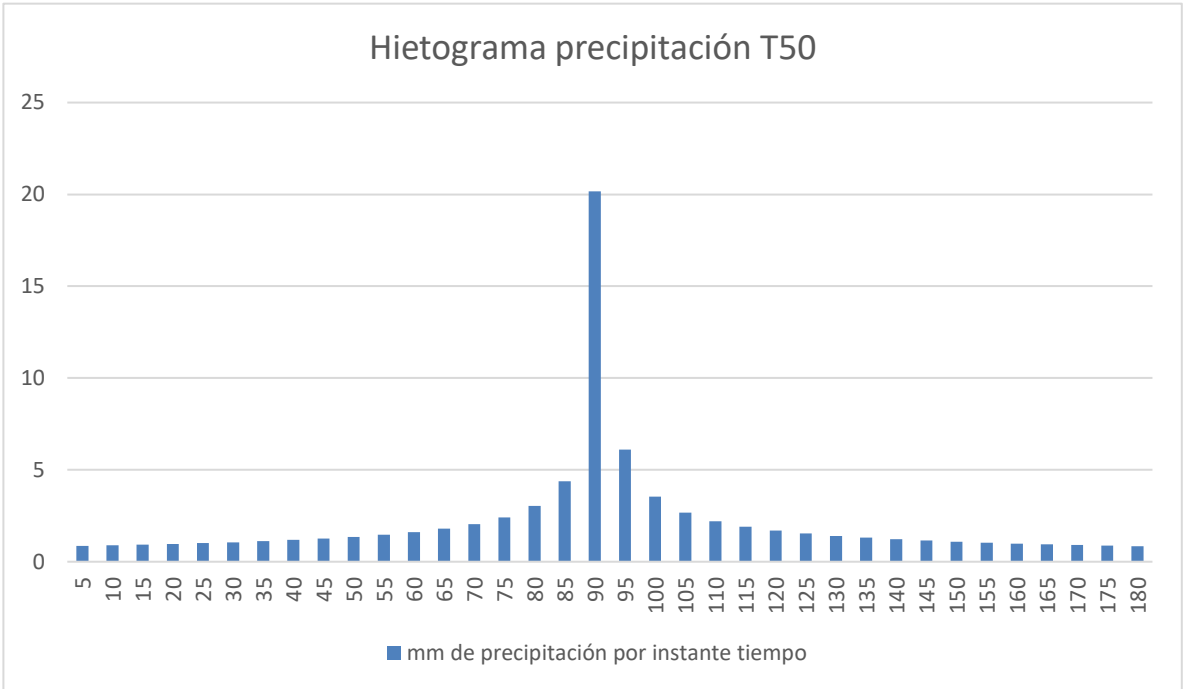
T 2 Años



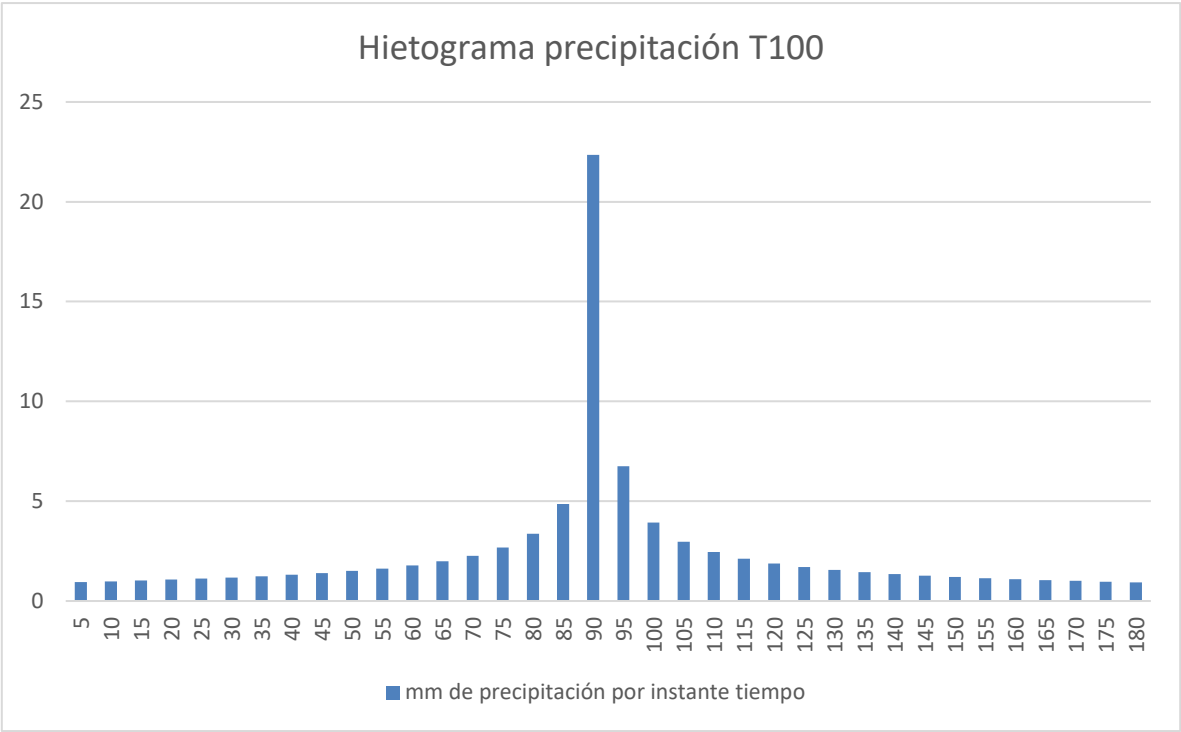
T 10 Años



T 50 Años

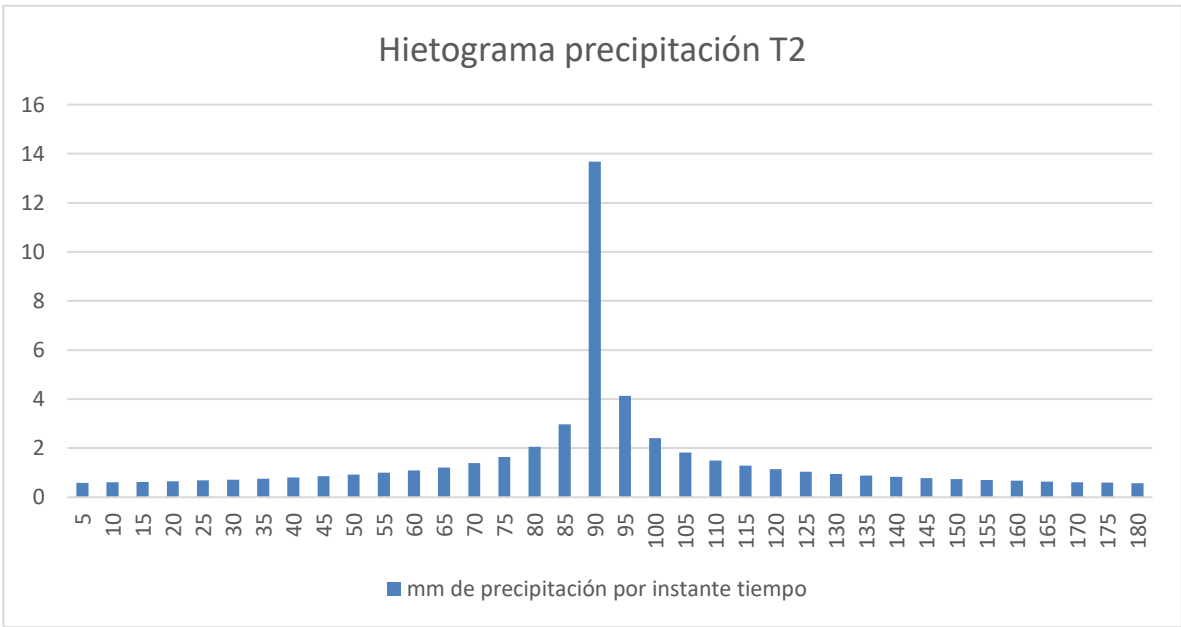


T 100 Años

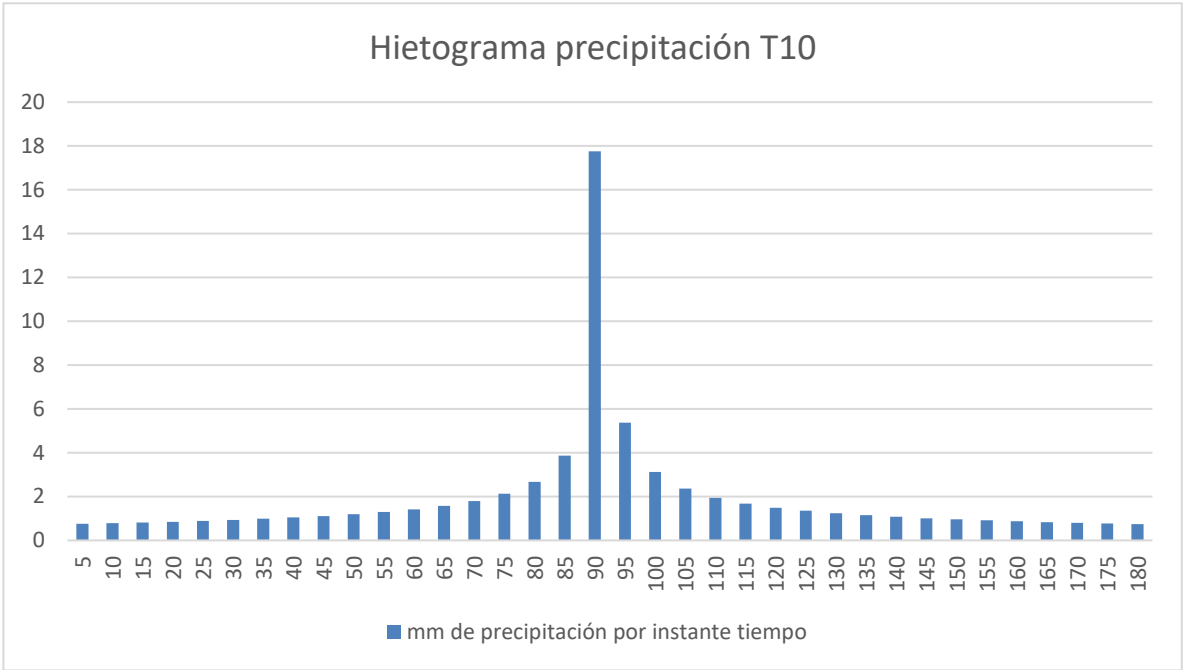


Hietograma estación 2301504

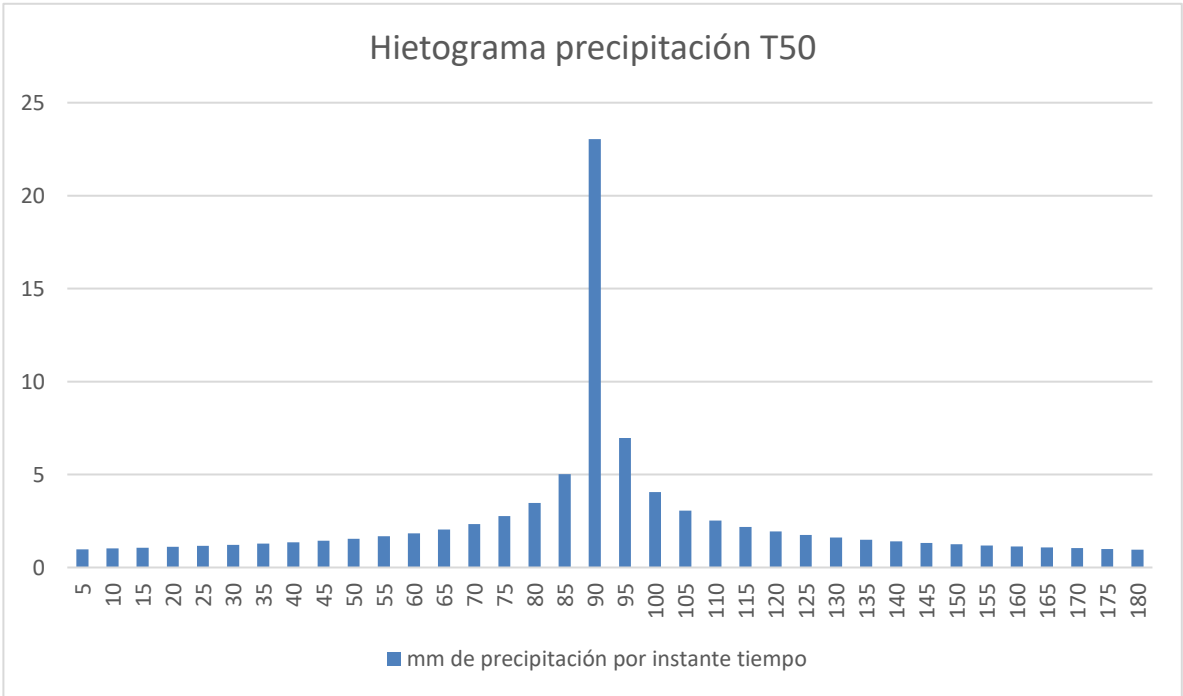
T 2 Años



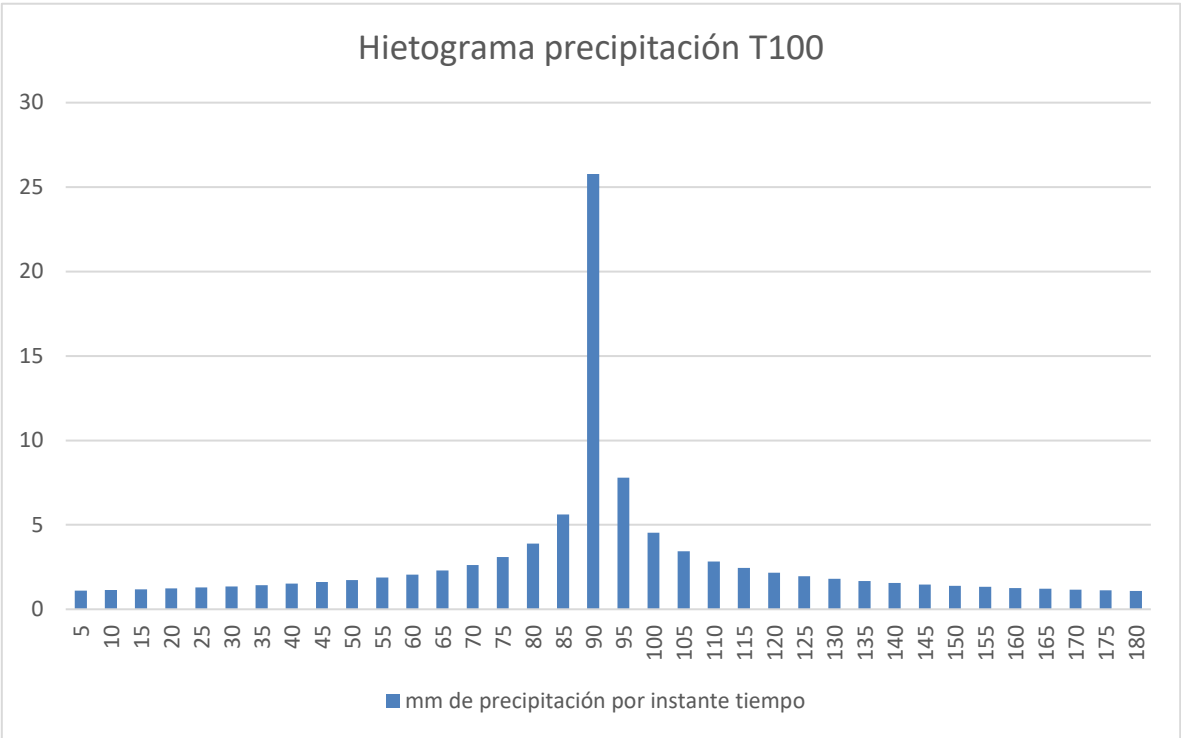
T 10 Años



T 50 Años

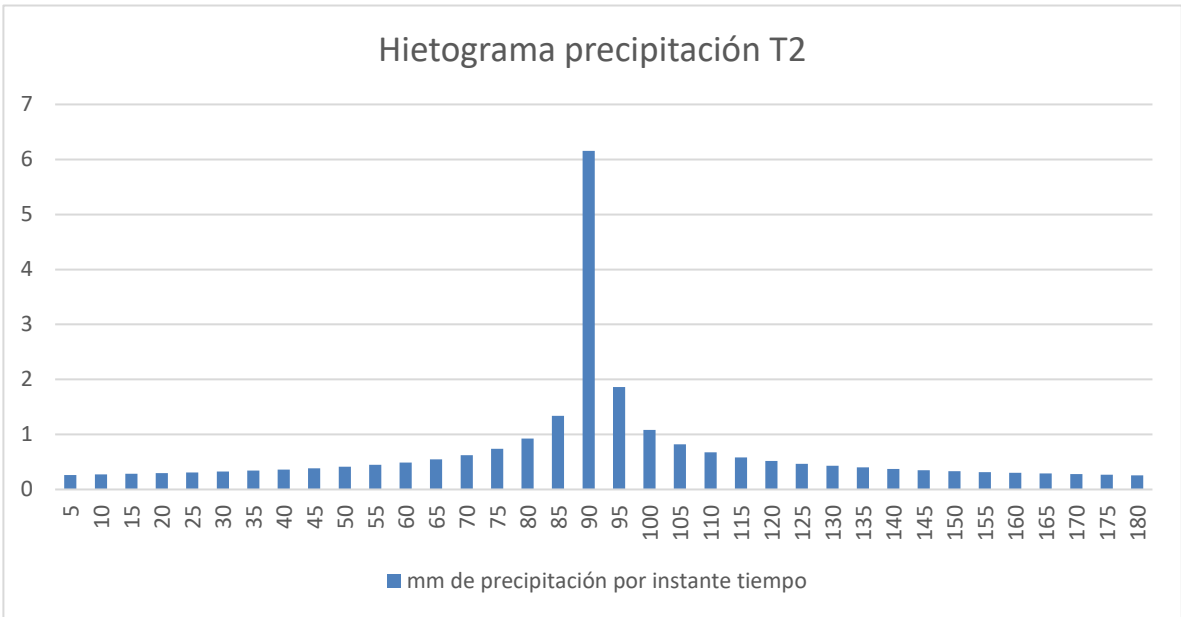


T 100 Años

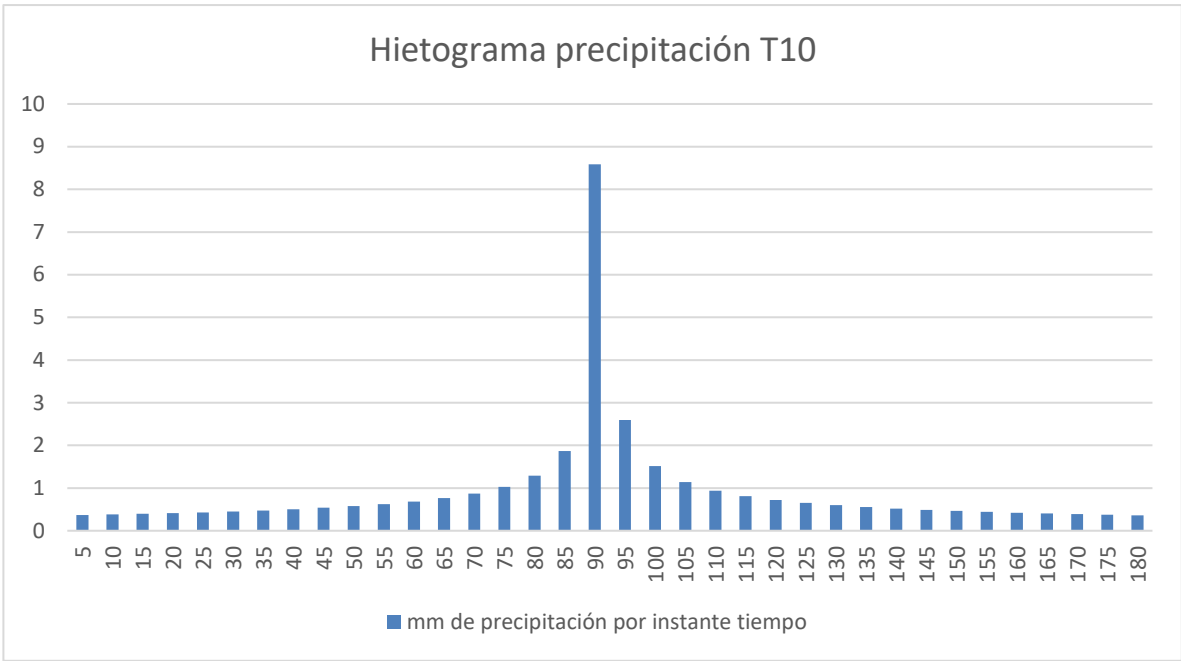


Hietograma estación 2615515

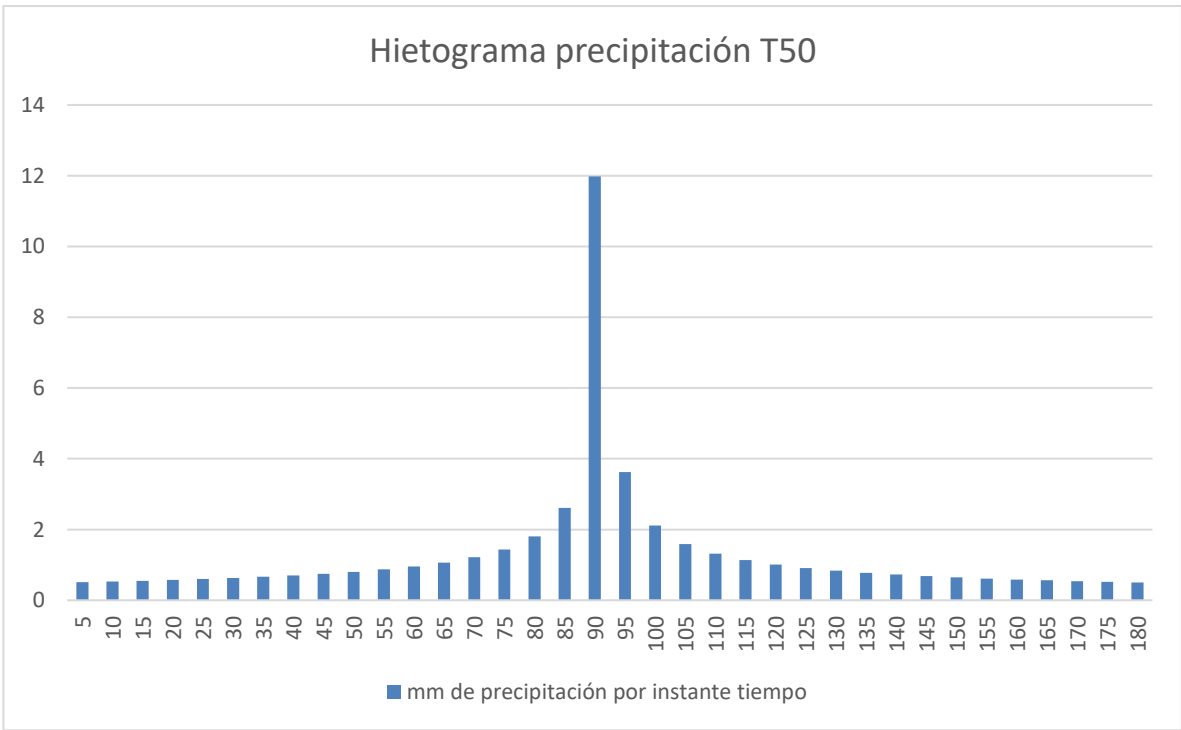
T 2 Años



T 10 Años



T 50 Años



T 100 Años

