

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTA DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL -**

**SEDE JAÉN**



**TESIS**

**“ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE  
OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA  
CACHIMAYO – AMAZONAS”**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Presentado por:**

**BACH. ANDI JUSSEPP CHILCON QUISPE**

**Asesor:**

**Dr. ING. LUIS VASQUEZ RAMIRES**

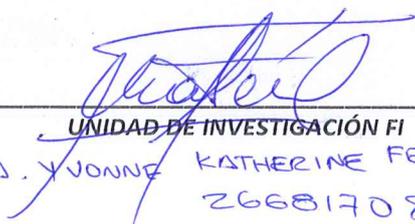
**JAÉN – CAJAMARCA – PERÚ**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Andi Jussepp Chilcon Quispe  
**DNI:** 70562142  
**Escuela Profesional:** Ingeniería Civil
- Asesor:** Dr. Luis Vásquez Ramírez  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller     Título profesional     Segunda especialidad  
 Maestro     Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis     Trabajo de investigación     Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA CACHIMAYO – AMAZONAS.
- Fecha de evaluación:** 04/12/2023
- Software antiplagio:**  TURNITIN         URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 17% (Diecisiete por ciento).
- Código Documento:** oid:3117:292238221
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 04/12/2023

|   |  |
|---|--|
| <br>FIRMA DEL ASESOR<br>Nombres y Apellidos: Dr. Luis Vásquez Ramírez<br>DNI: 26693344 | <br>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI<br>DES. YVONNE KATHERINE FERNANDEZ L.<br>26681708 |
|---|--|



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



## ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE OCACIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA CACHIMAYO - AMAZONAS."

ASESOR : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.

En la ciudad de Jaén, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0506-2023-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 4 de diciembre de 2023, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **siete días del mes de diciembre** del año 2023, siendo las siete horas (07:00 a.m.) en el Aula N° 02, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Filial Jaén, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Vocal : Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.  
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

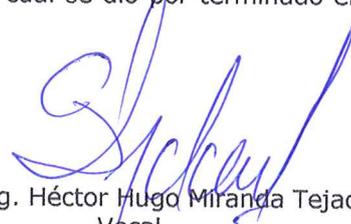
Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE OCACIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA CACHIMAYO - AMAZONAS", presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil ANDI JUSSEPP CHILCON QUISPE, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Filial Jaén asesorado por el Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA: .....<sup>06</sup>..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA: .....<sup>09</sup>..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : .....<sup>15</sup>..... PTS ..... *Quince* ..... (En letras)

En consecuencia se lo declara..... *Aprobado* ..... con el calificativo de ..... *Quince* ..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ..... *ocho a.m.* ..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

  
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Presidente

  
Mag. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada.  
Vocal

  
M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.  
Secretario

  
Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.  
Asesor

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo primeramente a mi señora madre Isabel Quispe Rodrigo, ya que gracias a su apoyo hizo posible, lo dedico a Dios, por otorgarme una familia tan maravillosa, quienes han creído en mí siempre, ellos me han enseñado a valorar las pequeñas cosas de la vida; a todos ellos dedico este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre, ya que ella siempre han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida.

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| DEDICATORIA .....  | I         |
| AGRADECIMIENTO.....  | II        |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | V         |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | VI        |
| RESUMEN.....   | VIII      |
| ABSTRAC.....   | IX        |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>                                  | <b>2</b>  |
| 1.1.1. SELECCIÓN DEL PROBLEMA.....   | 2         |
| 1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA.....                           | 3         |
| 1.1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....                                | 4         |
| 1.1.4. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....                 | 6         |
| <b>1.2. OBJETIVOS.....</b>   | <b>6</b>  |
| 1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....   | 6         |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....  | 6         |
| <b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>                                       | <b>7</b>  |
| <b>2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....</b>                                       | <b>7</b>  |
| 2.1.1. INTERNACIONALES.....  | 7         |
| 2.1.2. NACIONALES .....  | 7         |
| <b>2.2. BASES TEÓRICAS.....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.2.1. HIDROLOGÍA .....  | 8         |
| 2.2.2. CUENCA HIDROGRÁFICAS.....   | 8         |
| 2.2.3. PRECIPITACIÓN.....  | 15        |
| 2.2.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES .....  | 30        |
| 2.2.5. HIDRÁULICA.....   | 30        |
| <b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>                              | <b>37</b> |
| <b>3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....</b>                                       | <b>37</b> |
| <b>3.2. METODOLOGÍA .....</b>  | <b>38</b> |
| 3.2.1. TIPO DE ESTUDIO.....  | 38        |
| 3.2.2. DISEÑO.....   | 38        |
| <b>3.3. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS .....</b>            | <b>40</b> |
| <b>3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN.....</b> | <b>41</b> |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.4.1. | SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....              | 41  |
| 3.4.2. | PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA .....             | 43  |
| 3.4.3. | CÁLCULO HIDROLÓGICO .....                                 | 47  |
| 3.4.4. | CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS .....                         | 60  |
| 3.4.5. | MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON SOFTWARE HEC-RAS. ....        | 62  |
| 4.     | CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....      | 90  |
| 4.1.   | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....                           | 90  |
| 4.2.   | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. .... | 93  |
|        | CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....          | 103 |
| 5.1.   | CONCLUSIONES .....  | 103 |
| 5.2    | RECOMENDACIONES .....                                     | 104 |
|        | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                          | 105 |
|        | ANEXOS .....  | 106 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Valores críticos d para prueba Kolmogorov - Smirnov.....   | 20  |
| <b>Tabla 2.</b> Coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora.....                                     | 23  |
| <b>Tabla 3.</b> Ecuaciones para el cálculo del tiempo de concentración .....   | 25  |
| <b>Tabla 4.</b> Valores del coeficiente de rugosidad.....  | 35  |
| <b>Tabla 5</b> Técnicas e instrumentos para recolección de datos .....   | 40  |
| <b>Tabla 6</b> Cálculo del Índice de Gravelius .....   | 44  |
| <b>Tabla 7</b> Cálculo de Factor Forma .....   | 44  |
| <b>Tabla 8</b> Distribución altimétrica de la cuenca de la quebrada Cachimayo.....                                     | 45  |
| <b>Tabla 9</b> Cálculo de Altitud media de la cuenca de la Quebrada Cachimayo.....                                     | 45  |
| <b>Tabla 10</b> Pendiente de la cuenca de la quebrada Cachimayo .....  | 46  |
| <b>Tabla 11</b> Cálculo de la densidad de drenaje .....  | 46  |
| <b>Tabla 12</b> Calculo de frecuencia de los ríos.....   | 47  |
| <b>Tabla 13</b> Cálculo de la extensión media del escurrimiento superficial .....                                      | 47  |
| <b>Tabla 14</b> Precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas. Estación El Pintor.....                             | 49  |
| <b>Tabla 15</b> Cálculo aplicando el Método de Datos dudosos, estación El Pintor .....                                 | 50  |
| <b>Tabla 16</b> Prueba de bondad de ajuste KOLMOGOROV- SMIRNOV .....   | 52  |
| <b>Tabla 17</b> Resumen valores delta mediante prueba de Kolmogorov Smirnov .....                                      | 54  |
| <b>Tabla 18</b> Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.....                                     | 54  |
| <b>Tabla 19</b> Precipitaciones máximas anuales en 24 horas de la estación El Pintor mediante el método de Gumbel..... | 55  |
| <b>Tabla 20</b> Tabla de precipitaciones para diferentes horas menores a 24 horas.....                                 | 56  |
| <b>Tabla 21</b> Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas.....   | 57  |
| <b>Tabla 22</b> Cálculo de las constantes para curvas IDF, mediante regresión lineal múltiple .....                    | 59  |
| <b>Tabla 23</b> Cálculo de las constantes para curvas IDF, Análisis de Varianza.....                                   | 59  |
| <b>Tabla 24.</b> Constante de regresión múltiple .....   | 59  |
| <b>Tabla 25</b> Cálculo del tiempo de concentración .....  | 60  |
| <b>Tabla 26</b> Coeficiente de escorrentía .....   | 61  |
| <b>Tabla 27</b> Caudales para diferentes avenidas máximas. ....  | 61  |
| <b>Tabla 28</b> <i>Puntos de control de vuelo del área de estudio.</i> ....  | 63  |
| <b>Tabla 29</b> Coeficiente de rugosidad de Manning .....  | 70  |
| <b>Tabla 30</b> Tirante de agua observado en cada punto de control.....  | 75  |
| <b>Tabla 31</b> Área de inundación Según TR=135años. ....  | 102 |
| <b>Tabla 32</b> Áreas afectadas por Inundación para TR=235años .....   | 102 |
| <b>Tabla 33</b> Estación pluviométrica “El Pintor” .....   | 111 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Inundaciones de la Av. Mariano Melgar, Bagua Grande - 2015 .....   | 2  |
| <b>Figura 2.</b> Inundaciones de la Parada Municipal, Bagua Grande - 2015 .....   | 3  |
| <b>Figura 3</b> Quebrada Cachimayo, en época de estiaje.....  | 4  |
| <b>Figura 4.</b> Activación de la Quebrada Cachimayo ante una precipitación moderada.....   | 5  |
| <b>Figura 5</b> Familias afectadas con el desborde de la quebrada Cachimayo. ....   | 5  |
| <b>Figura 6</b> Cuenca endorreica y cuenca exorreica.....   | 9  |
| <b>Figura 7</b> Ciclo hidrológico del agua.....   | 10 |
| <b>Figura 8</b> Jerarquía de cuencas .....  | 11 |
| <b>Figura 9</b> Delimitación de cuenta hidrográfica. ....   | 11 |
| <b>Figura 10</b> Área de la Cuenca Amazónica.....   | 12 |
| <b>Figura 11</b> Curva hipsométrica .....   | 15 |
| <b>Figura 12</b> Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima. ....   | 22 |
| <b>Figura 13</b> Solución de las ecuaciones de escorrentía. ....  | 28 |
| <b>Figura 14</b> Números de curvas de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2S$ ..... | 29 |
| <b>Figura 15</b> Lecho rígido y lecho móvil.....  | 31 |
| <b>Figura 16</b> Canal natural de río.....  | 33 |
| <b>Figura 17</b> Parámetros de la sección transversal de un canal .....   | 33 |
| <b>Figura 18</b> <i>Parámetros de la sección transversal de un canal</i> .....  | 34 |
| <b>Figura 19.</b> Ubicación del Área de Estudio .....   | 37 |
| <b>Figura 20.</b> Área de estudio de la quebrada Cachimayo .....  | 38 |
| <b>Figura 21</b> Diagrama de Flujo .....  | 39 |
| <b>Figura 22.</b> Cause de la quebrada Cachimayo, utilizado como ruta de acceso al asentamiento humano. ..  | 42 |
| <b>Figura 23</b> Cause de la quebrada Cachimayo, utilizado como ruta de acceso a la Parada Municipal. ....  | 42 |
| <b>Figura 24.</b> Delimitación de la cuenca quebrada Cachimayo. ....  | 43 |
| <b>Figura 25.</b> Gráfico de factor de forma.....   | 44 |
| <b>Figura 26.</b> Gráfica del perfil longitudinal de la quebrada Cachimayo. ....  | 46 |
| <b>Figura 27.</b> Gráfico Precipitaciones en la Estación “El Pintor”.....   | 48 |
| <b>Figura 28</b> <i>Ubicación de la estación “El Pintor”</i> . ....   | 48 |
| <b>Figura 29</b> Gráfica del modelamiento de análisis de datos dudosos, Estación el Pintor.....   | 51 |
| <b>Figura 30.</b> Curvas IDF. Elaboración propia .....  | 58 |
| <b>Figura 31</b> Coeficiente de escorrentía.....  | 60 |
| <b>Figura 32.</b> <i>Colocación de puntos de control de vuelo con estación total</i> .....  | 62 |
| <b>Figura 33.</b> <i>Toma de puntos de control con estación total</i> . ....  | 63 |
| <b>Figura 34.</b> <i>Plan de vuelo, para fotogrametría con drone</i> .....  | 65 |
| <b>Figura 35</b> <i>Procesamiento de fotografías para obtener modelo digital de elevaciones</i> . ....  | 65 |
| <b>Figura 36</b> Modelo digital de elevaciones, obtenido a partir de la fotogrametría. ....   | 66 |
| <b>Figura 37</b> <i>Ortofoto, obtenido a partir de la fotogrametría</i> . ....  | 67 |
| <b>Figura 38.</b> <i>Modelo digital de elevaciones, insertado en el software Hec-Ras</i> .....  | 69 |
| <b>Figura 39.</b> Coeficiente de rugosidad de Manning en zona de estudio cuenca de la quebrada Cachimayo  | 70 |
| <b>Figura 40</b> Ubicación de puntos de control con vestigios de inundaciones encontrados.....  | 71 |

|                   |   |     |
|-------------------|---|-----|
| <b>Figura 41</b>  | Vestigios en el punto de control 01, los cuales fueron digitalizados en el año 2015.....                  | 72  |
| <b>Figura 42</b>  | Poblador señalando que el agua llego hasta el nivel de ventana en el Punto de control 02.....             | 73  |
| <b>Figura 43.</b> | Medida de vestigios en el punto de control 03.....  | 74  |
| <b>Figura 44</b>  | Áreas inundables para un TR=100 años .....  | 75  |
| <b>Figura 45</b>  | Velocidades de flujo alcanzadas para un TR=100 años.....  | 76  |
| <b>Figura 46</b>  | Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 100 años, delimitado por profundidades alcanzadas..... | 77  |
| <b>Figura 47</b>  | Áreas inundables para un TR=250 años .....  | 78  |
| <b>Figura 48</b>  | Velocidades de flujo alcanzadas para un periodo de retorno de 250 años.....                               | 79  |
| <b>Figura 49</b>  | Mapa de inundaciones para un TR=250 años, delimitado por profundidades alcanzadas.....                    | 80  |
| <b>Figura 50</b>  | Áreas inundables para un TR=500 años .....  | 81  |
| <b>Figura 51</b>  | Velocidades de flujo para un TR=500 años .....  | 82  |
| <b>Figura 52</b>  | Mapa de inundaciones para un TR=500 años, delimitado por profundidades alcanzadas.....                    | 83  |
| <b>Figura 53</b>  | Área de inundación para un TR de 1000 años .....  | 84  |
| <b>Figura 54</b>  | Velocidades de flujo para un TR=1000 años .....   | 85  |
| <b>Figura 55</b>  | Mapa de inundaciones para un TR=1000 años, delimitado por profundidades alcanzadas.....                   | 86  |
| <b>Figura 56</b>  | Aproximación de caudal en el punto de control 01, escenario T250.....                                     | 87  |
| <b>Figura 57</b>  | Aproximación de caudal en el punto de control 02, escenario T250 .....                                    | 88  |
| <b>Figura 58</b>  | Aproximación de caudal en el punto de control 03, escenario T250.....                                     | 89  |
| <b>Figura 59</b>  | Calculo de caudal.....  | 90  |
| <b>Figura 60</b>  | Simulación realizada para un TR=135 – Q=141.63m <sup>3</sup> /s.....                                      | 91  |
| <b>Figura 61</b>  | Velocidades de flujo obtenidos para TR=135 años - Q=141.63m <sup>3</sup> /s .....                         | 92  |
| <b>Figura 62</b>  | Sectorización del área de estudio.....  | 93  |
| <b>Figura 63</b>  | Zona inundable en el sector, Las Flores - calle Lonya Grande.....   | 94  |
| <b>Figura 64</b>  | Profundidades de flujo que escurre por la calle Lonya Grande. ....  | 95  |
| <b>Figura 65</b>  | Velocidades de flujo la calle Lonya Grande. ....  | 96  |
| <b>Figura 66</b>  | Cause de la quebrada Cachimayo en época de estiaje. ....  | 97  |
| <b>Figura 67</b>  | Zonas inundables en el sector Parada Municipal. ....  | 98  |
| <b>Figura 68</b>  | Profundidades de flujo que se alcanza en el sector Parada Municipal.....                                  | 99  |
| <b>Figura 69</b>  | Velocidades de Flujo en el Sector Parada Municipal.....   | 100 |
| <b>Figura 70</b>  | Zonificación de áreas Inúndales en la quebrada Cachimayo. ....  | 101 |
| <b>Figura 71</b>  | <i>Toma de puntos de control para levantamiento fotogramétrico.....</i>                                   | 106 |
| <b>Figura 72</b>  | Levantamiento del eje del cause .....   | 107 |
| <b>Figura 73</b>  | Levantamiento del eje del cause .....   | 108 |
| <b>Figura 74</b>  | Plan de vuelo y vuelos realizados con drone .....   | 108 |
| <b>Figura 75</b>  | Modelo digital de elevaciones, obtenido a partir de la fotogrametría.....                                 | 109 |
| <b>Figura 76</b>  | Ortofoto, obtenido a partir de la fotogrametría .....   | 110 |

## RESUMEN

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), el 30 de marzo del año 2015, un inesperado aumento en el caudal de la quebrada Cachimayo-Bagua Grande, afectó seriamente a diferentes zonas aledañas a su cauce. La presente investigación tiene por objetivo determinar áreas inundables en la ciudad de Bagua Grande, ocasionado por avenidas máximas de la quebrada Cachimayo. Primero se procedió a realizar el levantamiento topográfico con dron de nuestra zona de estudio, luego se identificó una estación pluviométrica cercana a la cuenca del Cachimayo, con los datos extraídos de nuestra estación pluviométrica y mediante cálculos estadísticos se calculó intensidades máximas, teniendo la geomorfología de la cuenca se logró calcular y modelar caudales de eventos extraordinarios. Con los vestigios de inundación encontrados en campo del 30 de marzo del 2015, más los tirantes modelados para diferentes periodos de retorno se estimó un caudal real para este evento extraordinario el cual fue de  $141.63\text{m}^3/\text{s}$  para un periodo de retorno de  $\text{TR}=135$  años. Al realizar la modelación para un periodo de retorno  $\text{TR}=135$  años, se concluyó que en la calle Lonya Grande, las profundidades de inundación van desde 0.50m hasta 0.10m, con velocidades que varían desde 0.99m/s hasta 0.1 m/s. Mientras que en el Jr. Simon Bolivar se encuentran profundidades de 0.95m, para posteriormente ingresar a las instalaciones de la Parada Municipal con profundidades de hasta 0.70m. Asimismo en la calle San Felipe Santiago escurren el caudal con una profundidad de hasta 0.60m. En cuanto a las velocidades en el Jr. Simon Bolivar tenemos velocidades muy elevadas, estas van desde 4.54 m/s hasta los 13.16m/s, mientras que dentro de la Parada Municipal las velocidades van desde los 0.15 m/s hasta 1.5m/s. Asimismo en la calle San Felipe Santiago tenemos velocidades de 1.08 m/s hasta los 14.994 m/s. El área total de inundación es de  $58441.682\text{m}^2$ .

**Palabras clave:** Zonificación de áreas inundables, avenidas máximas, modelación hidráulica.

## ABSTRAC

According to the Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), on March 30th, 2015, an unexpected increase in the flow of the Cachimayo-Bagua Grande stream seriously affected different areas along its course. The present investigation has the objective of determining flood-prone areas in the city of Bagua Grande, caused by maximum flooding of the Cachimayo stream. First, I proceeded to carry out a topographic survey with a drone of our study area, then I identified a pluviometric station near the Cachimayo basin, with the data extracted from our pluviometric station and through statistical calculations I calculated maximum intensities, taking into account the geomorphology of the basin I was able to calculate and model extraordinary event flows. With the flood traces found in the field on March 30th, 2015, plus the modeled flows for different return periods, a real flow was estimated for this extraordinary event, which was  $141.63\text{m}^3/\text{s}$  for a return period of  $\text{TR}=135\text{years}$ . When modeling for a return period of  $\text{TR}=135\text{years}$ , it was concluded that in Lonya Grande Street, the flood depths range from 0.50m to 0.10m, with velocities varying from 0.99m/s to 0.1 m/s. Simon Bolivar Street, depths of 0.95m are found, to later enter the facilities of the Parada Municipal with depths of up to 0.70m. Likewise, on San Felipe Santiago Street the flow drains with a depth of up to 0.60m. In terms of velocities in Jr. Simon Bolivar I have very high velocities, these range from 4.54 m/s to 13.16m/s, while inside the Parada Municipal the velocities range from 0.15 m/s to 1.5m/s. Also, in San Felipe Santiago Street, velocities range from 1.08 m/s to 14.994 m/s. The total flood area is  $58441.682\text{m}^2$ .

**Keywords:** Zoning of flood-prone areas, maximum floods, hydraulic modeling.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

Globalmente, las catástrofes hidrológicas, que se conoce como inundaciones o avenidas del cauce de los ríos, se encuentran dentro de los eventos naturales más perjudiciales y peligrosos, y en las últimas décadas, estos eventos han afectado de manera negativa el desarrollo normal de las sociedades. Es así que el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD, afirma que “en el Perú las inundaciones son los desastres más recurrentes y los que mayores daños causan”. Para reducir los efectos de estos desastres, es posible intentar pronosticar el comportamiento de ríos y quebradas. Para ello, es sumamente importante determinar los rasgos geomorfológicos de estos y evaluar las proporciones de agua que pueden rebalsar en un evento único. Esto nos permitirá identificar las áreas que están en riesgo de verse afectadas y prevenir o cuantificar daños.

La mejora en gran parte de las modelaciones numéricas de flujo hidráulico en ríos se debe a la progresión en el desarrollo de software y equipos de computación. Los modelos unidimensionales han cambiado a modelos bidimensionales, lo que nos permite obtener resultados más aproximados de la realidad adecuados con el evento que se desea simular.

Actualmente, se utilizan diverso software para crear modelos 2D. Uno de estos es HEC-RAS desarrollado por EE. UU. Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército. La última versión le permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D, 2D y cuasi-2D.

El propósito de este trabajo de investigación es zonificar áreas inundables ocasionados por las avenidas máximas de la quebrada Cachimayo. Para lograr esto, utilizaremos la cuenca de la quebrada “Cachimayo” como referencia de estudio, donde se muestra información básica necesaria para estudios de modelización utilizando datos hidrológicos, hidráulicos y topográficos.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1.1. SELECCIÓN DEL PROBLEMA.

Según el Instituto Nacional de Defensa Civil (Indeci), el 30 de marzo del año 2015, un inesperado aumento en el caudal de la quebrada Cachimayo-Bagua Grande, afectó seriamente a diferentes zonas aledañas a su cauce, dicho suceso dejó un saldo de 6 viviendas destruidas, 48 viviendas afectadas, 214 personas afectadas y la parada municipal del lugar totalmente inundada, por otro lado, EsSalud reportó casos de dengue y enfermedades como diarrea, fiebres, etc. Las inundaciones representan un freno para el desarrollo social de las localidades ya que afectan a los diferentes sectores de la sociedad.

#### Figura 1.

*Inundaciones de la Av. Mariano Melgar, Bagua Grande - 2015*



*Nota.* Tomado de “Defensa civil – Municipalidad Provincial de Utcubamba”

## **Figura 2.**

*Inundaciones de la Parada Municipal, Bagua Grande - 2015*



*Nota.* Tomado de “Defensa civil – Municipalidad Provincial de Utcubamba”

El secretario general de las Naciones Unidas, Ban Ki-moon, expresa, “Los desastres 'naturales' no existen. Sólo existen las amenazas naturales”. Partiendo de este enunciado, sabemos que la mejor manera de combatir los desastres naturales es reducir el riesgo de desastres, y para lograrlo tratamos de reducir los factores que contribuyen a ellos. Estas acciones podrían ser estructurales o no, y sus medidas podrían ser restringidas por aspectos políticos, sociales, técnicos o económicos.

### **1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA.**

¿Cuáles son las áreas inundables en la ciudad de Bagua Grande, ante avenidas extraordinarias para la quebrada Cachimayo?

### 1.1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

Se sabe que la quebrada "Cachimayo" es una quebrada urbanizada que transcurre por el centro de Bagua Grande. Durante los días de estiaje, la presencia de agua en la quebrada es totalmente nula, pero no hace falta una menor precipitación para que esta quebrada se active automáticamente, debido mayormente a la impermeabilización de los suelos por la actividad humana; en años pasados, la activación de esta quebrada provocó inundaciones y daños a la población. A pesar de que existen obras de protección relacionadas con un riesgo aceptable durante un periodo de retorno, es importante tener en cuenta que su diseño se fundamenta en la información histórica existente, las cuales se desarrollaron previo a las alteraciones ambientales e infraestructura actual.

#### **Figura 3**

*Quebrada Cachimayo, en época de estiaje*



*Nota.* Fotografía tomada en la Av. Mariano Melgar, Frente a la Parada Municipal, Bagua Grande – 15 de marzo 2023.

**Figura 4.**

*Activación de la Quebrada Cachimayo ante una precipitación moderada*



*Nota.* Tomado de Radio la Voz Bagua Grande (30 de marzo del 2015).

**Figura 5**

*Familias afectadas con el desborde de la quebrada Cachimayo.*



*Nota.* Tomado de Radio la Voz Bagua Grande (30 de marzo del 2015)

Se llevará a cabo la simulación hidráulica mediante programas de computación, que permite analizar un sin número de contextos de forma rápida y de esta manera identificar cuáles son las zonas que se encuentran en mayor peligro ante una inminente inundación, una vez identificadas las zonas más propensas ante tales eventos se podrá analizar el camino para la reducción y/o mitigación de tales eventos.

#### **1.1.4. LIMITACIONES Y RESTRICCIONES DE LA INVESTIGACIÓN.**

El modelamiento hidráulico se realizará desde el Sector Las Flores hasta la Parada Municipal de la ciudad de dicha ciudad, debido a costes del levantamiento topográfico.

Debido a costos, no se realizará topografía con equipos de alta precisión.

Dentro del modelamiento hidráulico no se consideró el arrastre de sedimentos, solo se tuvo en cuenta caudales y topografía de la zona de estudio.

### **1.2. OBJETIVOS.**

#### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la zonificación de áreas inundables en la ciudad de Bagua Grande, ocasionadas por las avenidas máximas de la quebrada Cachimayo.

#### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Identifique un conjunto de métricas que distingan la distancia, elevación y orientación del área de estudio para distinguir áreas propensas a inundaciones.

Determinar el caudal de avenida máxima, a partir de vestigios encontrados en campo, para delimitar zonas inundables

Determinar profundidades y velocidades de flujo, en las zonas de inundación.

Cuantificar áreas inundables en la zona de estudio.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.**

#### **2.1.1.INTERNACIONALES.**

Daniel y Juanita (2021) en su investigación, “Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en la quebrada La Parroquia del municipio de Fusagasugá a partir de la modelación bidimensional en el software ÍBER” en la ciudad de Bogotá – Colombia, se modelaron 4 escenarios (TR = 2, 10, 25 y 50 años), estos modelamientos se estudiaron en base a 4 variables (velocidad, profundidad, intensidad y sedimentos). Obteniendo como resultados que, dentro del mapa de amenazas, las áreas inundables corresponden a una amenaza baja en un 27.27%, el 66.85 % a amenaza media y el 5.87 % a amenaza alta.

Asimismo, Carpio (2018) en su investigación "Generación del Modelo de Áreas de Inundación del Río Catarama mediante el uso de los softwares HEC-RAS Y ARCGIS" realizó un estudio hidrológico utilizando el software HEC -HMS con periodos de retono de cinco, diez, veinticinco, cincuenta y cien años para el río Zapotal cuya área es de 3,729 km<sup>2</sup>.

#### **2.1.2.NACIONALES**

Chagua (2018) en su investigación “Estudio de inundación del área que corresponde al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima”, el objetivo es realizar estudios hidrológicos e hidráulicos utilizando modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS y el sistema de información geográfica ARCGIS para producir mapas de inundaciones, ingresando datos topográficos y de lluvia y luego procesando los datos de lluvia iniciales después de la preparación de curvas IDF., continuar se realizó un modelamiento hidrológico, seguido de un modelamiento hidráulico y finalmente se compilieron mapas de inundaciones y se concluyó que los estudios hidrológicos e hidráulicos son importantes para producir mapas de inundaciones. . Por otro lado, en el estudio hidrológico se obtuvieron los caudales diseñados con periodos de retorno de 100 y 500 años, mientras que en el estudio hidráulico se obtuvo el modelo del río Mara, que

identificó la zona de peligro de inundación de 177 140m. El máximo es 254,170 m. Una zona donde se cultivan principalmente cultivos (p. 325).

Olivares (2018) en su investigación “Determinación De Regiones Inundables Por medio de Simulación Hidráulica Bidimensional Implementando Hec – Ras 5.0 En Un Tramo Del Rio Huanca bamba, A partir de La Quebrada Chula (Km 2.42) hasta La Quebrada Lungulo (Km 5.51), Provincia De Huancabamba, perteneciente al departamento De Piura” Se desarrollaron simulaciones bidimensionales para identificar áreas propensas a inundaciones, analizar y estudiar el flujo, la velocidad y los tiempos de retorno a 25, 50 y 100 años.

En la tesis “Aplicación de la nueva Herramienta Hec-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos” se vuelve aún más importante desarrollar modelos matemáticos que reflejen eventos naturales para predecir áreas vulnerables y tomar medidas preventivas. En la tesis se intensifica la importancia del uso del software HEC-RAS 5.0 para el modelamiento hidráulico, pero también se hace hincapié a sus desventajas. Dentro de sus componentes destaca la extensión RAS Mapper, el cual puede desarrollar una modelización en 2D, mostrando resultados más interactivos.

## **2.2. BASES TEÓRICAS.**

### **2.2.1. HIDROLOGÍA**

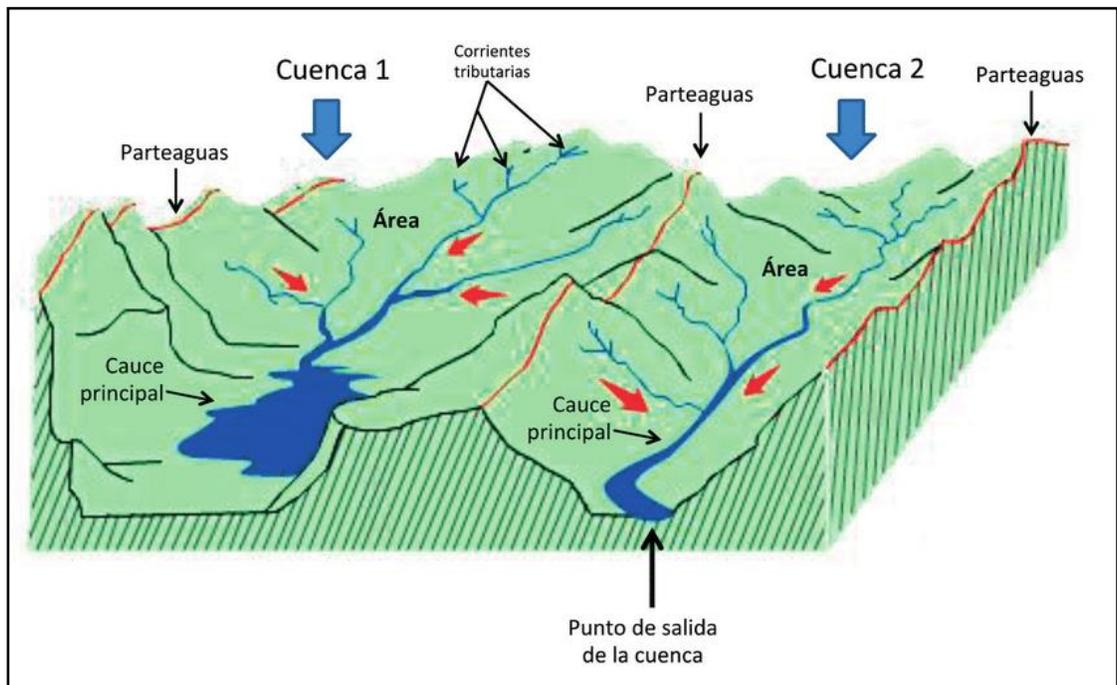
Departamento de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente - IDEAM (2019) define la hidrología como la disciplina encargada del estudio de las aguas terrestres de la Tierra, su origen, movimiento y distribución. Además, es responsable del estudio de las propiedades físicas y químicas, las interacciones en el medio físico y biológico y su impacto en las actividades humanas. La hidrología superficial, por otra parte, se encarga del estudio de los fenómenos y procesos hidrológicos que se desarrollan en la superficie terrestre, especialmente los flujos terrestres.

### **2.2.2. CUENCA HIDROGRÁFICAS.**

Son todos espacios territoriales definidos por las partes más altas de las cadenas montañosas, donde se concentran todos los arroyos y/o ríos que se unen y desembocan en lagos (cuencas endorreicas) o mares (cuencas endorreicas).

## Figura 6

*Cuenca endorreica y cuenca exorreica*

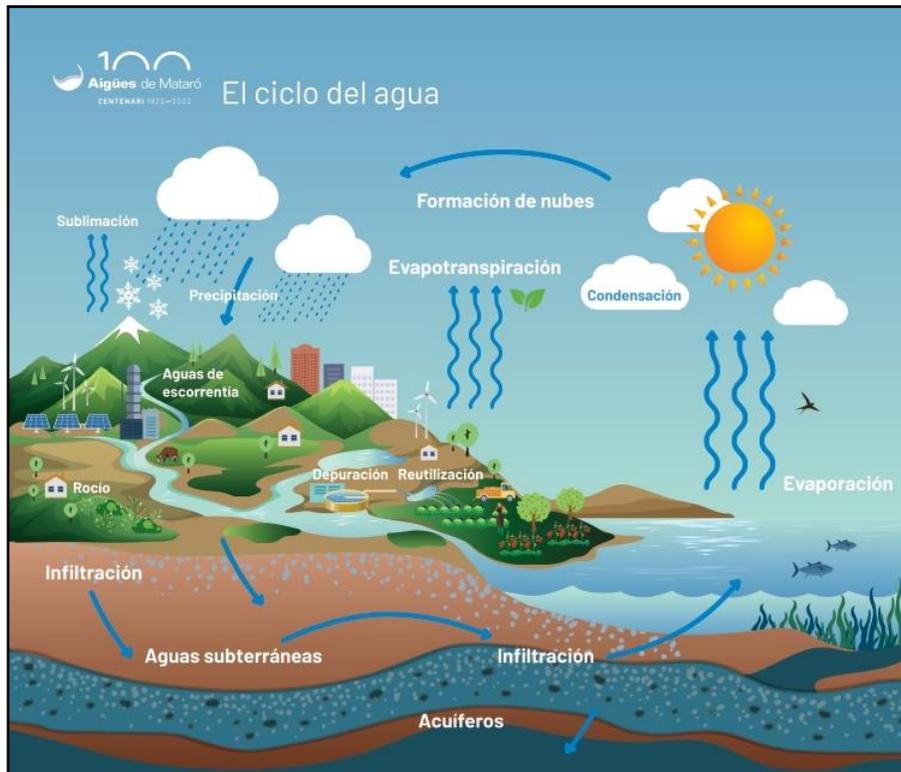


*Nota, Tomado de Gleason, 2014*

Las cuencas hidrográficas nos ayudan a comprender el ciclo hidrológico, cuantificando y reconociendo los impactos acumulados producidos por el hombre o agentes externos como sedimentos, contaminantes y nutrientes,

## Figura 7

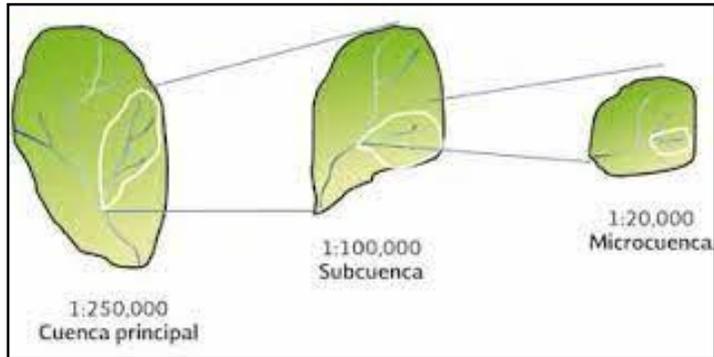
### Ciclo hidrológico del agua



Nota, tomado de Aigües de Mataró (2022)

Las cuencas hidrográficas están ordenadas de forma jerarquizada porque se pueden dividir en grupos más pequeños llamados subcuencas, conformada por montañas y contienen los escurrimientos que siempre terminan en un cauce principal. Las microcuencas se ubican dentro de cada subcuenca y siempre están delimitadas por zonas altas que dividen las corrientes hidrodinámicas en direcciones opuestas. El orden jerárquico de las cuencas es que le brinda su nombre, llamándoles cuenca mayor (la que desemboca en un lago o en el mar), sub cuenca (la que desemboca en el cauce principal) y micro cuenca. Esta delimitación múltiple expresa el carácter jerárquico y anidado de las cuencas.

**Figura 8**  
*Jerarquía de cuencas*

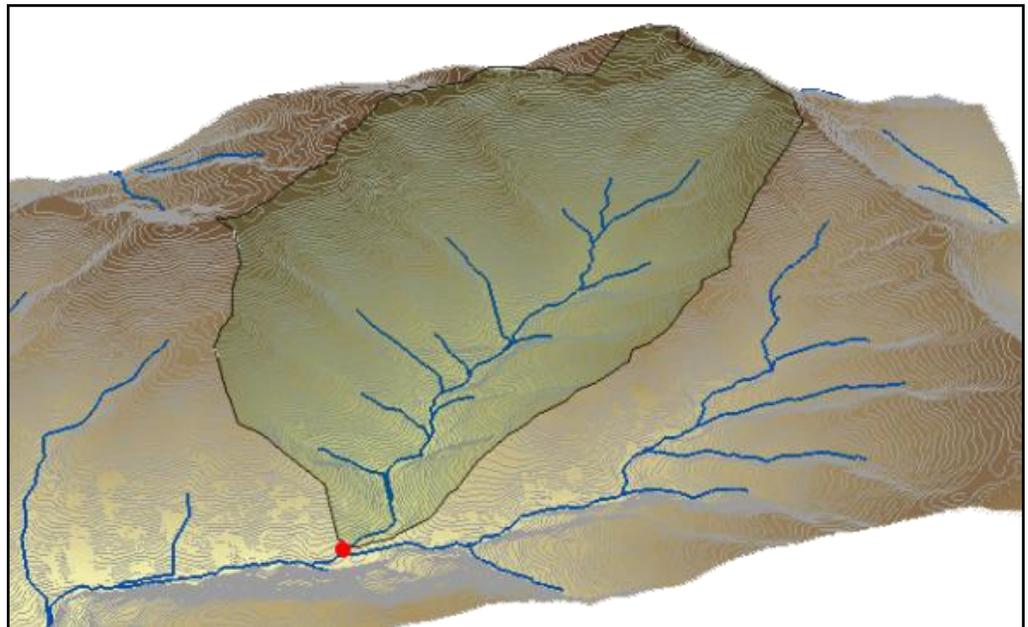


*Nota, Tomado de Semarnat 2018*

### 2.2.2.1. DELIMITACIÓN DE UNA CUENCA.

Esto se expresa identificando la línea divisoria de aguas, que es una curva acotada por la elevación y cuyo punto de terminación se encuentra en la zona más baja de la cuenca. La longitud de la línea divisoria es la circunferencia de la piscina y la superficie que rodea esta curva es el área.

**Figura 9**  
*Delimitación de cuenta hidrográfica.*



*Nota, Acolita.com (2018).*

## 2.2.2.2. PARÁMETROS RELATIVOS A LA FORMA DE LA CUENCA.

### Área de cuenca (A).

Es todo el terreno proyectado en un plano horizontal, lo que ayuda al flujo superficial hacia un determinado segmento de orden del cauce, acogiendo a todos los afluentes menores (Londoño Arango, 2001). Es el área definida por la curvatura del perímetro.

El área de la cuenca tiene un papel esencial en la determinación de la magnitud del caudal, dado que, bajo circunstancias normales, los caudales aumentan en proporción a la creciente área (Londoño, 2001). Aspectos como la superficie de cuenca y la longitud de la misma están relacionados de manera proporcional, mientras que su relación con la densidad de drenaje se desarrolla de manera inversamente proporcional.

### Figura 10

#### *Área de la Cuenca Amazónica*



Nota, Tomado de Aguas amazónicas (2015)

### **Perímetro de cuenca (P)**

Esta es la distancia en todas las crestas que rodean la cuenca. Las líneas imaginarias que separan las cuencas hidrológicas son cuencas hidrográficas. Se encarga de separar una cuenca de otra. El agua que fluye a ambos lados de la cuenca a menudo desemboca en ríos diferentes. También se les llama “cuencas” (Ordoñez (2011)).

### **Longitud de cuenca (L)**

Es la longitud de una línea recta orientada "paralela" al canal. Dado que los canales principales generalmente no se extienden hasta el límite de la cuenca, se debe suponer que una ruta desde la fuente del canal hasta el límite de la cuenca sigue la ruta de migración más probable del agua sedimentada.

### **Ancho de cuenca (W)**

El ancho de cuenca se define como el cociente entre el Área (A) y la Longitud de la cuenca (L), obtenida en kilómetros.

$$w = \frac{A}{L}$$

Donde:

W: Ancho de cuenca (km).

A: Superficie o Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

L: Longitud de la cuenca (km).

### **Razón de Circularidad de Miller (M)**

La fisiografía de una región y, en especial, la conformación que tienen las cuencas hidrográficas, están principalmente afectadas por características geológicas. Las formas que adapta una cuenca son muy variadas y específicas, pero mayormente suelen adquirir una forma ovoide con la desembocadura en el extremo angosto.

El Coeficiente de Circularidad de Miller se encuentra entre valores de 0 y 1. Los valores que más se aproximen a 1 adquieren formas ensanchadas, en tanto, los

valores que más se aproximan a 0 adquieren formas alargadas. Los valores se reducen a consecuencia que se obtienen cuencas más alargadas o rectangulares y en contraste, se aproximan a uno para obtener cuencas más redondeadas (Ordoñez, 2011).

En general, las cuencas más ensanchadas son más susceptibles a producir crecidas porque el tiempo de recorrido del agua es mucho más corto a través de la cuenca, en comparación con cuencas alargadas, donde el tiempo de recorrido del agua es mucho más largo. Esto contribuye para que los picos de crecidas sean menos repentinos en caso de lluvias concentradas.

$$M = \frac{P}{A}$$

Donde:

M: Razón Circular de Miller.

P: Perímetro de la cuenca (km).

A: Superficie o Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

### **2.2.3.1. PARÁMETROS RELATIVOS AL PERFIL DE LA CUENCA.**

#### **Longitud del cauce principal (Y)**

La longitud del río más grande de la cuenca determina la longitud del cauce del río, que es la distancia correspondiente desde la fuente aguas arriba hasta la desembocadura del río. Un cauce fluvial con mayor caudal o mayor longitud suele definirse como un río grande. Es irracional el concepto de río principal o incluso su origen, que es la diferencia entre un río principal y un afluente (Ordoñez, 2011).

#### **Desnivel del cauce principal (V)**

El desnivel de altura del cauce se obtiene a partir de la diferencia entre la cota máxima y la cota mínima del río principal.

$$V = HM - Hm$$

Donde:

V: Desnivel del cauce (m)

HM: Altura máxima (msnm)

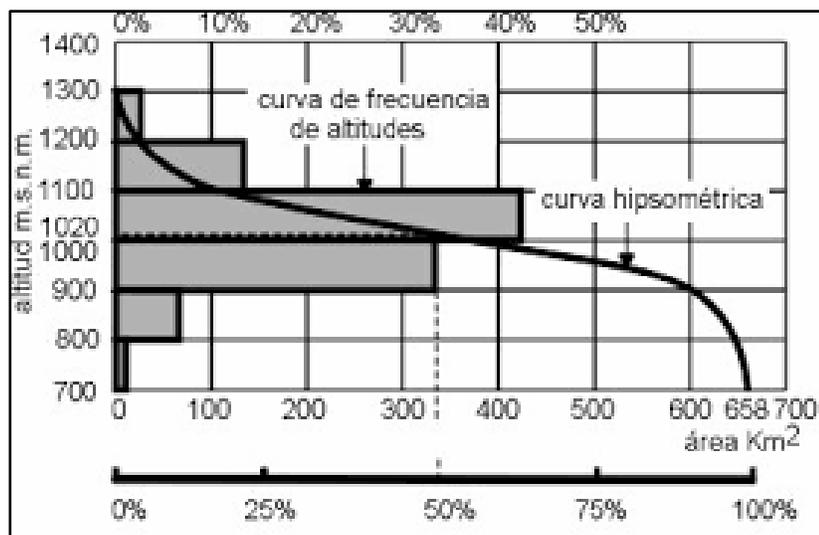
Hm: Altura mínima (msnm)

### 2.2.3.2. TOPOGRAFÍA.

Se utilizan dos características gráficas para describir la topografía: la primera es la curva hipsométrica, que muestra la relación entre la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm) y la superficie sobre esa altura, y la segunda es el polígono de frecuencias de altitud, que muestra la distribución porcentual de la superficie ocupada por distintos escalones de elevación. (Chereque, 1989, pág. 28).

**Figura 11**

*Curva hipsométrica*



Nota, tomado de "Hidrología para estudiantes de ingeniería civil", (Chereque, 1989)

### 2.2.3. PRECIPITACIÓN.

#### 2.2.3.1. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.

Los datos disponibles en el Perú son limitados en términos de mediciones hidrográficas y de precipitación, y la mayoría de las cuencas hidrográficas no están

bien instrumentadas. Por lo tanto, se utilizan métodos indirectos para evaluar el proceso de diseño (Ministerio de Transporte MTC, 2008, p. 12). 14)

### **2.2.3.2. ÁREA DEL PROYECTO, ESTUDIO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.**

La investigación de las cuencas en Perú busca dilucidar sus propiedades hídricas y geomorfológicas en relación a su contribución y comportamiento hidrológico. Una comprensión más profunda de la dinámica de la historia ayudará a tomar decisiones informadas sobre los distintos proyectos (MTC, 2008, pág. 15).

### **2.2.3.3. PERIODO DE RETORNO**

El Departamento de Transporte MTC (2008) en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, que permite un período de retorno promedio en el cual el valor máximo de descarga para una determinada inundación es igual o mayor a una vez por cada "T" año. El riesgo de daño tolerable depende de factores económicos, sociales, técnicos y otros. El diseño técnico debe tener en cuenta la relación entre la probabilidad de exceder el estándar, la vida útil de la estructura y el período de retorno.

### **2.2.3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS HIDROLÓGICOS.**

#### **Modelos de distribución**

“La función del análisis de frecuencias es calcular las precipitaciones, intensidades o caudales máximos para distintos periodos de retorno, a través de la aplicación de modelos probabilísticos que pueden ser discretos o continuos, dependiendo del caso” (MTC, 2008, pág. 18)

Numerosas funciones de distribución de probabilidad teórica existen en la estadística; sin embargo, se recomienda utilizar las siguientes funciones de hidrología, hidráulica y drenajes del manual del Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC (2008).

### **Distribución Normal**

La función de densidad de probabilidad normal se muestra en la ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2}$$

Donde:

f(x) = función densidad normal de la variable x

X = variable independiente

$\mu$  = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x

S = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

### **Distribución Log Normal**

La función de distribución de probabilidad se muestra en la ecuación:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{\left(\frac{-(x-X)^2}{2s^2}\right)} dx$$

Donde:

X y S son los parámetros de la distribución

### **Distribución Log Pearson tipo III**

La función de distribución de probabilidad se muestra en la ecuación

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{y-1} \cdot e^{-(\ln x - x_0)}}{x\beta^y y!}$$

Valido para:

$$X_0 \leq x < \infty, -\infty < x < \infty, 0 < \beta < \infty, 0 < y < \infty$$

Donde:  $X_0$  = parámetro de posición.

Y = parámetro de forma

$\beta$ : parámetro de escala

### **Distribución de probabilidad de Gumbel**

La distribución de valores Tipo 1 conocida como distribución de Gumbel o doble exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la ecuación

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las ecuaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = u - 0.45\sigma$$

Donde:

$\alpha$ : parámetro de concentración

$\beta$ : parámetro de localización

### **Distribución de probabilidad Log Gumbel**

La variable aleatoria reducida log Gumbel, se define en la ecuación

$$y = \frac{\ln x - u}{\alpha}$$

La ecuación 2.10 muestra la función acumulada reducida log Gumbel.

$$G(y) = e^{-e^{-y}}$$

#### **2.2.3.5. PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE.**

Son pruebas de hipótesis que determinan si un conjunto de datos representa muestras independientes de una distribución elegida. Las pruebas de aptitud física más conocidas en teoría estadística son  $\chi^2$  y Kolmogorov-Smirnov. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 30)

## Prueba $X^2$

Se utilizarán los siguientes pasos para verificar la prueba de bondad de las distribuciones y longitudes normales.

En el primer paso, los datos se dividen en un número  $k$  de intervalos para que posteriormente se pueda calcular el parámetro estadístico.

$$D = \sum_{i=1}^k (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i$$

Donde:

$\theta_i$  es el número observado de eventos en el intervalo  $i$  y  $\varepsilon_i$  es el número esperado de eventos en el mismo intervalo.

$\varepsilon_i$  se calcula como:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)]$$

Además,  $F(S_i)$  denota la función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo  $i$ ,  $F(I_i)$  denota la misma función en el límite inferior y  $n$  es el número de eventos. Después de calcular los parámetros  $D$  para cada función de distribución considerada, el valor de la variable aleatoria con distribución  $X^2$  se determina mediante  $v = k-1-m$  grados de libertad y nivel de significancia  $\alpha$ , donde  $m$  es el número de parámetros evaluados datos:

Para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir:

$$D \leq X_{1-\alpha, k-1-m}^2$$

El valor de  $X_{1-\alpha, k-1-m}^2$  se obtiene de tablas de la función de distribución  $X^2$

Cabe recalcar que la prueba del  $X^2$ , desde un punto de vista matemático solo debería usarse para comprobar la normalidad de las funciones normal y Log normal.

### Kolmogorov - Smirnov.

La prueba consiste en comparar el valor máximo absoluto de la diferencia (D) entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_o(xm)$  y la función de distribución de probabilidad estimada  $F(xm)$  (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 32)

En la siguiente ecuación se muestra el cálculo del valor D:

$$D = \text{máx}|F_o(xm) - F(xm)|$$

Con un valor  $d$  específico que varía según el número de datos y el grado de importancia elegido (Ver Tabla 1). Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula. La ventaja de esta prueba en comparación con el modelo estadístico no requiere agrupar los datos, eso que lo hace superior a la prueba de  $X^2$ . La función calculada de la distribución de probabilidad observada es la siguiente:

$$F_o(xm) = 1 - m/(n + 1)$$

Donde  $m$  es el número de orden de dato  $xm$  en una lista de mayor a menor y  $n$  es el número total de datos.

**Tabla 1.**

Valores críticos  $d$  para prueba Kolmogorov - Smirnov

| TAMAÑO DE LA MUESTRA | $\alpha = 0.10$ | $\alpha = 0.05$ | $\alpha = 0.01$ |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5                    | 0.51            | 0.56            | 0.67            |
| 10                   | 0.37            | 0.41            | 0.49            |
| 15                   | 0.30            | 0.34            | 0.40            |
| 20                   | 0.26            | 0.29            | 0.35            |
| 25                   | 0.24            | 0.26            | 0.32            |

*Nota.* Adaptado de Aparicio (1999), en Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022).

### **2.2.3.3. CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA.**

La curva de intensidad-duración-frecuencia es un elemento de diseño que relaciona la intensidad de la lluvia, la duración y la frecuencia potencial (es decir,

la probabilidad de ocurrencia o períodos de retorno) de la lluvia. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 34).

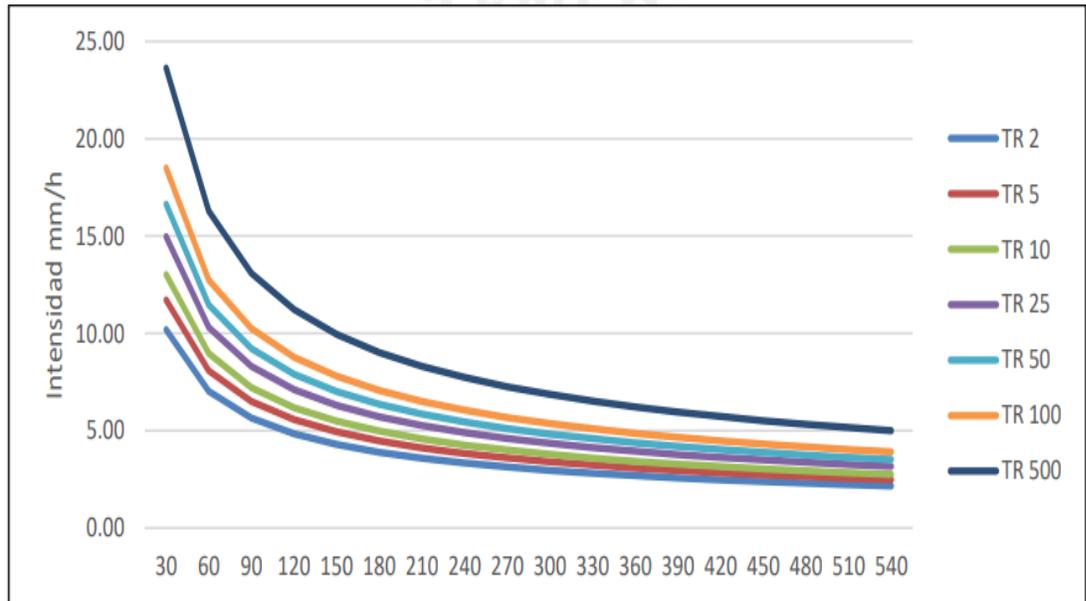
Estos métodos se han utilizado ampliamente porque son fáciles de implementar. Por esta razón, si se demuestra que los resultados son menos favorables de lo que realmente sucedería, estos métodos se vuelven muy apropiados y son recomendados por la mayoría de las normativas de diseño, que aprovechan sus resultados conservadores. Aun así, existen algunos inconvenientes importantes. Los más notables son que el volumen total de precipitación se determina utilizando una duración arbitraria (típicamente establecida por la normativa pertinente), las curvas IDF se utilizan para obtener el volumen de precipitación, y quizás el inconveniente más significativo es que el período de retorno real del pico y volúmenes caudales se desconoce (Balbastre, 2018, pág. 27). Se requieren registros de precipitación para determinar estas curvas IDF debajo del sitio de interés. Además, se seleccionan los años de mayor precipitación de diferentes duraciones, debiendo realizarse un estudio de frecuencia para cada serie obtenida. En otras palabras, necesitamos examinar el histograma de cada tormenta que ocurrió durante el año y seleccionar la precipitación más apropiada de estos histogramas: hora más húmeda, dos horas más húmedas, tres horas más húmedas, etc., la serie de años se construye en función de los valores seleccionados. Estas series anuales consisten en registrar la observación más alta correspondiente a cada duración obtenida en cada año. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 34)

Cada serie fue sometida a un análisis de frecuencia asociado a un modelo probabilístico. De esta forma se obtiene una distribución de probabilidad de intensidad de lluvia correspondiente a cada duración, representada por una gráfica de intensidad e intensidad de lluvia. Duración, con el periodo de retorno como argumento, como se muestra en el ejemplo (ver Figura 12). Cabe señalar que la creación de la serie anual es un proceso largo y laborioso, que incluye un examen cuidadoso de los rollos de pluviómetros, la lectura de los valores, el ingreso de información, la comparación de las lecturas y la verificación con los datos reales.

Se analizan los registros de lluvia cercanos y las tormentas registradas para encontrar la cantidad máxima registrada para cada duración seleccionada.. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 35)

**Figura 12**

*Ejemplo Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para lluvia máxima.*



Nota, Tomado de MTC (2022, pág. 35)

Las curvas de intensidad – duración – frecuencia también pueden expresarse como ecuaciones con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Un modelo general es el siguiente:

$$I = \frac{a}{(D+b)^m}$$

Donde:

I: es la intensidad de lluvia de diseño

D: es la duración

a, b y m son coeficientes que varían con el lugar y el periodo de retorno

En el área de drenaje en consideración, la duración de la lluvia de diseño es igual al tiempo de concentración (tc), dado que la escorrentía alcanza su pico

durante el tiempo de concentración, cuando toda el área contribuye al flujo en la salida. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 36)

La elaboración de estas curvas resulta difícil en nuestro país debido a la falta de información sobre precipitaciones. Dado que normalmente sólo hay una precipitación máxima de 24 horas, el valor de precipitación máxima (lluvia) generalmente se calcula multiplicando la precipitación máxima de 24 horas por un factor de duración; La Tabla 2 muestra el factor de duración que oscila entre 1 y 48 horas. Estos valores se pueden utilizar con precaución al calcular la resistencia si no se dispone de mejor información. Hay mejor información.

**Tabla 2.**

Coefficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora

| DURACIÓN DE LA<br>PRECIPITACIÓN EN HORAS | COEFICIENTE |
|--|-------------|
| 1  | 0.25        |
| 2  | 0.31        |
| 3  | 0.38        |
| 4  | 0.44        |
| 5  | 0.50        |
| 6  | 0.56        |
| 8  | 0.64        |
| 10                                       | 0.73        |
| 12                                       | 0.79        |
| 14                                       | 0.83        |
| 16                                       | 0.87        |
| 18                                       | 0.90        |
| 20                                       | 0.93        |
| 22                                       | 0.97        |
| 24                                       | 1.00        |
| 48                                       | 1.32        |

Nota. Adaptado de Manual de Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito, en Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje ( Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022)

Si la tormenta dura menos de 1 hora, o si no existe un registro de precipitaciones del que se pueda obtener la intensidad máxima, se pueden realizar cálculos mediante el método de Dick Peschke, que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. período. La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24 h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

$P_d$  = precipitación total (mm)

$d$  = duración en minutos

$P_{24h}$  = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se obtiene mediante la división de la precipitación  $P_d$  entre la duración. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 37)

$$I = \frac{K T^m}{t^n}$$

Donde:

$I$  = Intensidad máxima (mm/h)

$K, m, n$  = factores característicos de la zona de estudio

$T$  = período de retorno en años

$t$  = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min)

### 2.2.3.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Bentancor, Silveira y García (2014), señalan que, en hidrología, el término "tiempo de concentración" ( $t_c$ ) se refiere a la cantidad de tiempo que tarda una gota de precipitación en caer en el punto hidráulicamente más distante de una cuenca y fluir desde la superficie hasta la embocadura, o la cantidad total de tiempo que la cuenca necesita para contribuir al flujo durante la salida de la piscina. Como resultado,  $t_c$  es la cantidad de tiempo o duración de equilibrio necesaria para alcanzar el caudal máximo bajo lluvia continua (pág. 02).

El tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$t_c = t_o + t_f$$

Donde:

$t_o$ : tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla.

$t_f$ : tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés  $= \sum L_i / V_i$ .

Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizan las ecuaciones (Ver Tabla 3)

**Tabla 3.**

Ecuaciones para el cálculo del tiempo de concentración

| MÉTODO Y<br>FECHA | FÓRMULA PARA $t_c$<br>(MINUTOS)  | OBSERVACIONES   |
|-------------------|--|---|
| Kirpich (1940)    | $t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$<br>L = longitud del canal desde<br>aguas arriba hasta la salida, m.<br>S = pendiente promedio de la<br>cuenca, m/m | Desarrollada a partir de información<br>del SCS en siete cuencas rurales de<br>Tennessee con canales bien<br>definidos y pendientes empinadas (3<br>a 10%); para flujo superficial en<br>superficies de concreto o asfalto se<br>debe multiplicar $t_c$ por 0.4; para<br>canales de concreto se debe<br>multiplicar por 0.2; no se debe hacer |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  |   | ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.  |
| California<br>Culverts<br>Practice<br>(1942) | $t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua más largo, m.</p> <p>H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p>  | Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.   |
| Izzard (1946)                                | $t_c = \frac{525 \cdot (0.0000276 \cdot i + c) \cdot L^{0.33}}{S^{-0.333} \cdot i^{0.667}}$ <p>i = intensidad de lluvia, mm/h</p> <p>c = coeficiente de retardo</p> <p>L = longitud de la trayectoria de flujo, m.</p> <p>S = pendien</p> | Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y Áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser $\leq 3800$ . |

*Nota.* Adaptado de SCS Soil Conservation Service, en Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenajes. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 40).

### 2.2.3.5. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.

Las pérdidas también se pueden utilizar mediante los coeficientes de escorrentía. El coeficiente de escorrentía se define como la proporción entre la intensidad promedio de la precipitación durante una tormenta y su tasa pico de escorrentía directa. Debido al alto grado de variabilidad en la intensidad de las precipitaciones, es difícil determinar este valor utilizando los datos observados. La relación de escorrentía se define como la relación entre captura y escorrentía durante un período determinado. Estos coeficientes se utilizan normalmente para

calcular las precipitaciones y la escorrentía durante las tormentas, pero también se pueden utilizar para calcular las precipitaciones y la escorrentía anuales o mensuales. Si  $\sum_{m=1}^M Rm$  representa precipitación total y profundidad de escorrentía correspondiente, entonces el coeficiente de escorrentía se puede definir como la siguiente ecuación (Chagua, 2018, pág. 22)

$$C = \frac{rd}{\sum_{m=1}^M Rm}$$

### 2.2.3.6.MÉTODO SCS PARA PÉRDIDAS

La hipótesis del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia}$$

Del principio de continuidad en la ecuación:

$$P = Pe + Ia + Fa$$

Combinando ambas ecuaciones y resolviendo para Pe se encuentra la ecuación:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

Esta es la ecuación básica para calcular la profundidad del exceso de lluvia o escorrentía directa de la tormenta utilizando el método SCS. Al examinar los resultados obtenidos para varias cuencas de prueba pequeñas, se determinó una correlación empírica de  $Ia = 0,2S$ . Sustituyendo la ecuación anterior obtenemos:

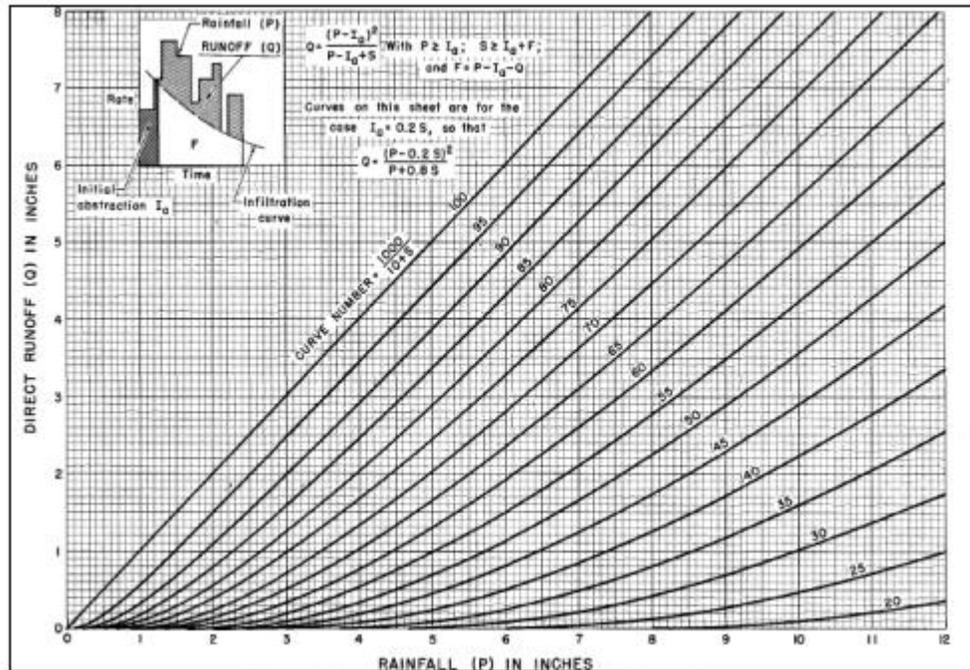
$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Al representar gráficamente la información de P y Pe para muchas cuencas, SCS encontró la curva que se muestra en la Figura 13. Para normalizar

estas curvas, el número de curva adimensional CN se define como  $0 \leq CN \leq 100$ . Para superficies impermeables y superficies de agua  $CN=100$ ; par superficies naturales  $CN<100$ .

### Figura 13

*Solución de las ecuaciones de escorrentía.*



Nota, Tomado de “Curve number hydrology : state of the practice”. (Chagua, 2018, pág. 24)

Un avance significativo fue la idea del número de curva CN como una medida hidrológica de la respuesta de la cuenca al suelo, la cobertura del suelo y el uso del suelo. Se requieren interpretaciones de los cambios de escorrentía monitoreados en los datos. El Servicio de Conservación de Suelos calculó los números de las curvas en función de las condiciones del suelo y el uso de la tierra. Se dividen en cuatro categorías de suelo: (Chagua, 2018, pág. 25)

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se muestran en la figura 14.

### Figura 14

*Números de curvas de escurrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II,  $I_a = 0.2S$ )*

| DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA   | GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO |          |          |          |
|--|-----------------------------|----------|----------|----------|
|  | A                           | B        | C        | D        |
| Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación   | 72                          | 81       | 88       | 91       |
| con tratamiento de conservación  | 62                          | 71       | 78       | 81       |
| Pastizales: condiciones pobres   | 68                          | 79       | 86       | 89       |
| condiciones óptimas  | 39                          | 61       | 74       | 80       |
| Vegas de ríos: condiciones óptimas   | 30                          | 58       | 71       | 78       |
| Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena <sup>2</sup>                                      | 45<br>25                    | 66<br>55 | 77<br>70 | 83<br>77 |
| Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más | 39                          | 61       | 74       | 80       |
| condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%   | 49                          | 69       | 79       | 84       |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)   | 89                          | 92       | 94       | 95       |
| Distritos Industriales (72% impermeables)  | 81                          | 88       | 91       | 93       |
| Residencial <sup>3</sup> :   |                             |          |          |          |
| Tamaño promedio del lote   |                             |          |          |          |
| Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>   |                             |          |          |          |
| 1/8 acre o menos   | 65                          | 77       | 85       | 90       |
| 1/4 acre   | 38                          | 61       | 75       | 83       |
| 1/3 acre   | 30                          | 57       | 72       | 81       |
| 1/2 acre   | 25                          | 54       | 70       | 80       |
| 1 acre   | 20                          | 51       | 68       | 79       |
| Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>  | 98                          | 98       | 98       | 98       |
| Calles y carreteras:   |                             |          |          |          |
| Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>  | 98                          | 98       | 98       | 98       |
| Grava  | 76                          | 85       | 89       | 91       |
| Tierra   | 72                          | 82       | 87       | 89       |

*Nota, Tomado del Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022).*

## **2.2.4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

Si existe un número suficiente de valores de capacidad, se realiza un estudio estadístico del tráfico instantáneo máximo del año en el lugar más cercano al lugar de interés. Calcule la tasa de flujo durante el período de retorno de intereses (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años son valores predeterminados) utilizando la distribución Log Normal, Log Pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2022, pág. 48)

## **2.2.5. HIDRÁULICA**

### **2.2.5.1. MOVILIDAD FLUVIAL**

En términos hidráulicos, un río viene a ser un canal. Sin embargo, el comportamiento de un río es muy diferente al que corresponde a la simplificación o esquematización que normalmente hacemos al estudiar el flujo de canales. Debido al constante cambio del caudal en un río, prácticamente no hay movimiento continuo. Un canal construido y operado por humanos, con un caudal constante, puede experimentar un movimiento permanente, es decir, invariable con respecto al tiempo. Esto se logra manejando adecuadamente la fuente de alimentación.

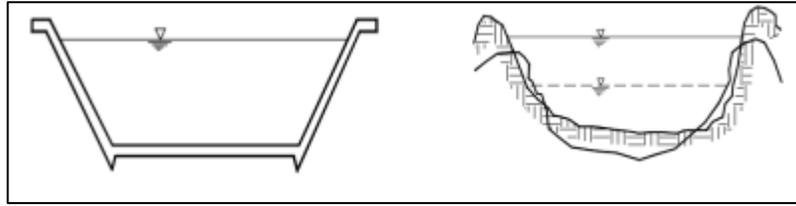
Sin embargo, en un río, el movimiento no es uniforme debido a la gran variabilidad de la sección transversal a lo largo de su curso. Un río no tiene una sección transversal prismática. En términos prácticos, se asume que existe un movimiento casi uniforme y también se podría hablar de un movimiento casi permanente.

El contorno de un canal construido por humanos generalmente es fijo e invariable. Pero el contorno de un río de lecho móvil cambia constantemente.

La figura 17 muestra las secciones de un canal realizado por el hombre y un canal natural respectivamente.

## Figura 15

*Lecho rígido y lecho móvil.*



*Nota*, tomado de Introducción a la hidráulica fluvial po Rocha (1998), citado en Chagua (2018)

El coeficiente de resistencia, también conocido como rugosidad, es mucho más incierto en los ríos. El caudal está cambiando el fondo. El río tiene la capacidad de profundizar o sedimentar. Las formas características en el fondo brindan una resistencia adicional y variable (Chagua, 2018, pág. 31).

Para determinar la forma y apariencia de los ríos tenemos las siguientes características:

### **Variabilidad temporal de las descargas**

Los caudales de los ríos tienden a ser muy variables, lo que significa que tienen caudales completamente diferente cada año. Por tanto, existen variaciones estacionales y anuales. Esto se aplica principalmente a la mayoría de los ríos que fluyen a lo largo de la costa del Perú. Los cursos de los ríos suelen verse alterados significativamente por grandes vertidos. Aunque las fuentes históricas son demasiado breves para registrar la ocurrencia de eventos importantes, estamos interesados en las principales vías hacia estos eventos. (Chagua, 2018, pág. 31).

### **Presencia de vegetación**

El anclaje del cauce del río está relacionado con la presencia de vegetación. La dinámica de los ríos requiere el estudio de factores geológicos, factores hidrológicos, geometría del embalse y propiedades hidráulicas (soporte, pendiente, velocidad). (Chagua, 2018, pág. 31).

### **2.2.5.2. CONDUCTOS ABIERTOS**

Las líneas hidráulicas abiertas tienen superficies libres en contacto con la atmósfera. El peso del fluido provoca el flujo. Desde el punto de vista hidráulico, los canales actúan como ríos.

Por lo general, asumimos que el escurrimiento es uniforme y permanente. Mantener el caudal constante permite alcanzar un cierto grado de permanencia en el canal. La permanencia en un río es posible solo en situaciones excepcionales, como en el flujo controlado de agua debajo de un embalse.

La sección transversal del río es muy variada, por lo que el movimiento no es uniforme. Por lo tanto, las ecuaciones de flujo utilizadas en tuberías abiertas, como las ecuaciones de Chezy o Manning, corresponden a simplificaciones y representaciones gráficas del flujo real.

Pero, a pesar de las restricciones mencionadas anteriormente, en hidráulica fluvial debemos utilizar las fórmulas e ideas deducidas para el flujo de canales (Chagua, 2018, pág. 32)

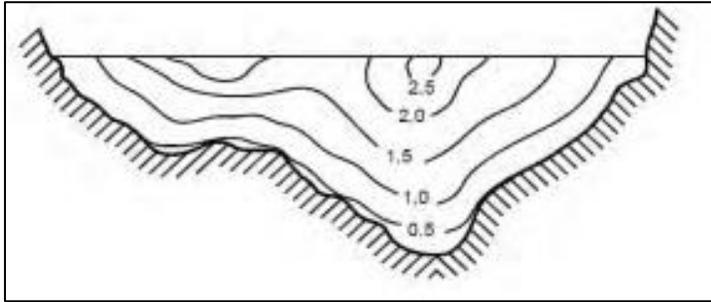
### **2.2.5.3. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL**

#### **Canal hidráulico**

Un desagüe tiene un contorno de superficie libre en contacto con la atmósfera, ya sea natural o artificial, llamado canal. Ríos, cascadas, arroyos, etc. Estos son canales naturales. Su sección transversal es irregular y variada. Los lechos móviles son áreas donde las partículas sólidas (arena, limo, roca, etc.) están en movimiento (Chagua, 2018, p. 32).

**Figura 16**

*Canal natural de río.*



*Nota, tomado de Hidráulica de tuberías y canales”, por Rocha (2007), citado en, Chagua (2018)*

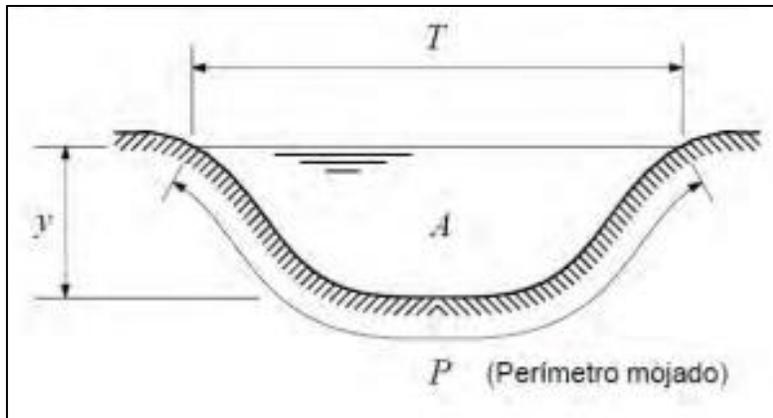
### **Radio hidráulico**

Es la proporción entre el perímetro mojado y el área transversal de un conducto hidráulico. El cálculo del radio hidráulico se muestra en la ecuación siguiente.

$$R = \frac{A}{p}$$

**Figura 17**

*Parámetros de la sección transversal de un canal*



*Nota, Tomado de Hidráulica de tuberías y canales”, por Rocha (2007), citado en, Chagua (2018)*

### **Tirante hidráulico (d)**

Es la relación entre el área de la sección A y el ancho superficial T en un canal.

La siguiente ecuación muestra el cálculo del tirante hidráulico.

$$d = \frac{A}{T}$$

### **Tirante (y)**

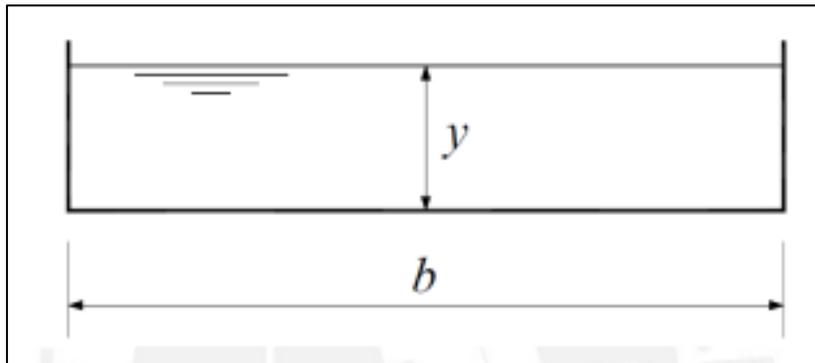
Es la distancia vertical desde el punto más bajo en el fondo del canal hasta la superficie libre del líquido.

### **Radio hidráulico en un canal muy ancho**

Un canal o río es muy ancho cuando su ancho b es mucho mayor que su tirante (figura 20). El cálculo del radio hidráulico es más rápido y sencillo gracias a esto.

### **Figura 18**

*Parámetros de la sección transversal de un canal*



*Nota, tomado de Hidráulica de tuberías y canales”, por Rocha (2007), citado en, Chagua (2018)*

La siguiente ecuación muestra el cálculo del radio hidráulico para ríos

$$A = by$$

$$P = b + 2y$$

$$R = \frac{by}{b + 2y} = \frac{y}{1 + 2\frac{y}{b}}$$

En canales muy anchos,  $y/b$  es pequeño y podemos pensar en  $R = y$ , es decir, en canales muy anchos el radio hidráulico es igual a la profundidad.

#### 2.2.5.4. SELECCIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

##### Tabla de coeficiente de rugosidad de Mannig

En 1994, Chow, Saldarriaga y Zuluaga propusieron una lista de  $n$  valores para diferentes categorías de canales. Muestra los valores mínimo, normal y máximo de  $n$  para cada tipo de canal.

Un extracto de la tabla general de coeficientes de rugosidad de Manning se muestra en la Tabla 4.

##### Tabla 4.

Valores del coeficiente de rugosidad

| Tipo de canal y descripción             | Mínimo | normal | Máximo |
|---|--------|--------|--------|
| <b>Planicies de inundación</b>          |        |        |        |
| Pastizales, sin matorrales              |        |        |        |
| Pasto corto                             | 0.025  | 0.030  | 0.035  |
| Pasto alto                              | 0.030  | 0.035  | 0.050  |
| <b>Áreas cultivadas</b>                 |        |        |        |
| Sin cultivo                             | 0.020  | 0.030  | 0.040  |
| Cultivos en línea maduros               | 0.025  | 0.035  | 0.045  |
| Campos de cultivo maduros               | 0.030  | 0.040  | 0.050  |
| <b>Matorrales</b>                       |        |        |        |
| Matorrales dispersos, mucha maleza      | 0.035  | 0.050  | 0.070  |
| Pocos matorrales y árboles, en invierno | 0.035  | 0.050  | 0.060  |

|   |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|
| Pocos matorrales y árboles,<br>en verano  | 0.040 | 0.070 | 0.110 |
| Matorrales medios a densos,<br>en invierno  | 0.045 | 0.070 | 0.110 |
| Matorrales medios a densos,<br>en verano  | 0.070 | 0.100 | 0.160 |
| <b>Árboles</b>  |       |       |       |
| Sauces densos, rectos y en<br>verano  | 0.110 | 0.150 | 0.200 |
| Terreno limpio, con troncos<br>sin retoños  | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| Igual que el anterior, pero con<br>una gran cantidad de retoños   | 0.050 | 0.060 | 0.080 |
| Gran cantidad de árboles,<br>algunos troncos caídos, con<br>poco crecimiento de<br>matorrales, nivel de agua por<br>debajo de las ramas | 0.080 | 0.100 | 0.120 |
| Igual al anterior, pero con<br>nivel de creciente por encima<br>de las ramas  | 0.100 | 0.120 | 0.160 |

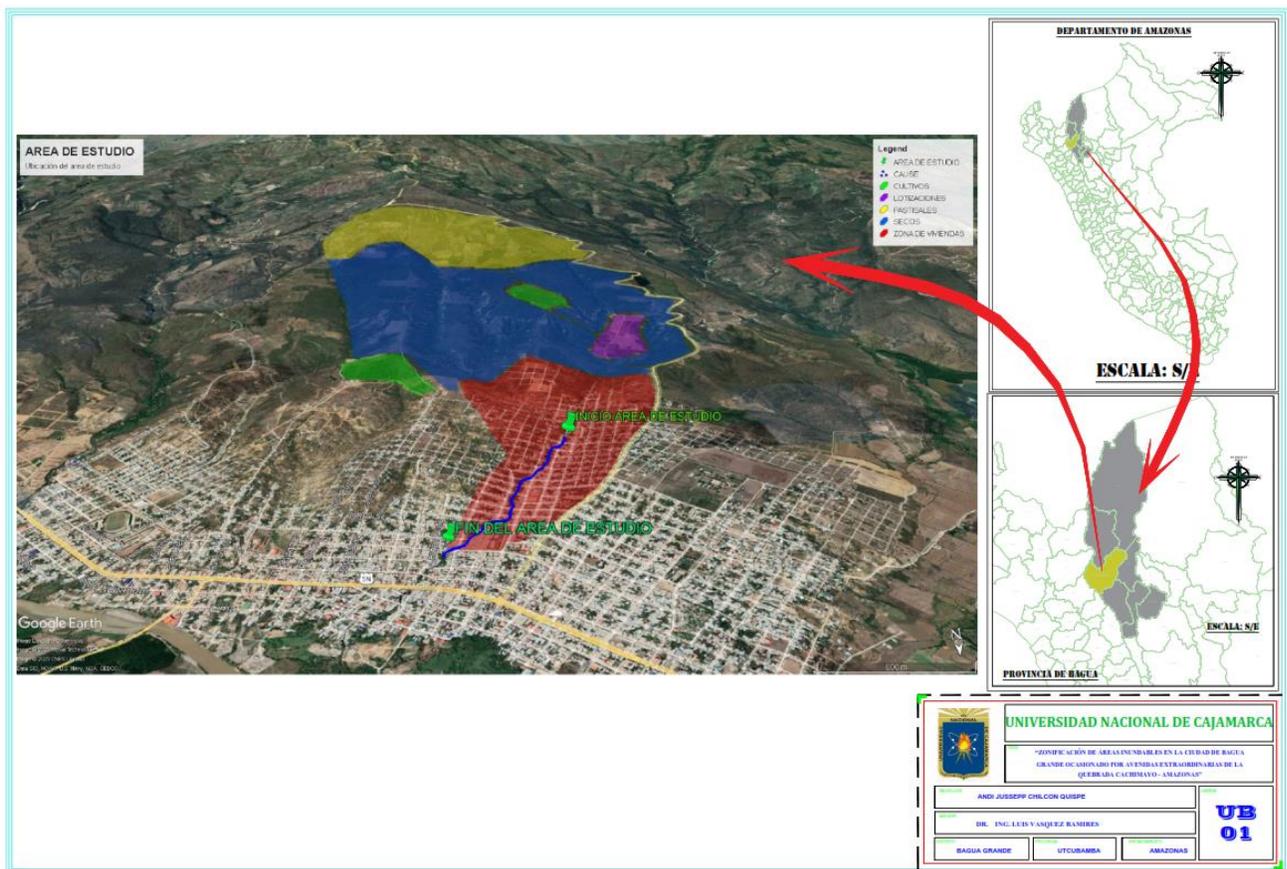
Nota. Fuente: Hidráulica de tuberías y canales, por Rocha (2007), citado en, Chagua (2018)

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

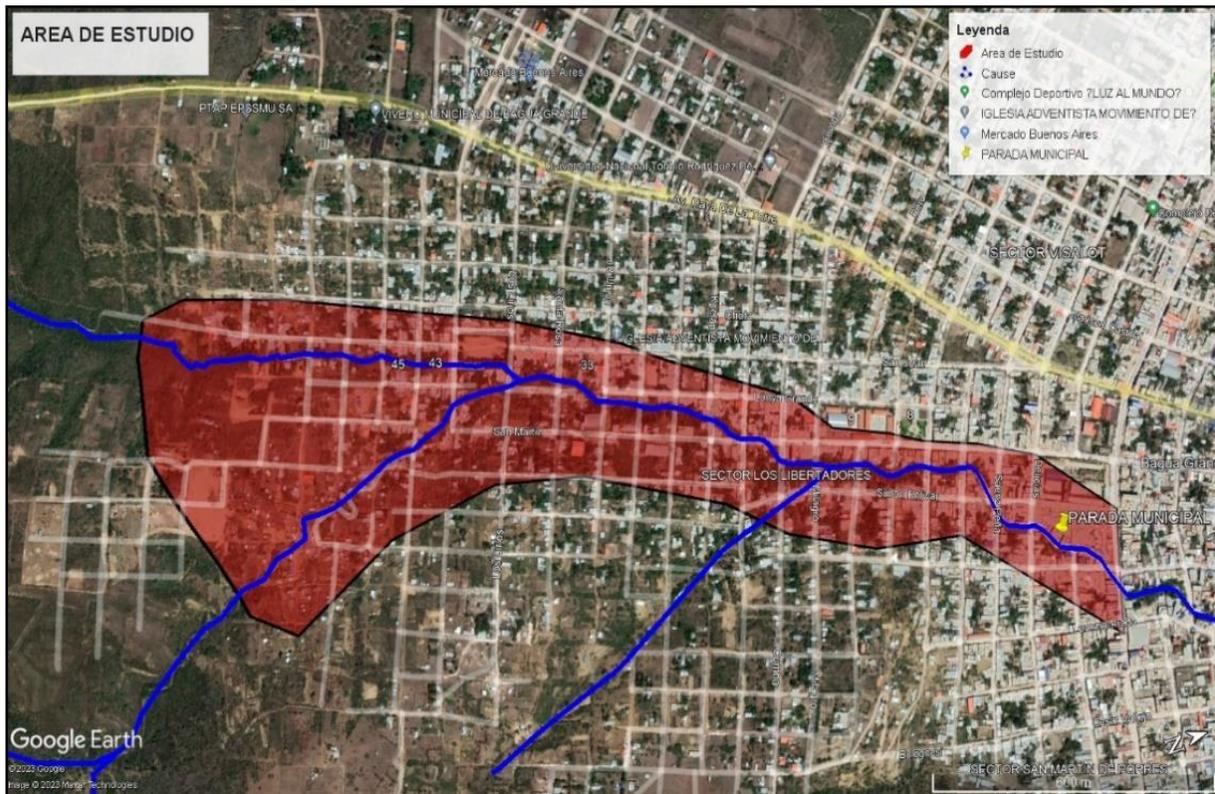
### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio de la presente investigación es un tramo que atraviesa la quebrada Cachimayo, la cual va desde el Jr. San Rosa (782512E – 9361828N Aguas arriba), hasta la Av. Mariano Melgar (783291E- 9362853N Aguas Abajo), en el distrito de Bagua Grande, provincia de Utcubamba, departamento de Amazonas.

**Figura 19.**  
*Ubicación del Área de Estudio*



**Figura 20.**  
*Área de estudio de la quebrada Cachimayo*



## 3.2. METODOLOGÍA

### 3.2.1. TIPO DE ESTUDIO.

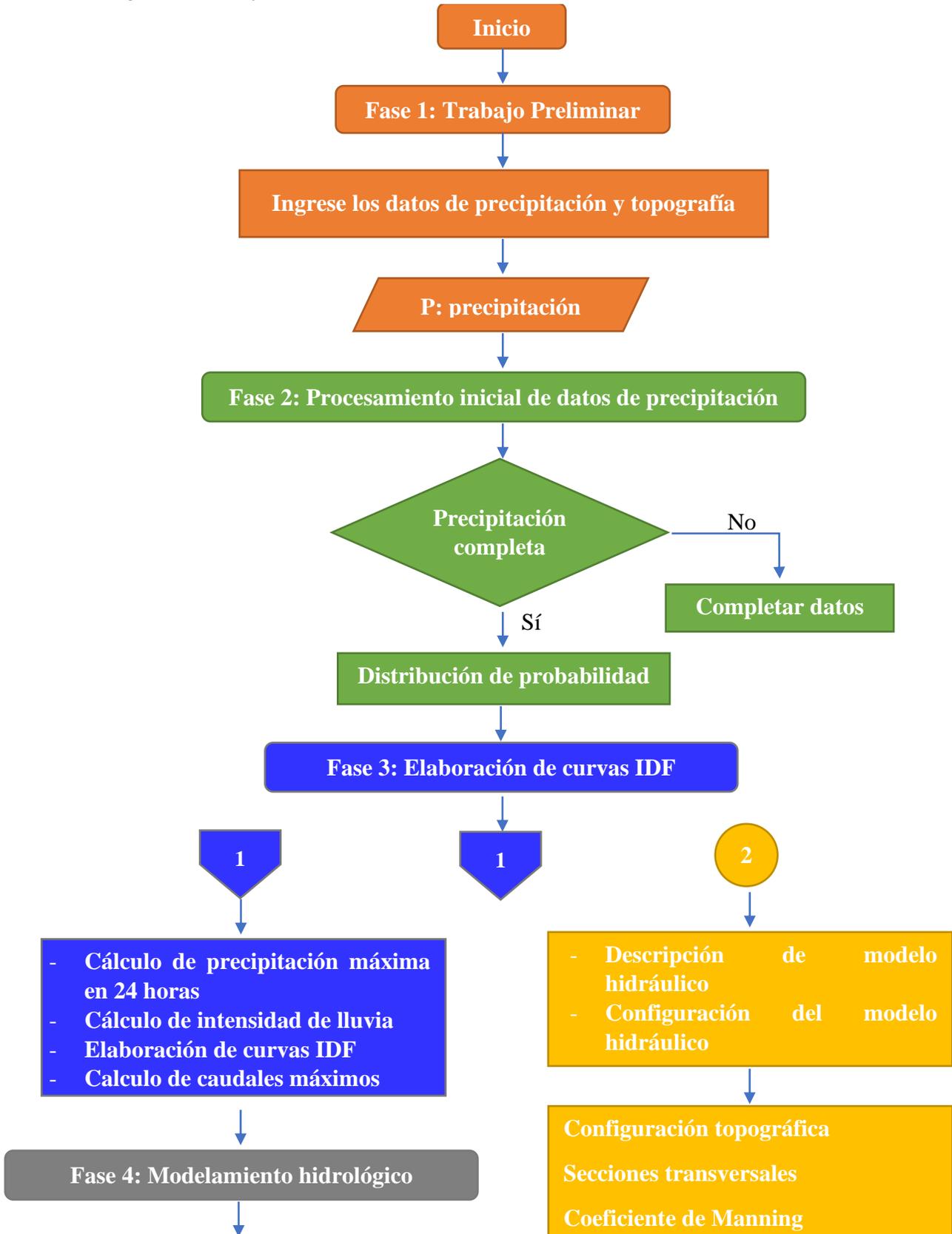
El método utilizado en este estudio es el método analítico, puesto que vamos a analizar los datos obtenidos para poder sacar un resultado final.

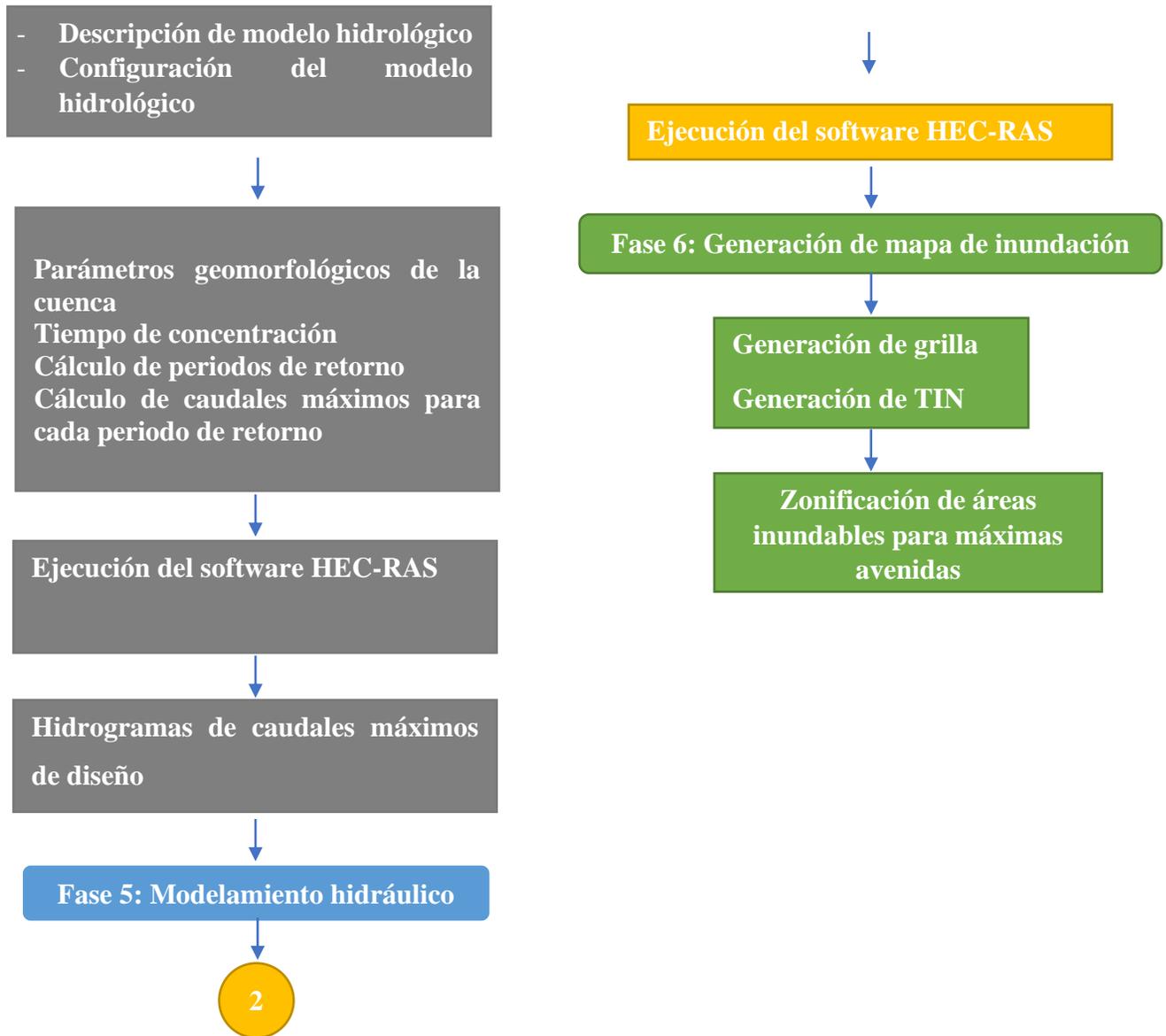
### 3.2.2. DISEÑO.

Este trabajo de investigación se llevará a cabo en seis etapas para detallar cada paso hacia el logro de los objetivos de la tesis. El diagrama de flujo de este método se muestra a continuación.

**Figura 21**

*Diagrama de Flujo*





Nota, elaboración propia

### 3.3. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

**Tabla 5**

*Técnicas e instrumentos para recolección de datos*

| Técnicas    | Instrumentos   |
|-------------|--|
| Observación | Visita a la zona de estudio  |
|             | Vestigios de anteriores inundaciones                                   |
|             | Material fotográfico de anteriores inundaciones                        |
| Entrevistas | Dialogo con las personas en la zona de estudio.                        |
|             | Levantamiento topografico con estacion total y fotogrametria con drone |

|                      |  |
|----------------------|--|
| Recolección de datos | Datos pluviométricos de una estación aledaña a la zona de estudio en los sitios web: <a href="https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/">https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/</a> y <a href="https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/datos-hidrometeorol%C3%B3gicos-de-libre-acceso/resource/f3c5e8e8-73bd-49dc-bb22-37c61ad40a04">https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/datos-hidrometeorol%C3%B3gicos-de-libre-acceso/resource/f3c5e8e8-73bd-49dc-bb22-37c61ad40a04</a> |
| Modelamiento         | Computacional como (Agisoft Metashape, autocad civil 3D, HEC-RAS, excel, word, autocad, ArcGIS)  |

Nota, elaboración propia

### **3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN**

Los métodos de análisis serán:

Cuantitativas: A través de investigaciones, análisis y cálculos, se obtendrán, analizarán y evaluarán datos cuantificables utilizando software como Excel, Agisoft Metashpe y Hec-Ras.

Cualitativas: Este método se utilizará para interpretar los datos para aclarar las propiedades y características encontradas en los resultados.

#### **3.4.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Antes de obtener información, se llevó a cabo una inspección del cauce de la quebrada Cachimayo para tener una comprensión clara de las áreas que podrían verse afectadas por la inundación. Se conversó con los habitantes de la región, quienes afirman que cada dos décadas el nivel de la quebrada aumenta, lo que causa daños materiales y físicos a las personas que viven allí.

**Figura 22.**

*Cause de la quebrada Cachimayo, utilizado como ruta de acceso al asentamiento humano.*



*Nota, Panel fotográfico obtenido en visita de campo*

**Figura 23**

*Cause de la quebrada Cachimayo, utilizado como ruta de acceso a la Parada Municipal.*



*Nota, panel fotográfico obtenido en campo*

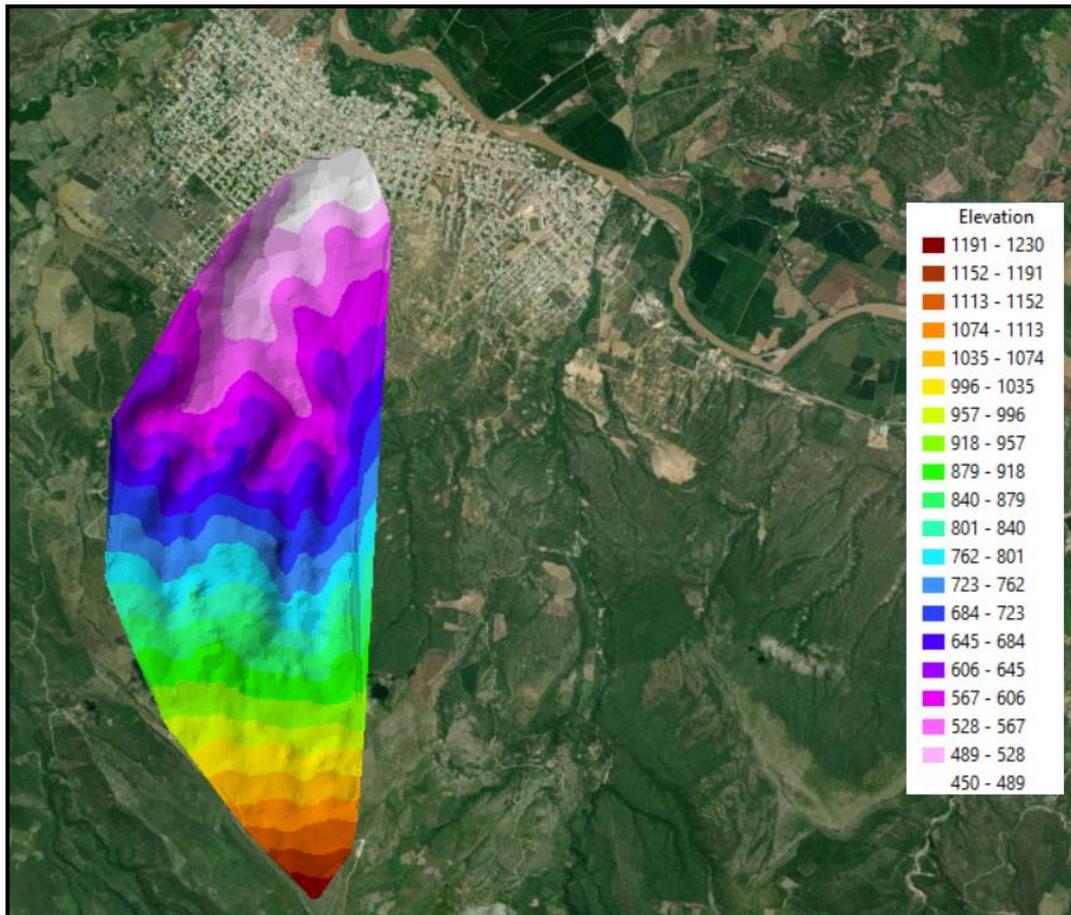
### 3.4.2. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA

#### 3.4.2.1. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

El cálculo y delimitación de los parámetros de la cuenca de la quebrada Cachimayo se realizó mediante el Software ArcGis 10.2.

**Figura 24.**

*Delimitación de la cuenca quebrada Cachimayo.*



*Nota, Elaboración Propia*

#### 3.4.2.2. PARÁMETROS DE FORMA

La cuenca del río Cachimayo tiene una superficie total de 9,04 kilómetros cuadrados, un perímetro de cuenca de 19,62 kilómetros y una elevación mínima de 446,00 metros. Altura máxima 1240.00 m.s.n.m.

**Tabla 6**

*Cálculo del Índice de Gravelius*

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Perímetro               | 19.62 km             |
| Área                    | 9.04 km <sup>2</sup> |
| Índice de Gravelius (k) | 1.8410               |

*Nota, Elaboración Propia*

**Tabla 7**

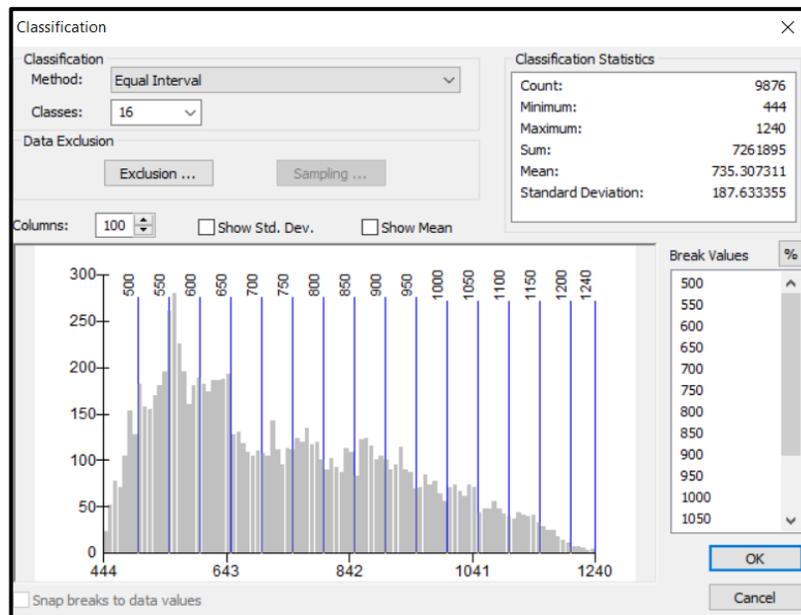
*Cálculo de Factor Forma*

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Lado menor del rectángulo equivalente | 1.02 km              |
| Lado mayor del rectángulo equivalente | 8.86 km              |
| Área de la cuenca                     | 9.04 km <sup>2</sup> |
| <b>Factor Forma</b>                   | <b>0.1150</b>        |

*Nota, elaboración propia*

**Figura 25.**

*Gráfico de factor de forma.*



Los datos anteriores muestran que el valor del índice de Gravelius se encuentra entre los rangos 1.00 y -1.25, por lo tanto, la forma de la cuenca es “Redonda” y el factor de forma muestra que la cuenca posee una menor tendencia a crecientes.

### 3.4.2.3. PARÁMETROS DE RELIEVE

Las mediciones de elevación de la cuenca de Cachimayo se obtuvieron utilizando el software ArcGIS y los parámetros topográficos de la cuenca se derivaron de estos datos.

**Tabla 8**

*Distribución altimétrica de la cuenca de la quebrada Cachimayo*

| ALTITUD<br>m.s.n.m. | ÁREAS PARCIALES |        | ÁREAS ACUMULADAS |        |            |        |
|---------------------|-----------------|--------|------------------|--------|------------|--------|
|                     | Km2             | (%)    | POR DEBAJO       |        | POR ENCIMA |        |
|                     |                 |        | (KM2)            | (%)    | KM2        | (%)    |
| Punto más bajo      |                 |        |                  |        |            |        |
| 446                 | 0.00            | 0.00   | 0.00             | 0.00   | 9.34       | 100.00 |
| 500                 | 0.60            | 6.38   | 0.60             | 6.38   | 8.74       | 93.62  |
| 550                 | 1.04            | 11.17  | 1.64             | 17.55  | 7.70       | 82.45  |
| 600                 | 1.26            | 13.53  | 2.90             | 31.09  | 6.43       | 68.91  |
| 650                 | 1.09            | 11.68  | 3.99             | 42.77  | 5.34       | 57.23  |
| 700                 | 0.71            | 7.61   | 4.70             | 50.38  | 4.63       | 49.62  |
| 750                 | 0.66            | 7.08   | 5.36             | 57.46  | 3.97       | 42.54  |
| 800                 | 0.70            | 7.55   | 6.07             | 65.01  | 3.27       | 34.99  |
| 850                 | 0.59            | 6.27   | 6.66             | 71.28  | 2.68       | 28.72  |
| 900                 | 0.65            | 6.96   | 7.31             | 78.24  | 2.03       | 21.76  |
| 950                 | 0.55            | 5.85   | 7.85             | 84.09  | 1.49       | 15.91  |
| 1000                | 0.42            | 4.55   | 8.28             | 88.64  | 1.06       | 11.36  |
| 1050                | 0.40            | 4.27   | 8.68             | 92.91  | 0.66       | 7.09   |
| 1100                | 0.28            | 3.01   | 8.96             | 95.93  | 0.38       | 4.07   |
| 1150                | 0.24            | 2.53   | 9.19             | 98.46  | 0.14       | 1.54   |
| 1200                | 0.12            | 1.28   | 9.31             | 99.74  | 0.02       | 0.26   |
| 1240                | 0.02            | 0.26   | 9.34             | 100.00 | 0.00       | 0.00   |
| Punto más alto      |                 |        |                  |        |            |        |
| TOTAL               | 9.34            | 100.00 |                  |        |            |        |

**Tabla 9**

*Cálculo de Altitud media de la cuenca de la Quebrada Cachimayo*

|                                |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| <b>Altitud Media</b>           | 702.00 m.s.n.m. |
| <b>Altitud Media Ponderada</b> | 734.90 m.s.n.m. |
| <b>Altitud Media Simple</b>    | 843.00 m.s.n.m. |

*Nota, Elaboración Propia*

**Tabla 10**

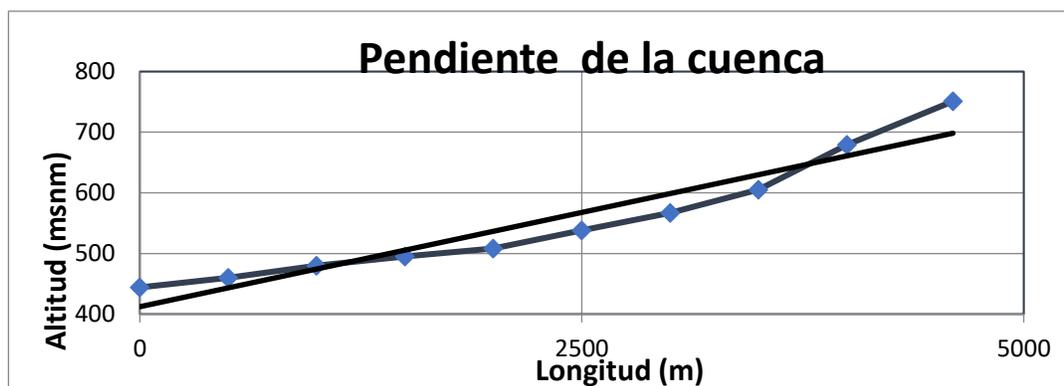
*Pendiente de la cuenca de la quebrada Cachimayo*

|                          |               |
|--------------------------|---------------|
| <b>Pendiente (s) (m)</b> | <b>0.0478</b> |
| <b>Pendiente (s) (%)</b> | <b>4.78</b>   |

*Nota, Elaboración Propia*

**Figura 26.**

*Gráfica del perfil longitudinal de la quebrada Cachimayo.*



La figura 29, muestra la gráfica de la pendiente de la cuenca de la quebrada Cachimayo.

#### **3.4.2.4. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA RED HÍDRICA**

La densidad de drenaje es la relación entre la longitud total de los cursos de agua temporales, intermitentes o perennes en la cuenca del Cachimayo y su área total.

**Tabla 11**

*Cálculo de la densidad de drenaje*

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Longitud del cauce principal  | 5.30 km              |
| Longitud de cauces aportantes | 8.06 km              |
| Longitud total de ríos        | 13.36 km             |
| Área de la Cuenca             | 9.04 km <sup>2</sup> |
| Densidad de drenaje           | 1.48                 |

*Nota, Elaboración Propia*

Por otro lado, se calcula la frecuencia de los ríos, el cual es un parámetro que se refiere a la suma de la secuencia de todos los canales; es decir, el número y área total de todos los ríos que componen la cuenca de la quebrada Cachimayo.

**Tabla 12**

*Cálculo de frecuencia de los ríos*

|              |       |
|--------------|-------|
| N° de Cauces | 4     |
| Fr           | 0.443 |

*Nota, Elaboración Propia*

Finalmente, el cálculo de la extensión media del escurrimiento superficial muestra la distancia promedio que la precipitación debe viajar a las vías fluviales cercanas de la cuenca de la quebrada Cachimayo.

**Tabla 13**

*Cálculo de la extensión media del escurrimiento superficial*

|            |       |
|------------|-------|
| E.S. media | 0.169 |
|------------|-------|

*Nota, Elaboración Propia*

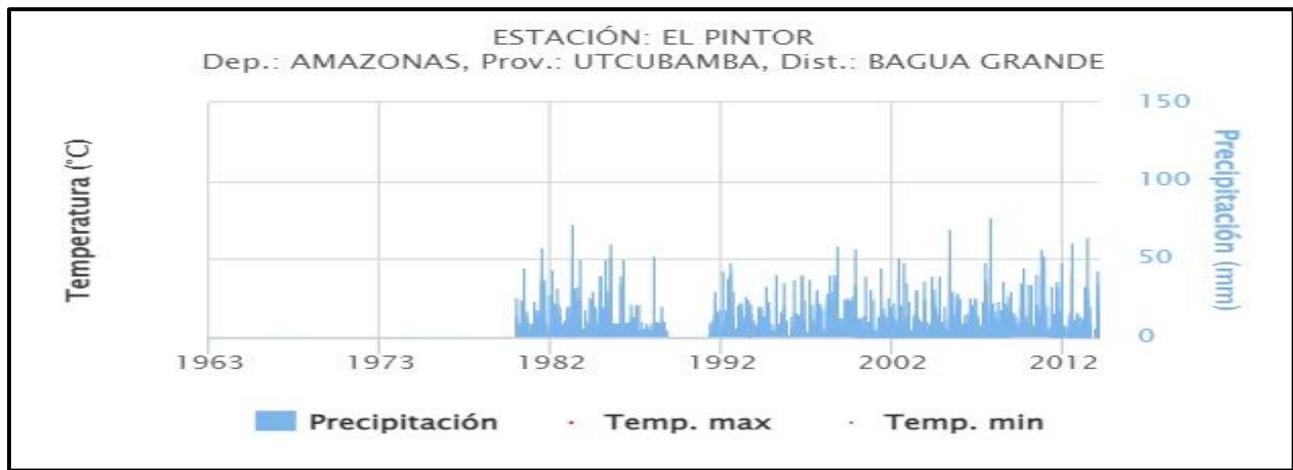
### **3.4.3. CÁLCULO HIDROLÓGICO**

#### **3.4.3.1. PRECIPITACIÓN.**

La información obtenida del Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional (Senamhi) para evaluar las estimaciones de riesgo de inundaciones en la quebrada Cachimayo en la zona de Bagua Grande consta de 31 años (1992-2022) de datos históricos correspondientes a las máximas precipitaciones obtenidas en 24 horas. La estación seleccionada es la estación El Pintor, ubicada a 7,5 kilómetros del área de estudio.

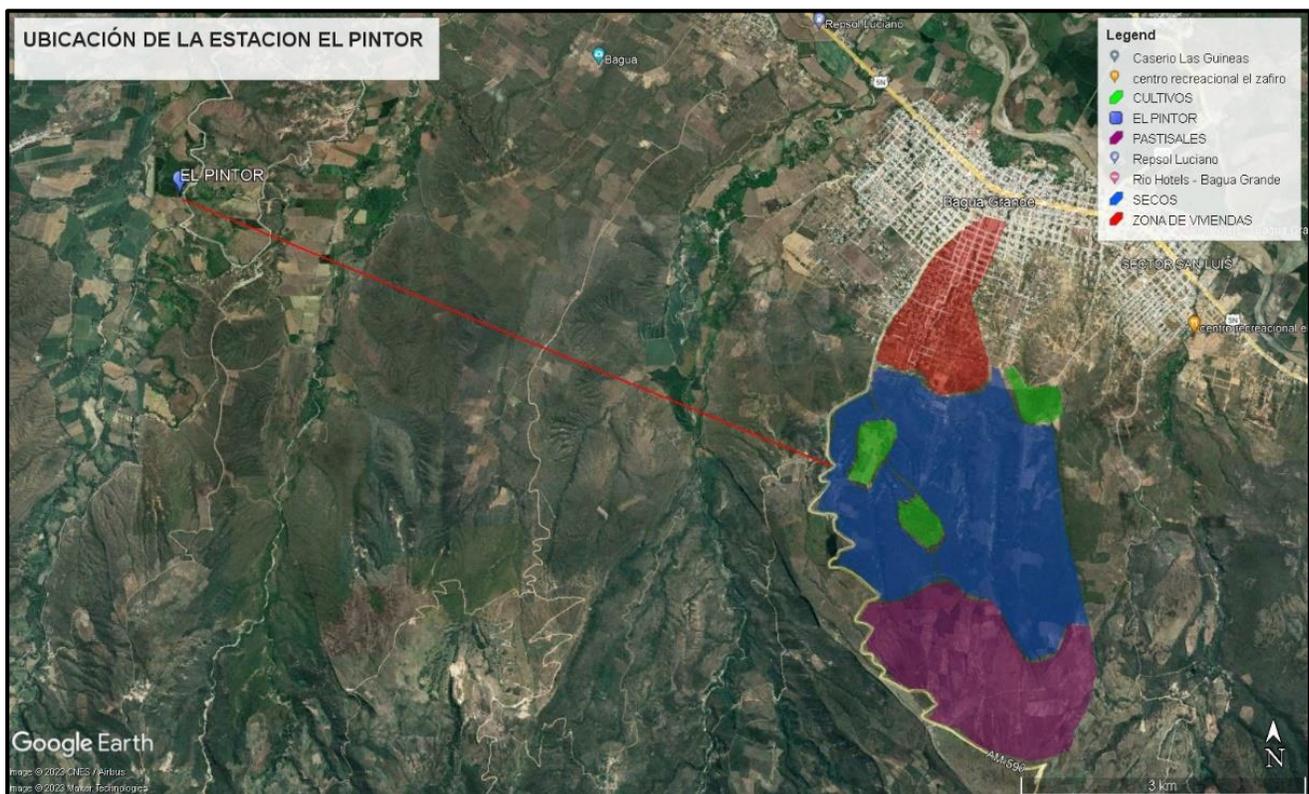
**Figura 27.**

*Gráfico Precipitaciones en la Estación “El Pintor”.*



**Figura 28**

*Ubicación de la estación “El Pintor”.*



*Nota, Tomado de google Earth. La estación El Pintor se encuentra ubicada en a 7.5 km de la zona de estudio.*

Se evaluaron varias estaciones meteorológicas para obtener datos de precipitación y se seleccionó la más cercana a nuestra área de estudio y calificada.

**Tabla 14***Precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas. Estación El Pintor.*

| <b>AÑO</b>  | <b>ENE.</b> | <b>FEB.</b> | <b>MAR.</b> | <b>ABR.</b> | <b>MAY.</b> | <b>JUN.</b> | <b>JUL.</b> | <b>AGO.</b> | <b>SET.</b> | <b>OCT.</b> | <b>NOV.</b> | <b>DIC.</b> | <b>MAX</b>   |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>1992</b> | 9.5         | 11.2        | 15.2        | 30.4        | 12          | 16.8        | 4.8         | 18.3        | 8.5         | 42.6        | 17.9        | 10          | <b>42.60</b> |
| <b>1993</b> | 20.4        | 47.9        | 24          | 30          | 8.3         | 5.8         | 21.6        | 7.1         | 22.5        | 22.6        | 8.1         | 14.4        | <b>47.90</b> |
| <b>1994</b> | 27.2        | 17.4        | 22.1        | 24.9        | 21.8        | 9.9         | 11.9        | 0.9         | 8.4         | 20.8        | 18.2        | 20.5        | <b>27.20</b> |
| <b>1995</b> | 13.6        | 13.7        | 33.4        | 19.6        | 23.1        | 5.2         | 9.4         | 0           | 5.8         | 3.5         | 41.2        | 10          | <b>41.20</b> |
| <b>1996</b> | 15.3        | 17.4        | 15.7        | 35.5        | 11.5        | 7.1         | 1.5         | 5.9         | 13.5        | 37.9        | 10.2        | 16.4        | <b>37.90</b> |
| <b>1997</b> | 7.7         | 15.2        | 7.8         | 40.6        | 10          | 24.4        | 3.7         | 4.3         | 8.5         | 37.4        | 20.9        | 5.8         | <b>40.60</b> |
| <b>1998</b> | 8.3         | 31.5        | 29.9        | 23          | 19.4        | 6.2         | 2.4         | 5.7         | 5.3         | 29.2        | 40.7        | 30.1        | <b>40.70</b> |
| <b>1999</b> | 15          | 39.9        | 40.6        | 6.8         | 58.5        | 8.1         | 12.9        | 13.2        | 24.9        | 24.2        | 24.6        | 25.6        | <b>58.50</b> |
| <b>2000</b> | 24.5        | 20.3        | 26.4        | 32.7        | 56.4        | 12.6        | 12.6        | 13          | 12          | 13.5        | 10.8        | 39.6        | <b>56.40</b> |
| <b>2001</b> | 6           | 7.9         | 31.1        | 12.3        | 24.7        | 3           | 4.6         | 0.9         | 14.1        | 14.9        | 44.5        | 19.7        | <b>44.50</b> |
| <b>2002</b> | 11.6        | 13.8        | 11.9        | 26          | 20.5        | 0.9         | 23          | 11.5        | 9.9         | 51.3        | 38.9        | 8           | <b>51.30</b> |
| <b>2003</b> | 18.2        | 21.7        | 48.3        | 35          | 11.9        | 13.6        | 23.6        | 5.4         | 3.2         | 14.5        | 16.7        | 30.9        | <b>48.30</b> |
| <b>2004</b> | 13          | 7.7         | 10.7        | 24.9        | 36.5        | 4.7         | 10.9        | 7           | 9.9         | 40          | 31.1        | 21.2        | <b>40.00</b> |
| <b>2005</b> | 13.1        | 16.6        | 39.9        | 11.2        | 8.6         | 20          | 2           | 11.8        | 3.4         | 41.5        | 69.4        | 30.3        | <b>69.40</b> |
| <b>2006</b> | 15.6        | 6.1         | 28.8        | 26.6        | 4.3         | 25.7        | 2.9         | 10          | 15.5        | 15.9        | 9.4         | 11.2        | <b>28.80</b> |
| <b>2007</b> | 25.8        | 14.5        | 7.4         | 25.2        | 15.5        | 2.3         | 8.5         | 6.3         | 16.5        | 23.2        | 48.5        | 11.2        | <b>48.50</b> |
| <b>2008</b> | 6.6         | 45.5        | 77.5        | 15          | 22.3        | 16.9        | 12.3        | 23.8        | 6.6         | 18          | 36.4        | 18.2        | <b>77.50</b> |
| <b>2009</b> | 22.9        | 27          | 17.8        | 29.8        | 22          | 16.3        | 16.4        | 9.4         | 14.1        | 7.6         | 35.1        | 6.4         | <b>35.10</b> |
| <b>2010</b> | 0.7         | 44.6        | 7.2         | 33.8        | 14.7        | 7.2         | 34.4        | 2.3         | 8.7         | 40.7        | 21.2        | 18.2        | <b>44.60</b> |
| <b>2011</b> | 8.9         | 40.7        | 56.5        | 52.8        | 20.6        | 6.1         | 7.3         | 4           | 33.7        | 19          | 9.7         | 36.3        | <b>56.50</b> |
| <b>2012</b> | 19.7        | 18.4        | 16.5        | 48.4        | 4.4         | 9           | 7.1         | 10.2        | 3           | 61          | 44          | 11.3        | <b>61.00</b> |
| <b>2013</b> | 10          | 13.6        | 16.4        | 4.5         | 14.1        | 4.9         | 13.3        | 33.5        | 16.9        | 64.6        | 2.9         | 19.9        | <b>64.60</b> |
| <b>2014</b> | 14          | 4.9         | 31.4        | 18.2        | 42.7        | 6.9         | 1.5         | 19          | 8           | 11.1        | 13.4        | 27.4        | <b>42.70</b> |
| <b>2015</b> | 31.6        | 24          | 0.2         | 6.4         | 17.7        | 7           | 9.1         | 3           | 2.3         | 6.9         | 22          | 15.6        | <b>31.60</b> |
| <b>2016</b> | 34.8        | 15.3        | 39.5        | 33.9        | 23.5        | 3.7         | 5.2         | 9.1         | 33.9        | 17.3        | 14.3        | 24          | <b>39.50</b> |
| <b>2017</b> | 24.2        | 21.6        | 11.6        | 50.7        | 10.4        | 17.9        | 7.2         | 17.7        | 28.2        | 13.5        | 13          | 15          | <b>50.70</b> |
| <b>2018</b> | 32.6        | 30.9        | 8.7         | 12          | 36.1        | 8.7         | 18.8        | 2.8         | 4           | 21.3        | 36.7        | 23.6        | <b>36.70</b> |
| <b>2019</b> | 11.2        | 27.2        | 21.8        | 44.6        | 19.7        | 4.4         | 24.1        | 1.7         | 11.3        | 9.3         | 7.6         | 50.5        | <b>50.50</b> |
| <b>2020</b> | 84.8        | 19.8        | 7.8         | 18          | 10.2        | 10.2        | 20.1        | 9.7         | 31.7        | 18.9        | 42.3        | 48.1        | <b>84.80</b> |
| <b>2021</b> | 24.5        | 18.1        | 31.6        | 23.7        | 26.9        | 18.4        | 6.6         | 4.1         | 7.5         | 32.5        | 10.5        | 14.5        | <b>32.50</b> |
| <b>2022</b> | 10.2        | 15.4        | 39.5        | 20.3        | 15          | 13.3        | 21.9        | 16.4        | 35.6        | 9.8         | 13          | 5.1         | <b>39.50</b> |

*Nota. Datos obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) y de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)*

### 3.4.3.1.1. ANÁLISIS DE DATOS DUDOSOS

La verificación incluye si los valores máximos y mínimos de la serie se encuentran dentro de los valores mínimos y máximos permisibles de precipitación; es decir, dentro de los umbrales calculados por el método de datos dudosos, y si la prueba de datos dudosos pasa sin problemas, entonces se determina que los datos de precipitación para la estación El Pintor son estadísticamente correctos.

**Tabla 15**

*Cálculo aplicando el Método de Datos dudosos, estación El Pintor*

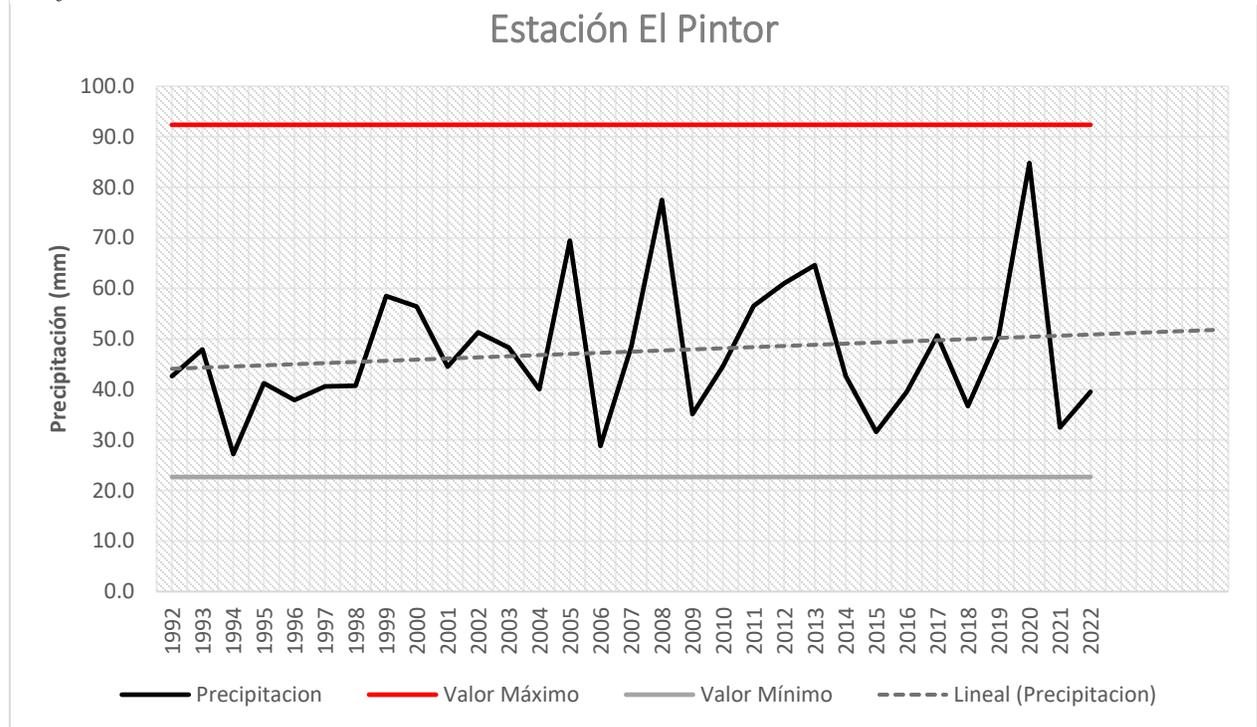
| <b>Pmax24</b> | <b>Log(P24hr)</b> |
|---------------|-------------------|
| 42.6          | 1.63              |
| 47.9          | 1.68              |
| 27.2          | 1.43              |
| 41.2          | 1.61              |
| 37.9          | 1.58              |
| 40.6+         | 1.61              |
| 40.7          | 1.61              |
| 58.5          | 1.77              |
| 56.4          | 1.75              |
| 44.5          | 1.65              |
| 51.3          | 1.71              |
| 48.3          | 1.68              |
| 40.0          | 1.60              |
| 69.4          | 1.84              |
| 28.8          | 1.46              |
| 48.5          | 1.69              |
| 77.5          | 1.89              |
| 35.1          | 1.55              |
| 44.6          | 1.65              |
| 56.5          | 1.75              |
| 61.0          | 1.79              |
| 64.6          | 1.81              |
| 42.7          | 1.63              |
| 31.6          | 1.50              |
| 39.5          | 1.60              |
| 50.7          | 1.71              |
| 36.7          | 1.56              |
| 50.5          | 1.70              |

|                                |         |      |
|--------------------------------|---------|------|
|                                | 84.8    | 1.93 |
|                                | 32.5    | 1.51 |
|                                | 39.5    | 1.60 |
| <b>Número de datos (N)</b>     | 31.00   |      |
| <b>Sumatoria</b>               | 1471.60 |      |
| <b>Valor Máximo</b>            | 84.80   |      |
| <b>Valor Mínimo</b>            | 27.20   |      |
| <b>Media:</b>                  | 47.47   |      |
| <b>Varianza:</b>               | 184.89  |      |
| <b>Desviación Estándar:</b>    | 13.60   |      |
| <b>Coefficiente Variación:</b> | 0.29    |      |
| <b>Coefficiente de Sesgo:</b>  | 1.01    |      |
| <b>Kn</b>                      | 2.577   |      |
| <b>PH</b>                      | 92.36   |      |
| <b>PL</b>                      | 22.67   |      |

Nota, datos obtenidos de Senamhi (2022)

**Figura 29**

Gráfica del modelamiento de análisis de datos dudosos, Estación el Pintor



### 3.4.3.1.2. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV-SMIRNOV

Valores obtenidos partir de tablas echas en Excel, con las formulas descritas en las bases teóricas.

**Tabla 16**

*Prueba de bondad de ajuste KOLMOGOROV- SMIRNOV*

| m  | P=X<br>(mm) | Weibull | Normal | Log-Normal | Pearson III | Log-Pearson | Gumbel | Log. Gumbel |        |        |        |        |         |        |        |        |        |        |
|----|-------------|---------|--------|------------|-------------|-------------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1  | 27.2        | 0.0313  | -1.491 | 0.0680     | 0.0368      | 3.3032      | 0.0282 | 0.0031      | 6.656  | 0.0194 | 0.0118 | 1.2490 | 0.01863 | 0.0126 | 0.0224 | 0.0089 | 0.0015 | 0.0297 |
| 2  | 28.8        | 0.0625  | -1.373 | 0.0849     | 0.0224      | 3.3604      | 0.0447 | 0.0178      | 8.256  | 0.0378 | 0.0247 | 1.3062 | 0.03425 | 0.0282 | 0.0381 | 0.0244 | 0.0070 | 0.0555 |
| 3  | 31.6        | 0.0938  | -1.167 | 0.1216     | 0.0278      | 3.4532      | 0.0872 | 0.0065      | 11.056 | 0.0874 | 0.0063 | 1.3990 | 0.07870 | 0.0151 | 0.0814 | 0.0124 | 0.0406 | 0.0532 |
| 4  | 32.5        | 0.1250  | -1.101 | 0.1354     | 0.0104      | 3.4812      | 0.1048 | 0.0202      | 11.956 | 0.1078 | 0.0172 | 1.4270 | 0.09781 | 0.0272 | 0.0998 | 0.0252 | 0.0603 | 0.0647 |
| 5  | 35.1        | 0.1563  | -0.910 | 0.1815     | 0.0252      | 3.5582      | 0.1654 | 0.0091      | 14.556 | 0.1766 | 0.0203 | 1.5040 | 0.16507 | 0.0088 | 0.1647 | 0.0085 | 0.1416 | 0.0146 |
| 6  | 36.7        | 0.1875  | -0.792 | 0.2141     | 0.0266      | 3.6028      | 0.2092 | 0.0217      | 16.156 | 0.2246 | 0.0371 | 1.5486 | 0.21377 | 0.0263 | 0.2121 | 0.0246 | 0.2050 | 0.0175 |
| 7  | 37.9        | 0.2188  | -0.704 | 0.2408     | 0.0220      | 3.6350      | 0.2448 | 0.0260      | 17.356 | 0.2625 | 0.0437 | 1.5807 | 0.25293 | 0.0342 | 0.2504 | 0.0316 | 0.2561 | 0.0374 |
| 8  | 39.5        | 0.2500  | -0.586 | 0.2789     | 0.0289      | 3.6763      | 0.2948 | 0.0448      | 18.956 | 0.3145 | 0.0645 | 1.6221 | 0.30740 | 0.0574 | 0.3039 | 0.0539 | 0.3258 | 0.0758 |
| 9  | 39.5        | 0.2813  | -0.586 | 0.2789     | 0.0024      | 3.6763      | 0.2948 | 0.0136      | 18.956 | 0.3145 | 0.0333 | 1.6221 | 0.30740 | 0.0261 | 0.3039 | 0.0227 | 0.3258 | 0.0446 |
| 10 | 40          | 0.3125  | -0.549 | 0.2914     | 0.0211      | 3.6889      | 0.3110 | 0.0015      | 19.456 | 0.3310 | 0.0185 | 1.6347 | 0.32474 | 0.0122 | 0.3211 | 0.0086 | 0.3475 | 0.0350 |
| 11 | 40.6        | 0.3438  | -0.505 | 0.3067     | 0.0371      | 3.7038      | 0.3305 | 0.0132      | 20.056 | 0.3508 | 0.0071 | 1.6496 | 0.34564 | 0.0019 | 0.3418 | 0.0019 | 0.3733 | 0.0295 |
| 12 | 40.7        | 0.3750  | -0.498 | 0.3093     | 0.0657      | 3.7062      | 0.3338 | 0.0412      | 20.156 | 0.3541 | 0.0209 | 1.6520 | 0.34913 | 0.0259 | 0.3453 | 0.0297 | 0.3776 | 0.0026 |
| 13 | 41.2        | 0.4063  | -0.461 | 0.3223     | 0.0839      | 3.7184      | 0.3502 | 0.0560      | 20.656 | 0.3706 | 0.0356 | 1.6642 | 0.36658 | 0.0397 | 0.3626 | 0.0437 | 0.3987 | 0.0076 |
| 14 | 42.6        | 0.4375  | -0.358 | 0.3601     | 0.0774      | 3.7519      | 0.3966 | 0.0409      | 22.056 | 0.4166 | 0.0209 | 1.6977 | 0.41521 | 0.0223 | 0.4111 | 0.0264 | 0.4557 | 0.0182 |
| 15 | 42.7        | 0.4688  | -0.351 | 0.3628     | 0.1059      | 3.7542      | 0.3999 | 0.0688      | 22.156 | 0.4199 | 0.0489 | 1.7000 | 0.41866 | 0.0501 | 0.4145 | 0.0542 | 0.4597 | 0.0091 |
| 16 | 44.5        | 0.5000  | -0.218 | 0.4135     | 0.0865      | 3.7955      | 0.4594 | 0.0406      | 23.956 | 0.4775 | 0.0225 | 1.7413 | 0.47962 | 0.0204 | 0.4756 | 0.0244 | 0.5273 | 0.0273 |
| 17 | 44.6        | 0.5313  | -0.211 | 0.4164     | 0.1149      | 3.7977      | 0.4626 | 0.0686      | 24.056 | 0.4807 | 0.0506 | 1.7435 | 0.48294 | 0.0483 | 0.4790 | 0.0523 | 0.5309 | 0.0004 |
| 18 | 47.9        | 0.5625  | 0.032  | 0.5126     | 0.0499      | 3.8691      | 0.5668 | 0.0043      | 27.356 | 0.5794 | 0.0169 | 1.8149 | 0.58627 | 0.0238 | 0.5832 | 0.0207 | 0.6360 | 0.0735 |
| 19 | 48.3        | 0.5938  | 0.061  | 0.5243     | 0.0694      | 3.8774      | 0.5787 | 0.0150      | 27.756 | 0.5906 | 0.0031 | 1.8232 | 0.59789 | 0.0041 | 0.5950 | 0.0012 | 0.6471 | 0.0534 |
| 20 | 48.5        | 0.6250  | 0.076  | 0.5302     | 0.0948      | 3.8816      | 0.5846 | 0.0404      | 27.956 | 0.5962 | 0.0288 | 1.8274 | 0.60362 | 0.0214 | 0.6008 | 0.0242 | 0.6526 | 0.0276 |
| 21 | 50.5        | 0.6563  | 0.223  | 0.5881     | 0.0681      | 3.9220      | 0.6413 | 0.0149      | 29.956 | 0.6490 | 0.0072 | 1.8678 | 0.65788 | 0.0016 | 0.6558 | 0.0005 | 0.7026 | 0.0464 |

|    |      |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |        |        |        |        |
|----|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 22 | 50.7 | 0.6875 | 0.237 | 0.5939 | 0.0936 | 3.9259 | 0.6467 | 0.0408 | 30.156 | 0.6540 | 0.0335 | 1.8717 | 0.66299 | 0.0245 | 0.6610 | 0.0265 | 0.7072 | 0.0197 |
| 23 | 51.3 | 0.7188 | 0.282 | 0.6109 | 0.1079 | 3.9377 | 0.6626 | 0.0561 | 30.756 | 0.6688 | 0.0499 | 1.8835 | 0.67800 | 0.0408 | 0.6762 | 0.0426 | 0.7205 | 0.0018 |
| 24 | 56.4 | 0.7500 | 0.657 | 0.7443 | 0.0057 | 4.0325 | 0.7786 | 0.0286 | 35.856 | 0.7766 | 0.0266 | 1.9783 | 0.78524 | 0.0352 | 0.7852 | 0.0352 | 0.8107 | 0.0607 |
| 25 | 56.5 | 0.7813 | 0.664 | 0.7467 | 0.0346 | 4.0342 | 0.7805 | 0.0007 | 35.956 | 0.7784 | 0.0029 | 1.9800 | 0.78700 | 0.0057 | 0.7869 | 0.0057 | 0.8121 | 0.0309 |
| 26 | 58.5 | 0.8125 | 0.811 | 0.7914 | 0.0211 | 4.0690 | 0.8164 | 0.0039 | 37.956 | 0.8120 | 0.0005 | 2.0148 | 0.81957 | 0.0071 | 0.8200 | 0.0075 | 0.8381 | 0.0256 |
| 27 | 61   | 0.8438 | 0.995 | 0.8401 | 0.0036 | 4.1109 | 0.8543 | 0.0106 | 40.456 | 0.8480 | 0.0043 | 2.0567 | 0.85395 | 0.0102 | 0.8549 | 0.0112 | 0.8649 | 0.0212 |
| 28 | 64.6 | 0.8750 | 1.260 | 0.8961 | 0.0211 | 4.1682 | 0.8971 | 0.0221 | 44.056 | 0.8895 | 0.0145 | 2.1140 | 0.89289 | 0.0179 | 0.8944 | 0.0194 | 0.8951 | 0.0201 |
| 29 | 69.4 | 0.9063 | 1.613 | 0.9466 | 0.0404 | 4.2399 | 0.9368 | 0.0305 | 48.856 | 0.9292 | 0.0229 | 2.1857 | 0.92963 | 0.0234 | 0.9315 | 0.0252 | 0.9240 | 0.0177 |
| 30 | 77.5 | 0.9375 | 2.208 | 0.9864 | 0.0489 | 4.3503 | 0.9734 | 0.0359 | 56.956 | 0.9680 | 0.0305 | 2.2961 | 0.96557 | 0.0281 | 0.9675 | 0.0300 | 0.9541 | 0.0166 |
| 31 | 84.8 | 0.9688 | 2.745 | 0.9970 | 0.0282 | 4.4403 | 0.9882 | 0.0195 | 64.256 | 0.9849 | 0.0162 | 2.3861 | 0.98186 | 0.0131 | 0.9835 | 0.0148 | 0.9697 | 0.0009 |

*Nota, Elaboración Propia*

La siguiente tabla muestra el resumen de los test de Kolmogorov, a menor delta teórico obtenido, mejor distribución.

**Tabla 17**

*Resumen valores delta mediante prueba de Kolmogorov Smirnov*

| Delta            | Normal       | Log. Normal  | Pearson III  | Log Pearson III | Gumbel       | Log. Gumbel  |
|------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| $\Delta$ Teórico | 0.11486      | 0.0688       | 0.06453      | 0.05740         | 0.05422      | 0.0758       |
| $\Delta$ Tabular | 0.2443       | 0.2443       | 0.2443       | 0.2443          | 0.2443       | 0.2443       |
| Decisión         | Si se Ajusta | Si se Ajusta | Si se Ajusta | Si se Ajusta    | Si se Ajusta | Si se Ajusta |
| Mejor Ajuste     | 6            | 4            | 3            | 2               | 1            | 5            |

*Nota, Elaboración Propia*

En la Tabla 17 se muestran los valores de distribución obtenidos mediante la prueba estadística de Kolmogorov Smirnov, donde se seleccionó el valor de distribución con menor delta calculada o teórica. Este estudio utilizará la distribución de Gumbel con un delta teórico de 0,05422.

### 3.4.3.1.3. CÁLCULO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS

Después de determinar qué distribución debemos utilizar, o cuál es la más parecida a los valores históricos de precipitación, el siguiente paso es encontrar la precipitación máxima en 24 horas y corregirla multiplicando por un factor de 1,13, que es el valor pluviométrico recomendado. Calculado en base al número de mediciones que se pueden realizar en un día.

**Tabla 18**

*Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel*

| N° | Año  | Mes | Precipitación (mm) |              |
|----|------|-----|--------------------|--------------|
|    |      |     | Max. Precip.       | $(xi - x)^2$ |
| 1  | 1992 |     | 42.60              | 23.73        |
| 2  | 1993 | -   | 47.90              | 0.18         |
| 3  | 1994 | -   | 27.20              | 410.91       |

|           |      |             |               |               |
|-----------|------|-------------|---------------|---------------|
| 4         | 1995 | -           | 41.20         | 39.33         |
| 5         | 1996 | -           | 37.90         | 91.60         |
| 6         | 1997 | -           | 40.60         | 47.21         |
| 7         | 1998 | -           | 40.70         | 45.85         |
| 8         | 1999 | -           | 58.50         | 121.64        |
| 9         | 2000 | -           | 56.40         | 79.73         |
| 10        | 2001 | -           | 44.50         | 8.83          |
| 11        | 2002 | -           | 51.30         | 14.66         |
| 12        | 2003 | -           | 48.30         | 0.69          |
| 13        | 2004 | -           | 40.00         | 55.82         |
| 14        | 2005 | -           | 69.40         | 480.88        |
| 15        | 2006 | -           | 28.80         | 348.61        |
| 16        | 2007 | -           | 48.50         | 1.06          |
| 17        | 2008 | -           | 77.50         | 901.74        |
| 18        | 2009 | -           | 35.10         | 153.04        |
| 19        | 2010 | -           | 44.60         | 8.24          |
| 20        | 2011 | -           | 56.50         | 81.52         |
| 21        | 2012 | -           | 61.00         | 183.03        |
| 22        | 2013 | -           | 64.60         | 293.40        |
| 23        | 2014 | -           | 42.70         | 22.76         |
| 24        | 2015 | -           | 31.60         | 251.89        |
| 25        | 2016 | -           | 39.50         | 63.54         |
| 26        | 2017 | -           | 50.70         | 10.43         |
| 27        | 2018 | -           | 36.70         | 116.01        |
| 28        | 2019 | -           | 50.50         | 9.18          |
| 29        | 2020 | -           | 84.80         | 1393.46       |
| 30        | 2021 | -           | 32.50         | 224.13        |
| 31        | 2022 | -           | 39.50         | 63.54         |
| <b>31</b> |      | <b>Suma</b> | <b>1471.6</b> | <b>5546.6</b> |

**Tabla 19**

*Precipitaciones máximas anuales en 24 horas de la estación El Pintor mediante el método de Gumbel.*

| <b>Tr</b>   | <b>Variable</b> | <b>Precip.</b> | <b>Prob. de</b>   | <b>Corrección</b> |
|-------------|-----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| <b>Años</b> | <b>Reducida</b> | <b>(mm)</b>    | <b>ocurrencia</b> | <b>intervalo</b>  |
|             | <b>YT</b>       | <b>XT'(mm)</b> | <b>F(xT)</b>      | <b>fijo</b>       |
|             |                 |                |                   | <b>XT (mm)</b>    |
| <b>50</b>   | 3.9019          | 82.7192        | 0.9800            | 93.47             |
| <b>100</b>  | 4.6001          | 90.1215        | 0.9900            | 101.84            |
| <b>250</b>  | 5.5195          | 99.8678        | 0.9960            | 112.85            |

|             |        |          |        |        |
|-------------|--------|----------|--------|--------|
| <b>500</b>  | 6.2136 | 107.2270 | 0.9980 | 121.17 |
| <b>1000</b> | 6.9073 | 114.5809 | 0.9990 | 129.48 |

#### 3.4.3.1.4. ELABORACIÓN DE CURVAS IDF

Aplicando la formula DYCK Y PESCHKE podremos completar el registro diario en función de la precipitación en 24 horas.

**Tabla 20**

*Tabla de precipitaciones para diferentes horas menores a 24 horas*

| Duración<br>(Minutos) | Precipitación en 24 horas (mm) |        |        |        |        |
|-----------------------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                       | 93.47                          | 101.84 | 112.85 | 121.17 | 129.48 |
|                       | Periodo de Retorno (Años)      |        |        |        |        |
|                       | 50                             | 100    | 250    | 500    | 1000   |
|                       | Precipitación (mm)             |        |        |        |        |
| 5                     | 22.69                          | 24.72  | 27.39  | 29.41  | 31.43  |
| 10                    | 26.98                          | 29.40  | 32.58  | 34.98  | 37.38  |
| 15                    | 29.86                          | 32.53  | 36.05  | 38.71  | 41.36  |
| 20                    | 32.09                          | 34.96  | 38.74  | 41.60  | 44.45  |
| 25                    | 33.93                          | 36.97  | 40.96  | 43.98  | 47.00  |
| 30                    | 35.51                          | 38.69  | 42.87  | 46.03  | 49.19  |
| 35                    | 36.91                          | 40.21  | 44.56  | 47.84  | 51.12  |
| 40                    | 38.16                          | 41.57  | 46.07  | 49.47  | 52.86  |
| 45                    | 39.30                          | 42.82  | 47.45  | 50.94  | 54.44  |
| 50                    | 40.35                          | 43.96  | 48.71  | 52.30  | 55.89  |
| 55                    | 41.32                          | 45.02  | 49.89  | 53.57  | 57.24  |
| 60                    | 42.23                          | 46.01  | 50.99  | 54.74  | 58.50  |
| 120                   | 50.22                          | 54.72  | 60.63  | 65.10  | 69.57  |
| 180                   | 55.58                          | 60.55  | 67.10  | 72.05  | 76.99  |
| 240                   | 59.72                          | 65.07  | 72.11  | 77.42  | 82.73  |
| 300                   | 63.15                          | 68.80  | 76.24  | 81.86  | 87.47  |
| 360                   | 66.10                          | 72.01  | 79.80  | 85.68  | 91.55  |
| 420                   | 68.69                          | 74.84  | 82.93  | 89.04  | 95.15  |
| 480                   | 71.02                          | 77.38  | 85.75  | 92.07  | 98.38  |
| 540                   | 73.15                          | 79.69  | 88.31  | 94.82  | 101.32 |
| 600                   | 75.10                          | 81.82  | 90.67  | 97.35  | 104.03 |
| 660                   | 76.91                          | 83.79  | 92.85  | 99.70  | 106.53 |
| 720                   | 78.60                          | 85.63  | 94.90  | 101.89 | 108.88 |

|             |              |               |               |               |               |
|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 780         | 80.19        | 87.37         | 96.81         | 103.95        | 111.08        |
| 840         | 81.69        | 89.00         | 98.62         | 105.89        | 113.15        |
| 900         | 83.11        | 90.55         | 100.34        | 107.73        | 115.12        |
| 960         | 84.46        | 92.02         | 101.97        | 109.49        | 117.00        |
| 1020        | 85.75        | 93.43         | 103.53        | 111.16        | 118.78        |
| 1080        | 86.99        | 94.77         | 105.02        | 112.76        | 120.49        |
| 1140        | 88.17        | 96.06         | 106.45        | 114.29        | 122.13        |
| 1200        | 89.31        | 97.30         | 107.82        | 115.77        | 123.71        |
| 1260        | 90.40        | 98.49         | 109.15        | 117.19        | 125.23        |
| 1320        | 91.46        | 99.65         | 110.42        | 118.56        | 126.69        |
| 1380        | 92.48        | 100.76        | 111.66        | 119.88        | 128.11        |
| <b>1440</b> | <b>93.47</b> | <b>101.84</b> | <b>112.85</b> | <b>121.17</b> | <b>129.48</b> |

*Nota, Elaboración Propia*

A partir de estas precipitaciones obtenemos la tabla de intensidades

**Tabla 21**

*Intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas*

| Duracion<br>(Horas) | Duracion<br>(min) | Periodo de Retorno (Años) |        |        |        |         |
|---------------------|-------------------|---------------------------|--------|--------|--------|---------|
|                     |                   | 50.00                     | 100.00 | 250.00 | 500.00 | 1000.00 |
| Intensidad (mm/hr)  |                   |                           |        |        |        |         |
| <b>0.083</b>        | 5                 | 272.28                    | 296.65 | 328.73 | 352.95 | 377.16  |
| <b>0.167</b>        | 10                | 161.90                    | 176.39 | 195.46 | 209.87 | 224.26  |
| <b>0.250</b>        | 15                | 119.45                    | 130.14 | 144.21 | 154.84 | 165.46  |
| <b>0.333</b>        | 20                | 96.27                     | 104.88 | 116.22 | 124.79 | 133.35  |
| <b>0.417</b>        | 25                | 81.43                     | 88.72  | 98.31  | 105.56 | 112.80  |
| <b>0.500</b>        | 30                | 71.02                     | 77.38  | 85.75  | 92.07  | 98.38   |
| <b>0.583</b>        | 35                | 63.27                     | 68.93  | 76.39  | 82.01  | 87.64   |
| <b>0.667</b>        | 40                | 57.24                     | 62.36  | 69.11  | 74.20  | 79.29   |
| <b>0.750</b>        | 45                | 52.40                     | 57.09  | 63.26  | 67.93  | 72.58   |
| <b>0.833</b>        | 50                | 48.42                     | 52.75  | 58.46  | 62.76  | 67.07   |
| <b>0.917</b>        | 55                | 45.08                     | 49.11  | 54.42  | 58.43  | 62.44   |
| <b>1.000</b>        | 60                | 42.23                     | 46.01  | 50.99  | 54.74  | 58.50   |
| <b>2.000</b>        | 120               | 25.11                     | 27.36  | 30.32  | 32.55  | 34.78   |
| <b>3.000</b>        | 180               | 18.53                     | 20.18  | 22.37  | 24.02  | 25.66   |
| <b>4.000</b>        | 240               | 14.93                     | 16.27  | 18.03  | 19.35  | 20.68   |
| <b>5.000</b>        | 300               | 12.63                     | 13.76  | 15.25  | 16.37  | 17.49   |
| <b>6.000</b>        | 360               | 11.02                     | 12.00  | 13.30  | 14.28  | 15.26   |
| <b>7.000</b>        | 420               | 9.81                      | 10.69  | 11.85  | 12.72  | 13.59   |
| <b>8.000</b>        | 480               | 8.88                      | 9.67   | 10.72  | 11.51  | 12.30   |
| <b>9.000</b>        | 540               | 8.13                      | 8.85   | 9.81   | 10.54  | 11.26   |

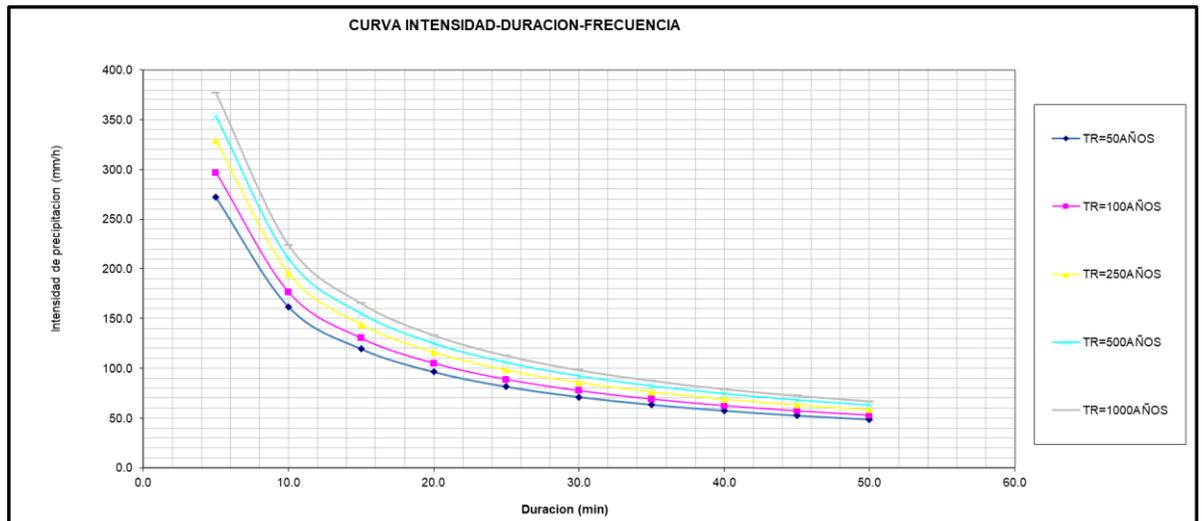
|               |      |      |      |      |      |       |
|---------------|------|------|------|------|------|-------|
| <b>10.000</b> | 600  | 7.51 | 8.18 | 9.07 | 9.73 | 10.40 |
| <b>11.000</b> | 660  | 6.99 | 7.62 | 8.44 | 9.06 | 9.68  |
| <b>12.000</b> | 720  | 6.55 | 7.14 | 7.91 | 8.49 | 9.07  |
| <b>13.000</b> | 780  | 6.17 | 6.72 | 7.45 | 8.00 | 8.54  |
| <b>14.000</b> | 840  | 5.83 | 6.36 | 7.04 | 7.56 | 8.08  |
| <b>15.000</b> | 900  | 5.54 | 6.04 | 6.69 | 7.18 | 7.67  |
| <b>16.000</b> | 960  | 5.28 | 5.75 | 6.37 | 6.84 | 7.31  |
| <b>17.000</b> | 1020 | 5.04 | 5.50 | 6.09 | 6.54 | 6.99  |
| <b>18.000</b> | 1080 | 4.83 | 5.27 | 5.83 | 6.26 | 6.69  |
| <b>19.000</b> | 1140 | 4.64 | 5.06 | 5.60 | 6.02 | 6.43  |
| <b>20.000</b> | 1200 | 4.47 | 4.86 | 5.39 | 5.79 | 6.19  |
| <b>21.000</b> | 1260 | 4.30 | 4.69 | 5.20 | 5.58 | 5.96  |
| <b>22.000</b> | 1320 | 4.16 | 4.53 | 5.02 | 5.39 | 5.76  |
| <b>23.000</b> | 1380 | 4.02 | 4.38 | 4.85 | 5.21 | 5.57  |
| <b>24.000</b> | 1440 | 3.89 | 4.24 | 4.70 | 5.05 | 5.39  |

Nota, Elaboración Propia

Al obtener intensidades de diseño cuya duración es inferior a 24 horas, se procede a ordenar en una tabla con la finalidad de aplicar el método de regresión lineal.

**Figura 30.**

*Curvas IDF. Elaboración propia*



**Tabla 22***Cálculo de las constantes para curvas IDF, mediante regresión lineal múltiple***Resumen**

| <i>Estadísticas de la regresión</i>          |            |
|--|------------|
| Coefficiente de correlación múltiple         | 0.99999036 |
| Coefficiente de determinación R <sup>2</sup> | 0.99998072 |
| R <sup>2</sup> ajustado                      | 0.99998049 |
| Error típico                                 | 0.00241889 |
| Observaciones                                | 175        |

*Nota, Elaboración Propia***Tabla 23***Cálculo de las constantes para curvas IDF, Análisis de Varianza***ANÁLISIS DE VARIANZA**

|              | <i>Grados de libertad</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Promedio de los cuadrados</i> | <i>F</i>            | <i>Valor crítico de F</i> |                     |                       |                       |  |
|--------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Regresión    | 2                         | 52.18481                 | 26.092405                        | 4459466.6           | 0                         |                     |                       |                       |  |
| Residuos     | 172                       | 0.0010064                | 5.851E-06                        |                     |                           |                     |                       |                       |  |
| Total        | 174                       | 52.185816                |                                  |                     |                           |                     |                       |                       |  |
|              | <i>Coefficientes</i>      | <i>Error típico</i>      | <i>Estadístico t</i>             | <i>Probabilidad</i> | <i>Inferior 95%</i>       | <i>Superior 95%</i> | <i>Inferior 95.0%</i> | <i>Superior 95.0%</i> |  |
| Intercepción | 2.777                     | 0.001                    | 2502.027                         | 0.000               | 2.775                     | 2.780               | 2.775                 | 2.780                 |  |
| Variable X 1 | -0.750                    | 0.000                    | -2973.497                        | 0.000               | -0.750                    | -0.750              | -0.750                | -0.750                |  |
| Variable X 2 | 0.109                     | 0.000                    | 277.933                          | 0.000               | 0.108                     | 0.109               | 0.108                 | 0.109                 |  |

*Nota, Elaboración Propia***Tabla 24.***Constante de regresión múltiple*

|   |          |
|---|----------|
| K | 598.9674 |
| m | 0.1087   |
| n | 0.750    |

*Nota, Elaboración Propia*

### 3.4.4. CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS

#### 3.4.4.1. CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN LA CUENCA

**Tabla 25**

*Cálculo del tiempo de concentración*

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| <b>Longitud del cauce más largo</b> | 4800 m |
| <b>Punto más bajo</b>               | 444 m  |
| <b>Punto más alto de la cuenca</b>  | 1240 m |

**Tiempo de Concentración** 26.61 minutos –

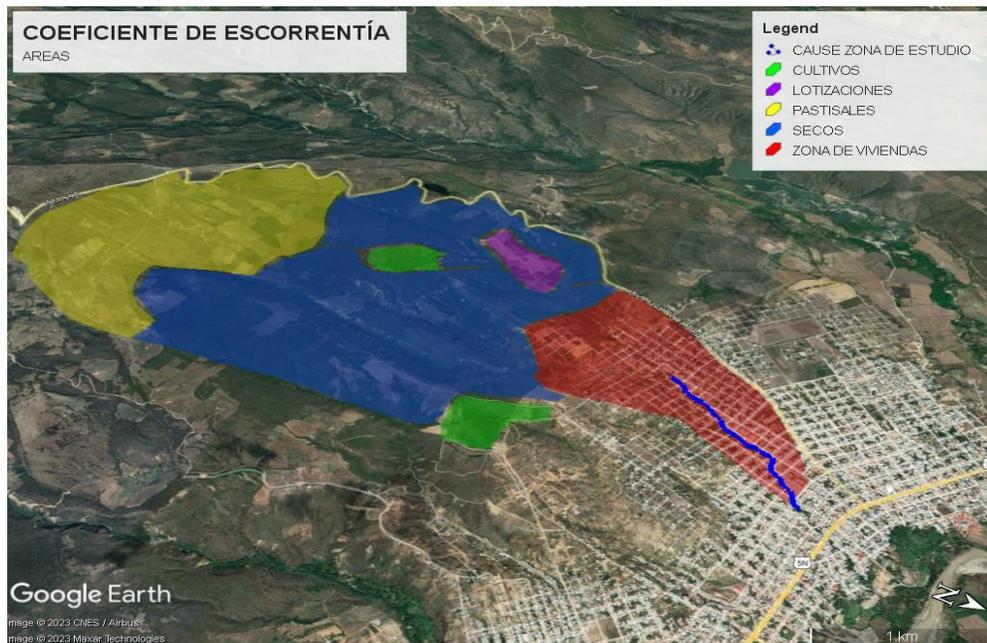
*Nota, Elaboración Propia*

#### 3.4.4.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.

Como el coeficiente de escorrentía (C), utilizamos las tablas descritas anteriormente.

**Figura 31**

*Coeficiente de escorrentía*



*Nota, Obtenido de Google Earth*

**Tabla 26***Coefficiente de escorrentía*

| CLASIFICACION                                   | COEFICIENTE DE ESCORRENTIA "C" | AREA km2 "A" | "C" X |
|---|--------------------------------|--------------|-------|
| PRADERA PENDIENTE <10%                          | 0.60                           | 2.38         | 1.43  |
| BOSQUE ONDULADO ARCILLA PESADA                  | 0.50                           | 4.76         | 2.38  |
| AREA DE CULTIVOS ONDULADO                       | 0.70                           | 0.35         | 0.25  |
| AREA SEMI URBANA                                | 0.85                           | 0.21         | 0.18  |
| AREA URBANA CONCRETO                            | 0.95                           | 1.70         | 1.62  |
| <b>TOTAL</b>                                    |                                | 9.40         | 5.85  |
| <b>COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO "C"</b> | =                              | 0.62         |       |

*Nota, elaboración propia***3.4.4.3. CAUDALES DE DISEÑO**

Cálculo de los caudales mediante el método racional.

**Tabla 27***Caudales para diferentes avenidas máximas.*

| Periodo de Retorno | Intensidad mm/h | Coefficiente de escorrentia C | Q (m3/s)      |
|--------------------|-----------------|-------------------------------|---------------|
| T= 50              | 78.226          | 0.620                         | <b>127.14</b> |
| T= 100             | 84.349          | 0.620                         | <b>136.66</b> |
| T= 250             | 93.185          | 0.620                         | <b>151.56</b> |
| T= 500             | 100.479         | 0.620                         | <b>163.31</b> |
| T= 1000            | 108.343         | 0.620                         | <b>175.54</b> |

*Nota, Elaboración Propia*

### 3.4.5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON SOFTWARE HEC-RAS.

#### 3.4.5.1. TOPOGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

##### PUNTOS DE CONTROL DE VUELO

La topografía para el presente trabajo de investigación se realizó con dron, para ello se tomó puntos de control de vuelo con estación total.

##### **Figura 32.**

*Colocación de puntos de control de vuelo con estación total.*



Nota, Elaboración propia.

**Figura 33.**

*Toma de puntos de control con estación total.*



Nota, elaboración propia.

**Tabla 28**

*Puntos de control de vuelo del área de estudio.*

| N° | Norte      | Este       | Elevación | Descripción |
|----|------------|------------|-----------|-------------|
| 1  | 9361378.1  | 782489.44  | 503.94    | e1          |
| 2  | 9361354.53 | 782534.77  | 500.33    | PCV01       |
| 3  | 9361356.35 | 782531.38  | 498.618   | PCV02       |
| 4  | 9361356.34 | 782531.404 | 498.616   | PCV03       |
| 5  | 9361294.13 | 782670.873 | 482.949   | PCV04       |
| 6  | 9361374.64 | 782652.631 | 479.357   | PCV05       |
| 7  | 9361421.17 | 782639.392 | 477.648   | PCV06       |
| 8  | 9361514.48 | 782601.043 | 473.761   | PCV07       |
| 9  | 9361514.48 | 782600.976 | 473.651   | PCV08       |
| 10 | 9361630.77 | 782608.944 | 469.534   | PCV09       |
| 11 | 9361773.19 | 782464.858 | 464.457   | e2          |
| 12 | 9361826.94 | 782467.313 | 464.114   | PCV010      |
| 13 | 9361826.94 | 782467.313 | 464.156   | PCV011      |
| 14 | 9361802.72 | 782520.111 | 462.028   | PCV012      |

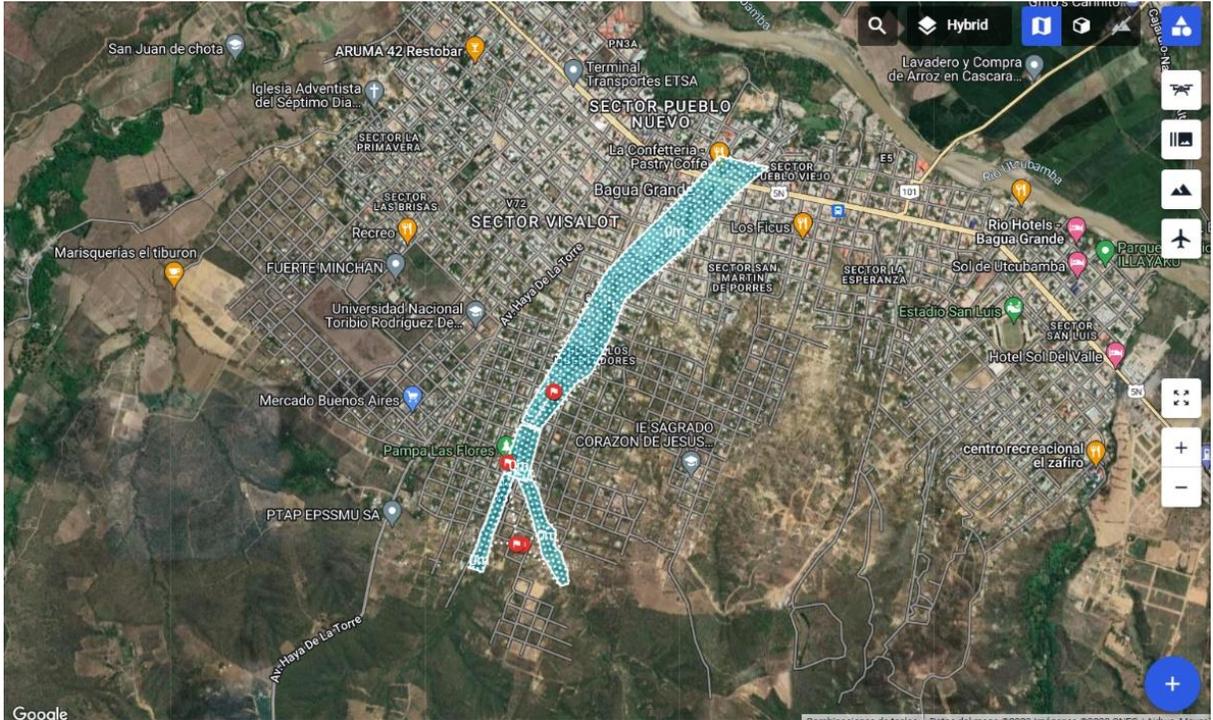
|    |            |            |         |        |
|----|------------|------------|---------|--------|
| 15 | 9361694.21 | 782421.821 | 468.278 | PCV013 |
| 16 | 9361676.15 | 782412.719 | 469.148 | PCV014 |
| 17 | 9361554.88 | 782355.574 | 475.1   | PCV015 |
| 18 | 9361458.22 | 782314.661 | 479.791 | PCV016 |
| 19 | 9361392.83 | 782281.052 | 487.11  | PCV017 |
| 20 | 9361848.15 | 782497.363 | 461.592 | PCV018 |
| 21 | 9361894.26 | 782522.851 | 460.001 | PCV019 |
| 22 | 9361946.89 | 782548.508 | 459.71  | PCV020 |
| 23 | 9361972.77 | 782560.951 | 459     | PCV021 |
| 24 | 9361997.19 | 782578.608 | 457.707 | PCV022 |
| 25 | 9361773.16 | 782464.842 | 464.528 | PCV023 |
| 26 | 9361773.17 | 782464.844 | 464.527 | PCV024 |
| 27 | 9361956.82 | 782644     | 453.206 | e4     |
| 28 | 9361997.21 | 782578.565 | 457.78  | e3     |
| 29 | 9362039.13 | 782685.627 | 450.606 | PCV025 |
| 30 | 9362068.45 | 782701.33  | 449.64  | PCV026 |
| 31 | 9362142.96 | 782738.665 | 447.599 | PCV027 |
| 32 | 9362214.71 | 782766.76  | 446.559 | PCV028 |
| 33 | 9362285.68 | 782801.866 | 445.216 | e5     |
| 34 | 9362247.01 | 782788.201 | 445.644 | aux2   |
| 35 | 9362246.99 | 782788.191 | 445.654 | e5     |
| 36 | 9362244.37 | 782875.461 | 441.747 | PCV029 |
| 37 | 9362285.65 | 782801.917 | 445.264 | e5     |
| 38 | 9362243.56 | 782883.64  | 441.619 | PCV030 |

## **PROCESAMIENTO DE FOTOGRAMETRÍA**

Una vez colocado los puntos de control de vuelo se procede a realizar un plan de vuelo, para de esa forma tomar fotografías aéreas de forma detallada del área de estudio.

**Figura 34.**

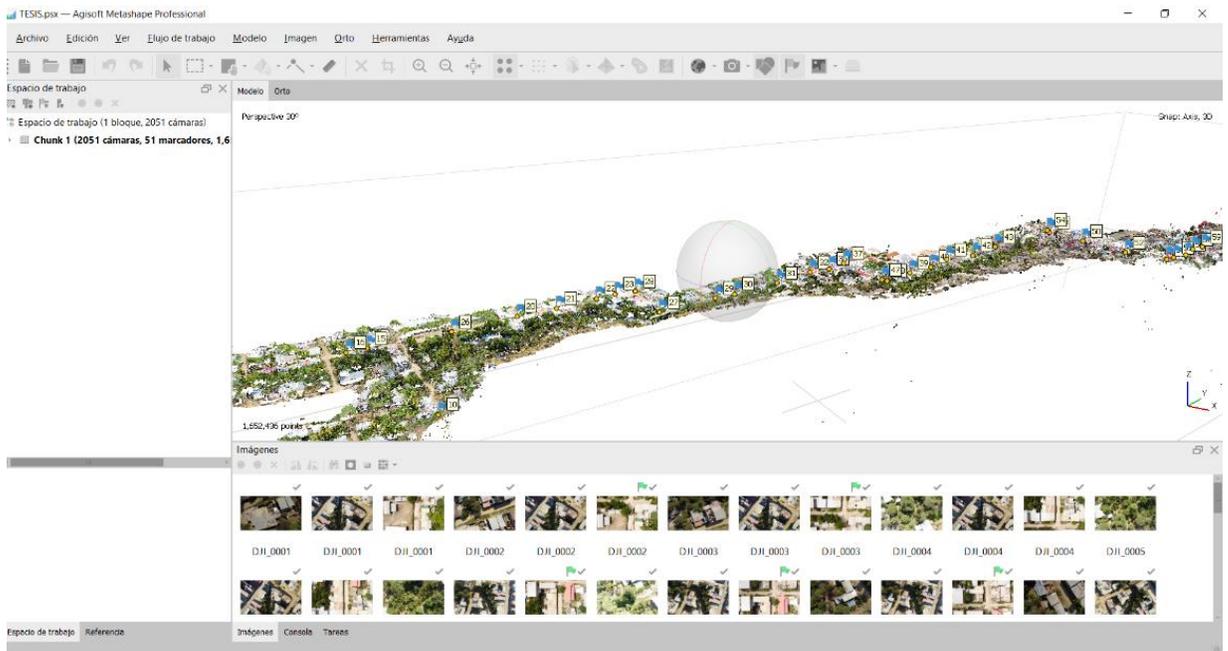
*Plan de vuelo, para fotogrametría con dron.*



*Nota, Elaboración propia.*

**Figura 35**

*Procesamiento de fotografías para obtener modelo digital de elevaciones.*



*Nota, Elaboración propia.*

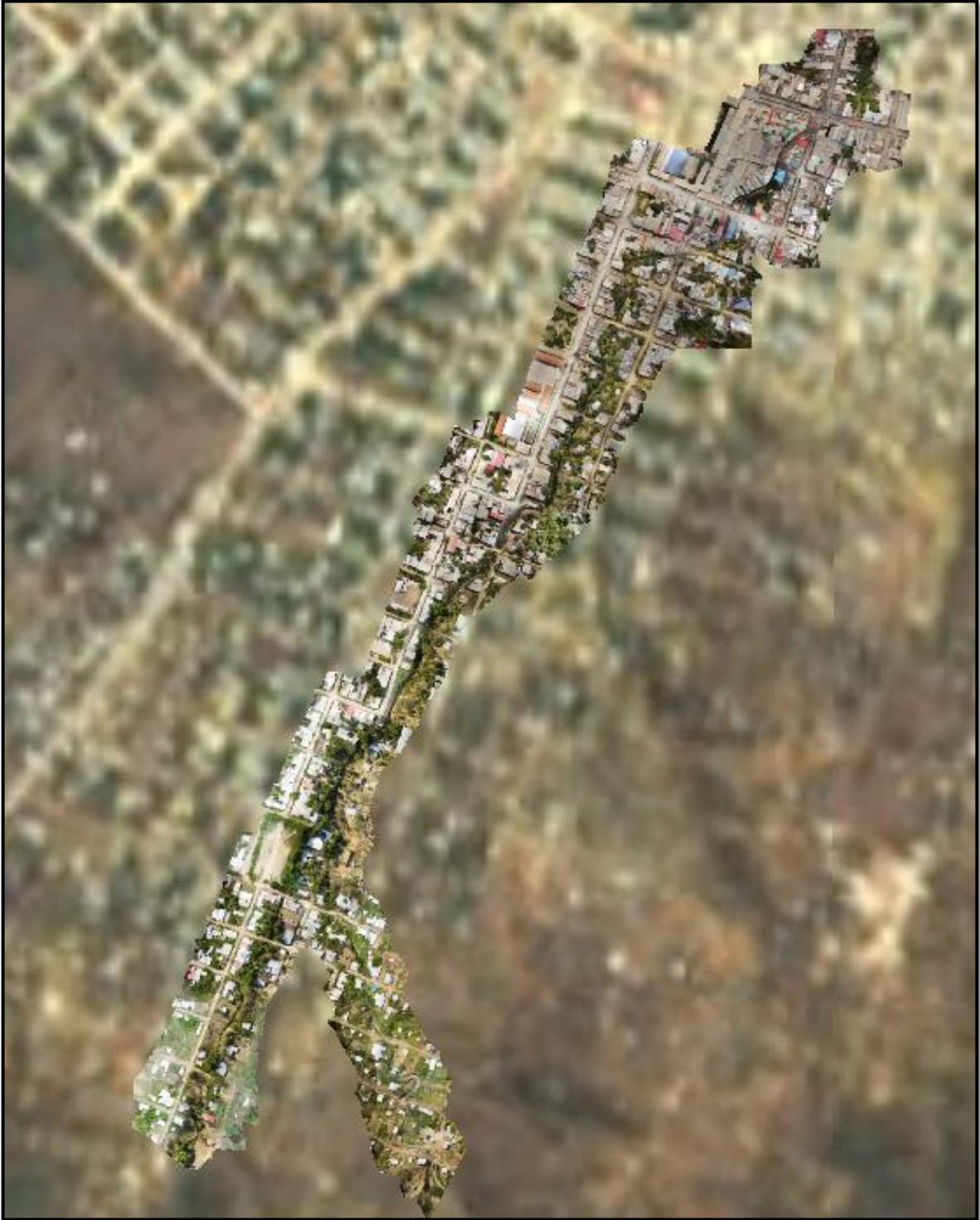
**Figura 36**

*Modelo digital de elevaciones, obtenido a partir de la fotogrametría.*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 37**  
*Ortofoto, obtenido a partir de la fotogrametría.*



*Nota, Elaboración propia*

### **3.4.5.2.MODELOS HIDRÁULICOS EN EL SOFTWARE HEC-RAS.**

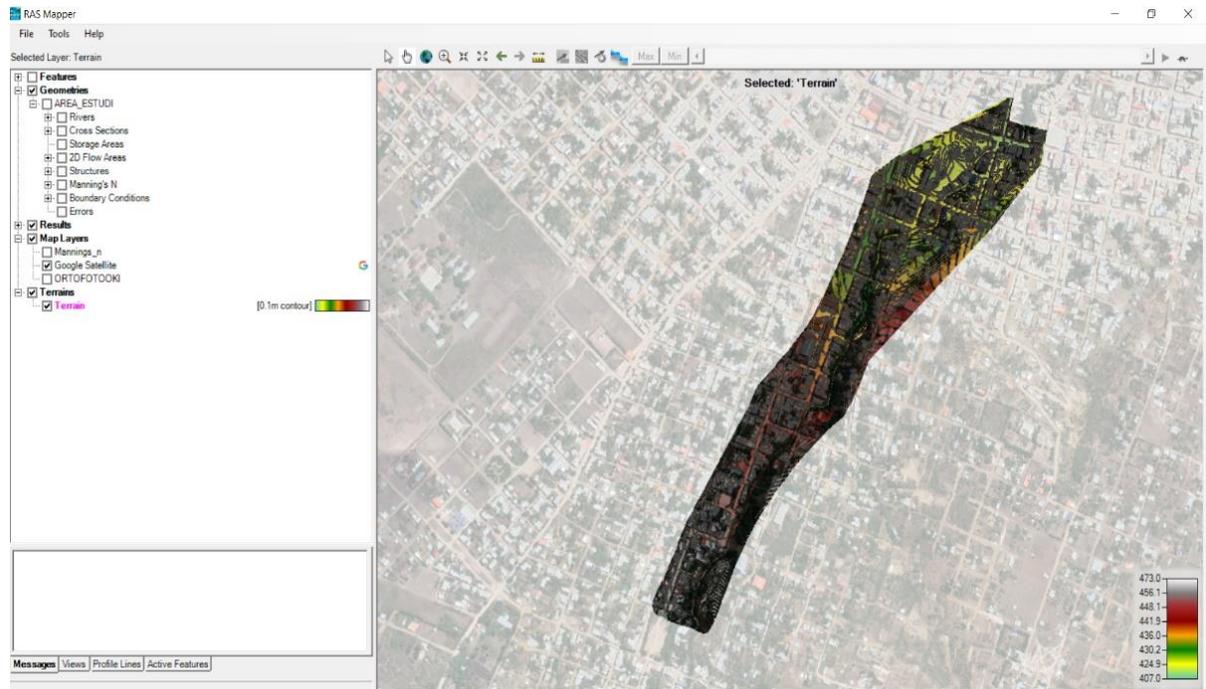
Para el modelamiento hidráulico necesitamos, los datos obtenidos anteriormente, tales como topográfica y caudales máximos de diseño (avenidas máximas).

El software simula el flujo natural de los ríos en un estado estable que cambia gradualmente para determinar los niveles de agua a diferentes caudales.

- El caudal en todo el tramo es uniforme y no existen variaciones. Si se consideran diferentes caudales para un solo tramo, este debe subdividirse.
- La pendiente del canal es menor al 10% debido a que HEC-RAS no considera el peso del agua por gravedad. Este hecho afecta a pendientes mayores.
- Las pérdidas y la pendiente de energía se calculan con la ecuación de Manning.
- El régimen del flujo puede ser subcrítico, supercrítico o una mezcla de ambos. Si se considera el primero, las condiciones de borde deben considerarse aguas abajo; si se considera el segundo, deben considerarse aguas arriba; si es mixto, ambas condiciones.

**Figura 38.**

*Modelo digital de elevaciones, insertado en el software Hec-Ras*

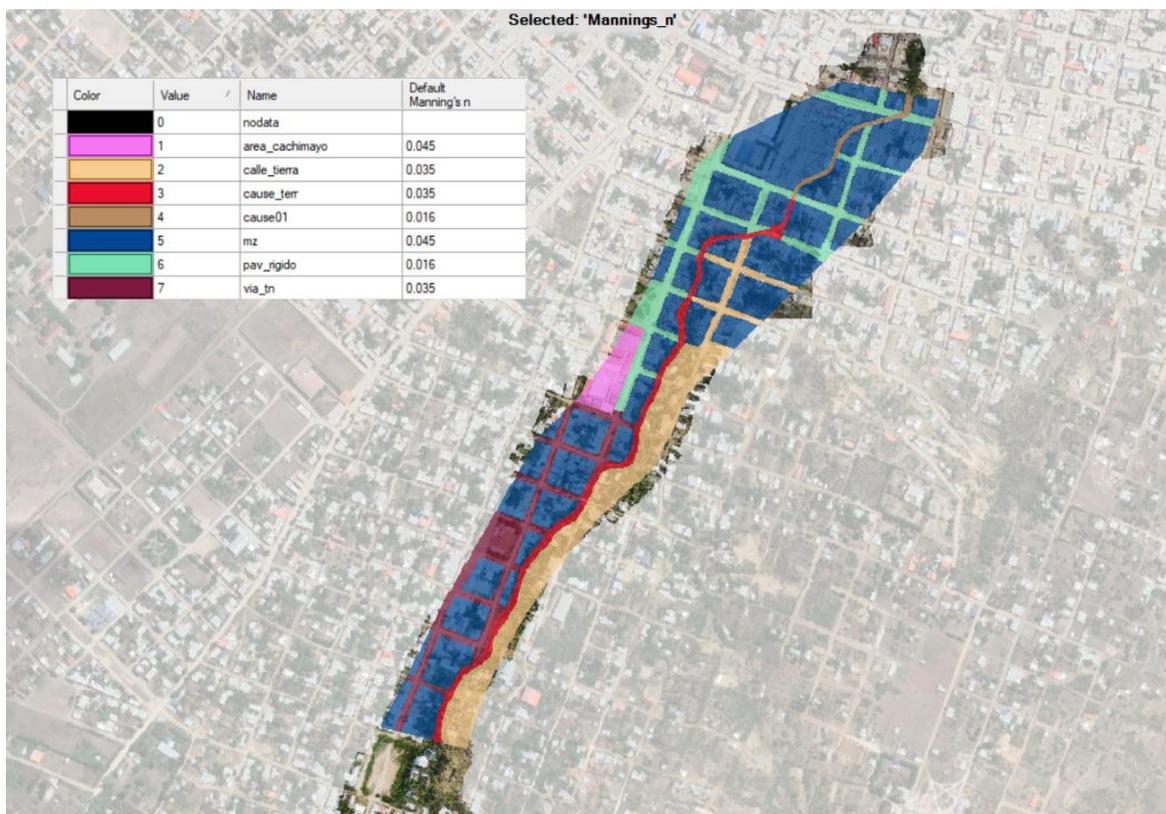


*Nota, Elaboración propia.*

La información topográfica tiene formato shape y está referenciada en el sistema de proyección UTM 17S y Datum WGS1984, la cual posee una resolución espacial de 0.5 metros entre curvas de nivel. El procesamiento geoespacial requirió la topografía en formato TIF.

**Figura 39.**

*Coeficiente de rugosidad de Manning en zona de estudio cuenca de la quebrada Cachimayo*



*Nota, Elaboración propia.*

**Tabla 29**

*Coeficiente de rugosidad de Manning*

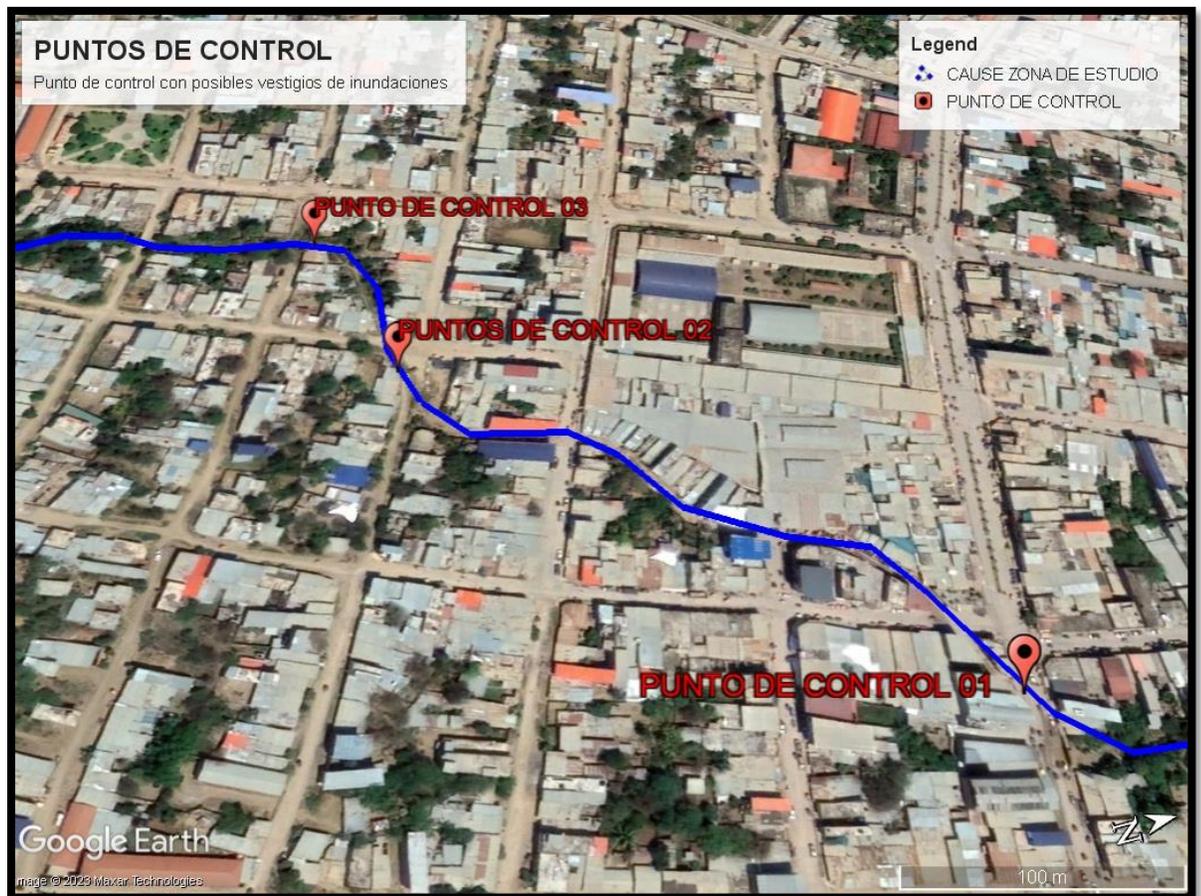
| <b>Descripción</b>             | <b>n de Manning</b> |
|--------------------------------|---------------------|
| Área Cachimayo                 | 0.045               |
| Calle sin pavimentar           | 0.035               |
| Cause de la quebrada Cachimayo | 0.035               |
| Cause y vías pavimentadas      | 0.016               |
| Zona urbana no pavimentada     | 0.045               |

### 3.4.5.3. ESTIMACIÓN DE LA MÁXIMA AVENIDA REGISTRADA SEGÚN VESTIGIOS ENCONTRADOS EN CAMPO

Para una estimación de caudal máximo acorde a la realidad se realizó una búsqueda de vestigios en anteriores inundaciones en nuestra área de estudio, asimismo se entrevistó con los pobladores para tener una idea clara de los tirantes registrados en el último suceso excepcionales.

**Figura 40**

*Ubicación de puntos de control con vestigios de inundaciones encontrados*



*Nota, Elaboración propia.*

### Figura 41

*Vestigios en el punto de control 01, los cuales fueron digitalizados en el año 2015.*



*Nota.* Noticieros locales digitalizaron, y nos dejaron una idea clara de cuando pudo haber crecido el tirante máximo.

**Figura 42**

*Poblador señalando que el agua llego hasta el nivel de ventana en el Punto de control 02.*



**Figura 43.**

*Medida de vestigios en el punto de control 03*



*Nota.* Entrevistando a pobladores sostuvieron que la mancha que se aprecia en la pared tenuemente, es la marca que dejó la quebrada Cachimayo el pasado 30 de marzo del 2015. Elaboración propia.

Tomando estos vestigios recolectados en campo, se empezó a calcular un caudal de forma tentativa con la ayuda del software Hec-Ras.

**Tabla 30**

*Tirante de agua observado en cada punto de control*

| <b>Punto de control</b> | <b>Tirante observado</b> |
|-------------------------|--------------------------|
| P - 1                   | 1.58m                    |
| P - 2                   | 1.76m                    |
| P - 3                   | 2.90m                    |

**MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL ESCENARIO 01, TR=100AÑOS  
Q=136.66 M3/S.**

Para el modelamiento hidráulico se utilizó un caudal máximo calculado de 136.66m<sup>3</sup>/s, en el cual se evidencia la inundación de varias zonas de nuestra área de estudio, las cuales será descritas más adelante.

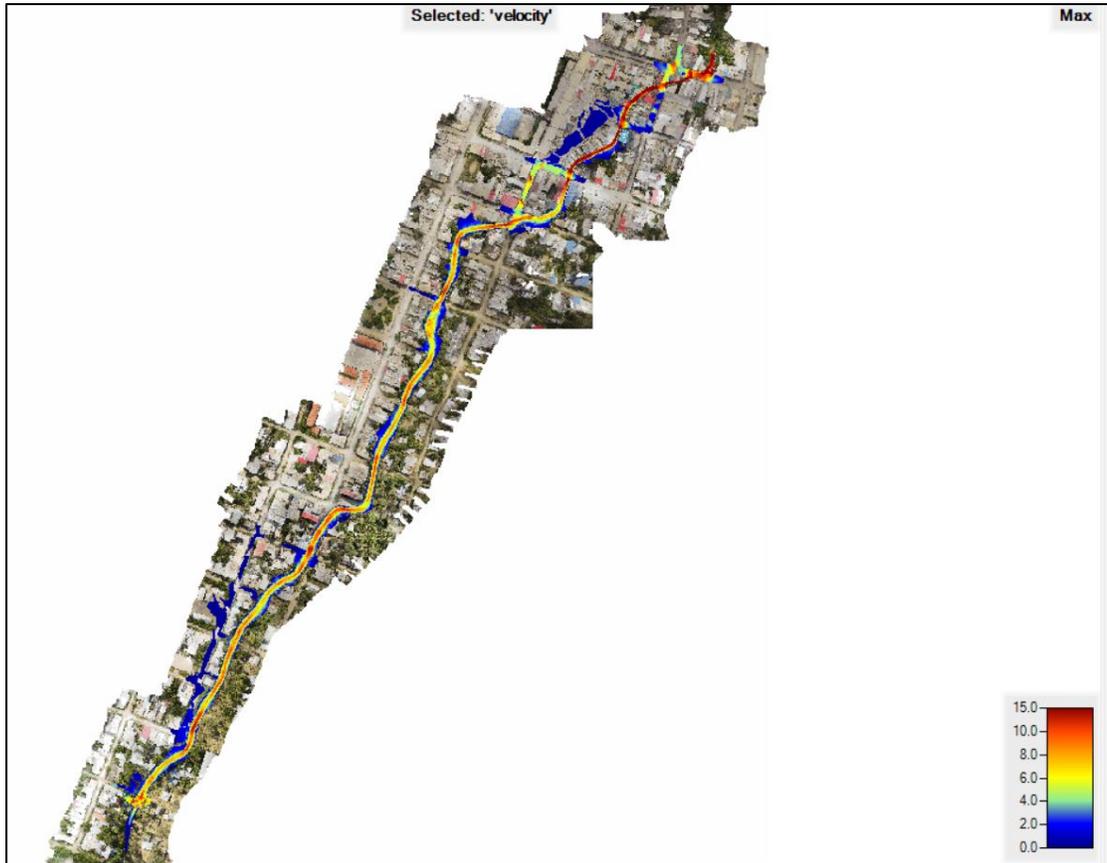
**Figura 44**

*Áreas inundables para un TR=100 años*



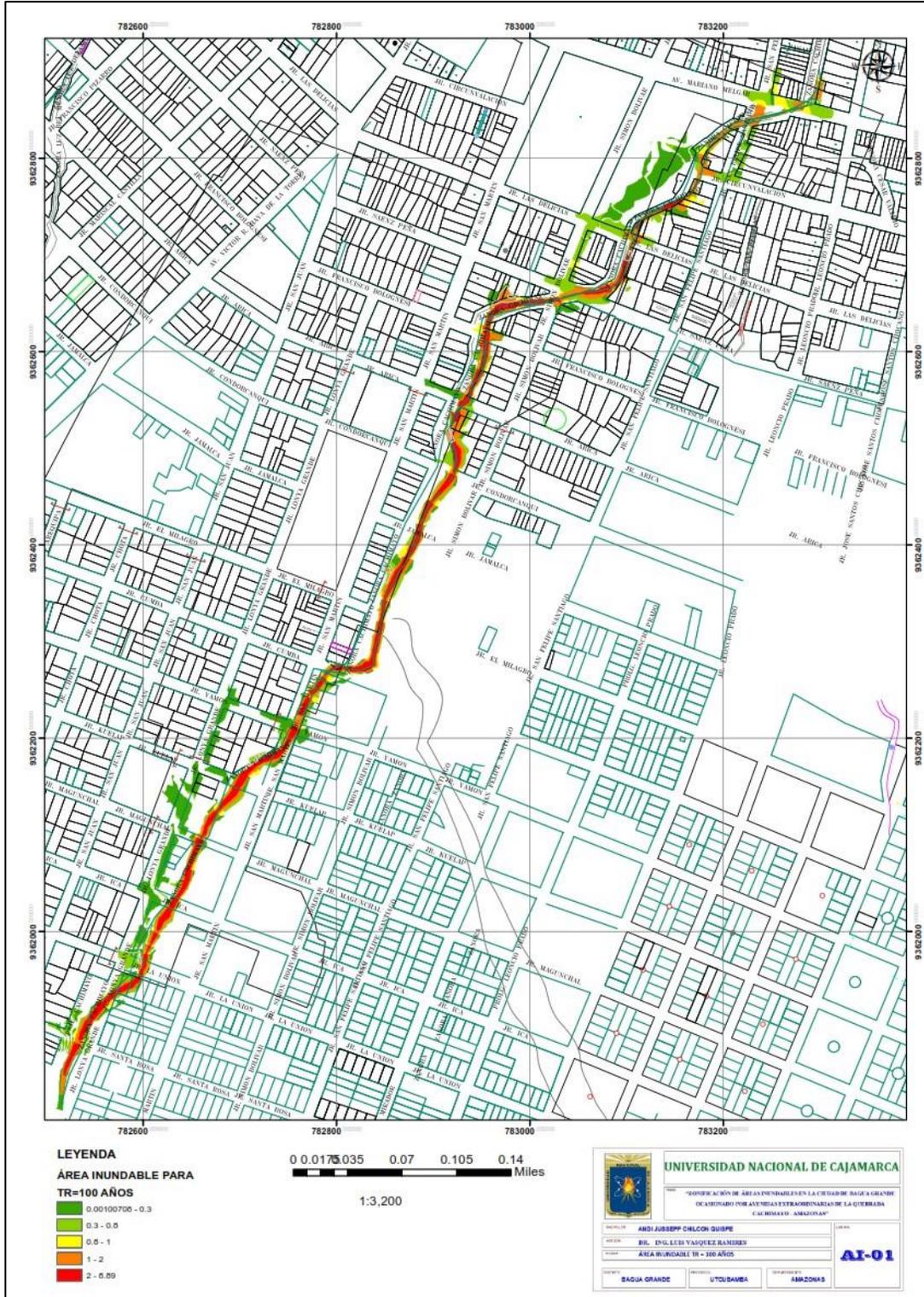
**Figura 45**

*Velocidades de flujo alcanzadas para un TR=100 años*



**Figura 46**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 100 años, delimitado por profundidades alcanzadas.*



## MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL ESCENARIO 02, TR=250AÑOS, Q=151.56M3/S.

Para el modelamiento con Tr=250años se utilizó un caudal máximo calculado de 151.66m<sup>3</sup>/s, en el cual se evidencia la inundación de varias zonas de nuestra área de estudio, las cuales serán descritas más adelante.

### Figura 47

*Áreas inundables para un TR=250 años*



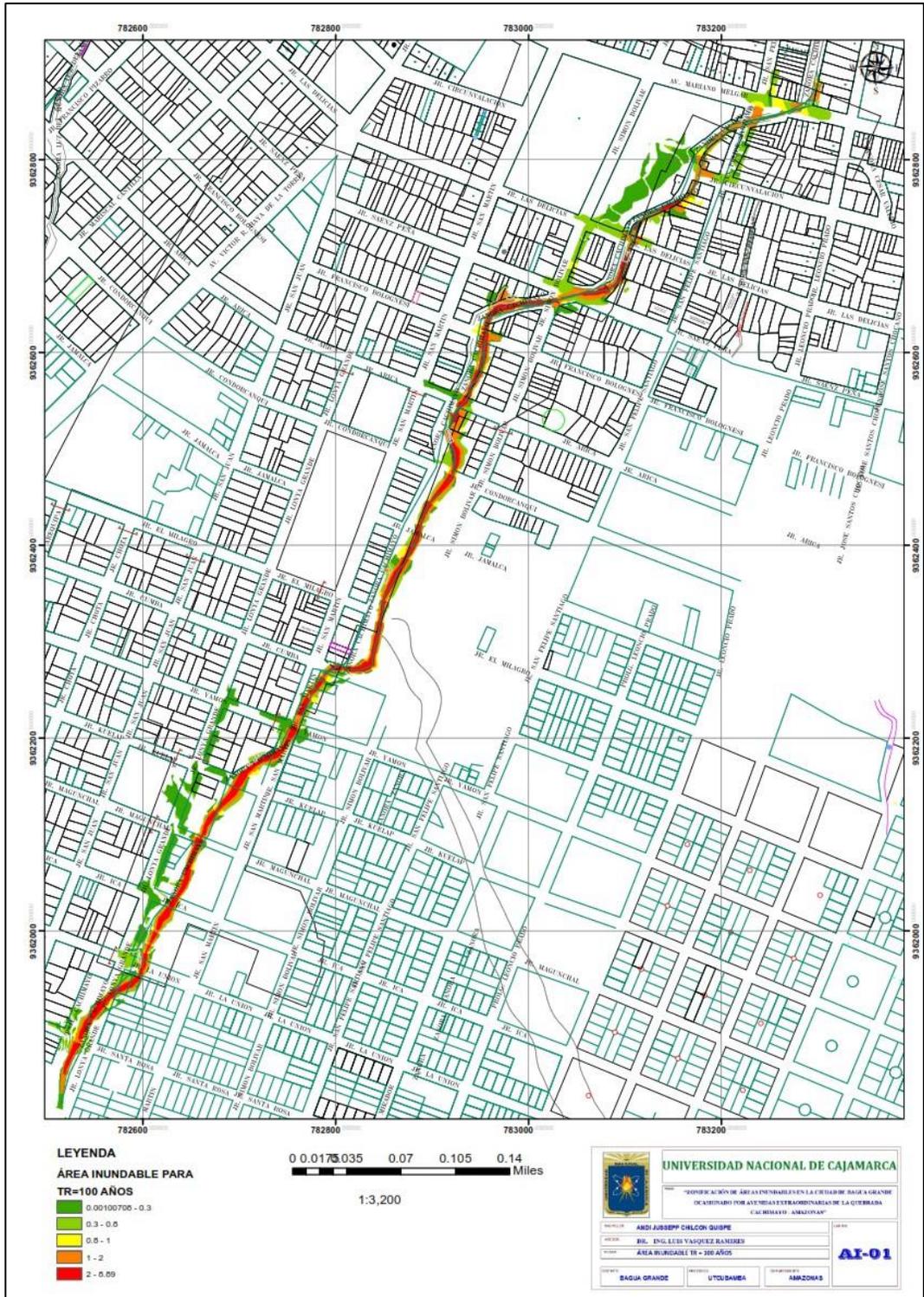
**Figura 48**

*Velocidades de flujo alcanzadas para un periodo de retorno de 250 años*



**Figura 49**

*Mapa de inundaciones para un TR=250 años, delimitado por profundidades alcanzadas.*



**MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL ESCENARIO 03, TR=500AÑOS,  
Q=163.31 M3/S.**

Para el modelo hidráulico se utilizó un caudal máximo calculado de 163.31m<sup>3</sup>/s, en el cual se evidencia la inundación de varias zonas de nuestra área de estudio.

**Figura 50**

*Áreas inundables para un TR=500 años*



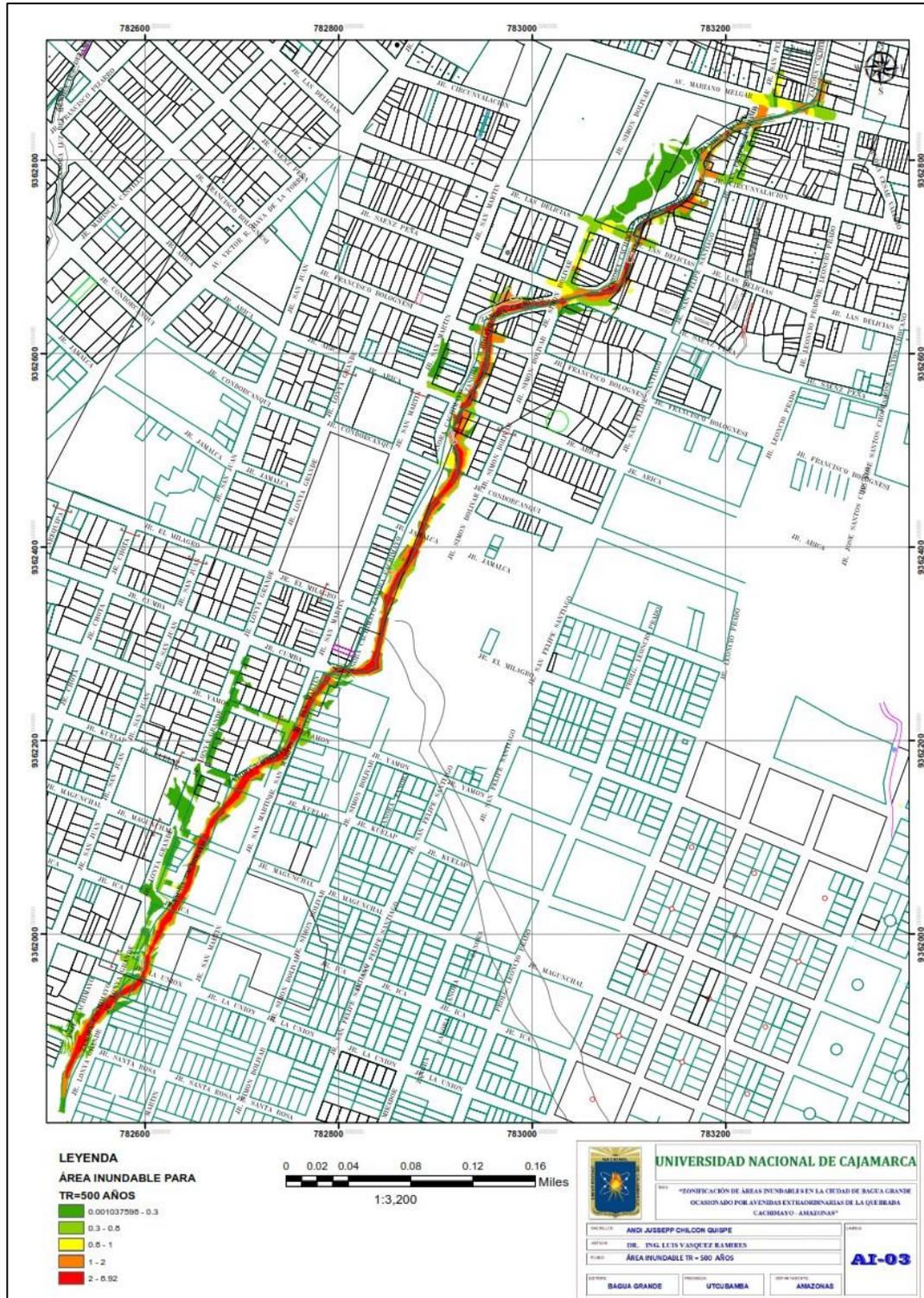
**Figura 51**

*Velocidades de flujo para un TR=500 años*



**Figura 52**

*Mapa de inundaciones para un TR=500 años, delimitado por profundidades alcanzadas.*



**MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL ESCENARIO 04,  
TR=1000AÑOS, Q=175.54M3/S.**

Para el modelo hidráulico se utilizó un caudal máximo calculado de 175.m3/s, en el cual se evidencia la inundación de varias zonas de nuestra área de estudio.

**Figura 53**

*Área de inundación para un TR de 1000 años*

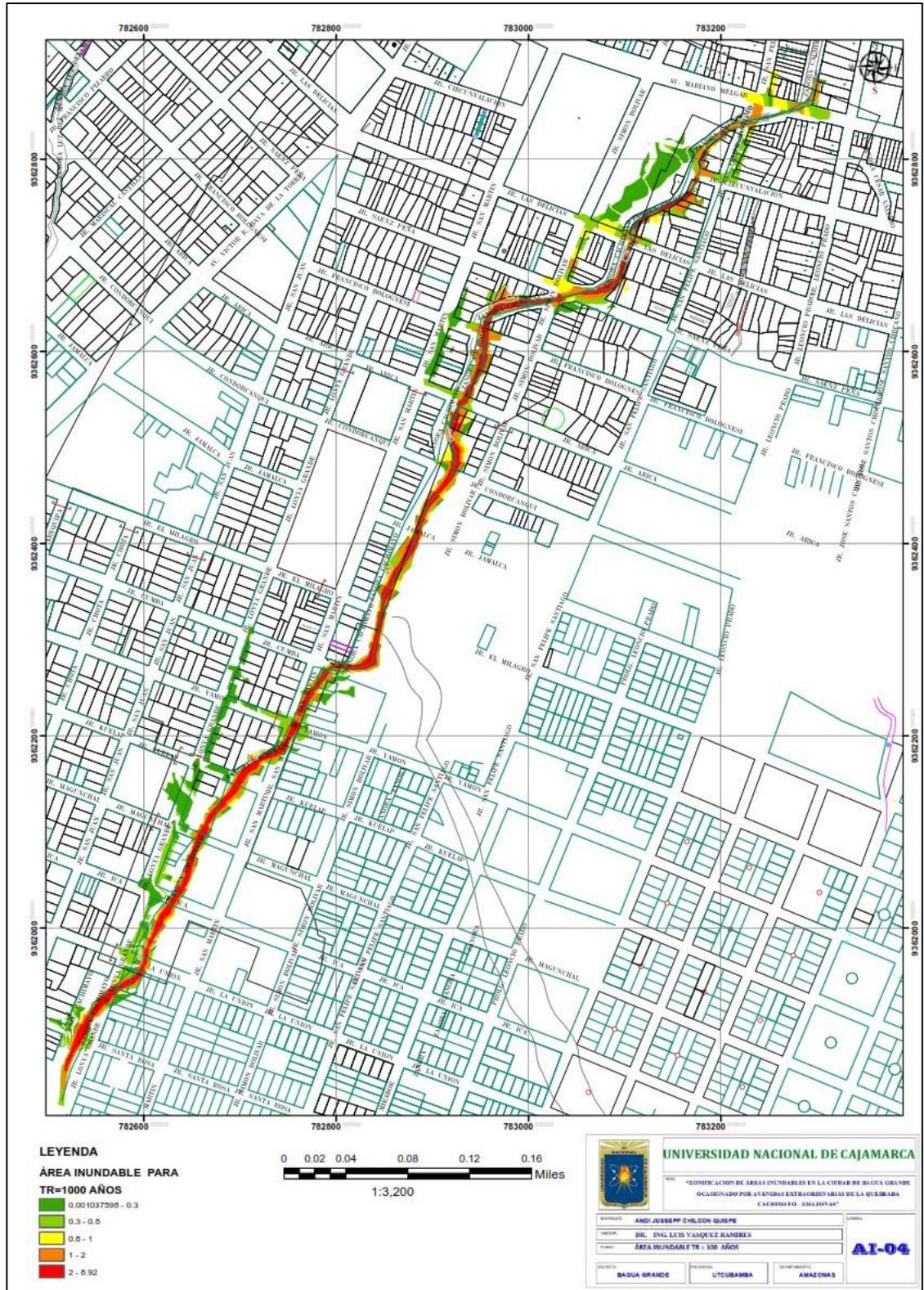


**Figura 54**

*Velocidades de flujo para un TR=1000 años*



**Figura 55**  
 Mapa de inundaciones para un TR=1000 años, delimitado por profundidades alcanzadas.

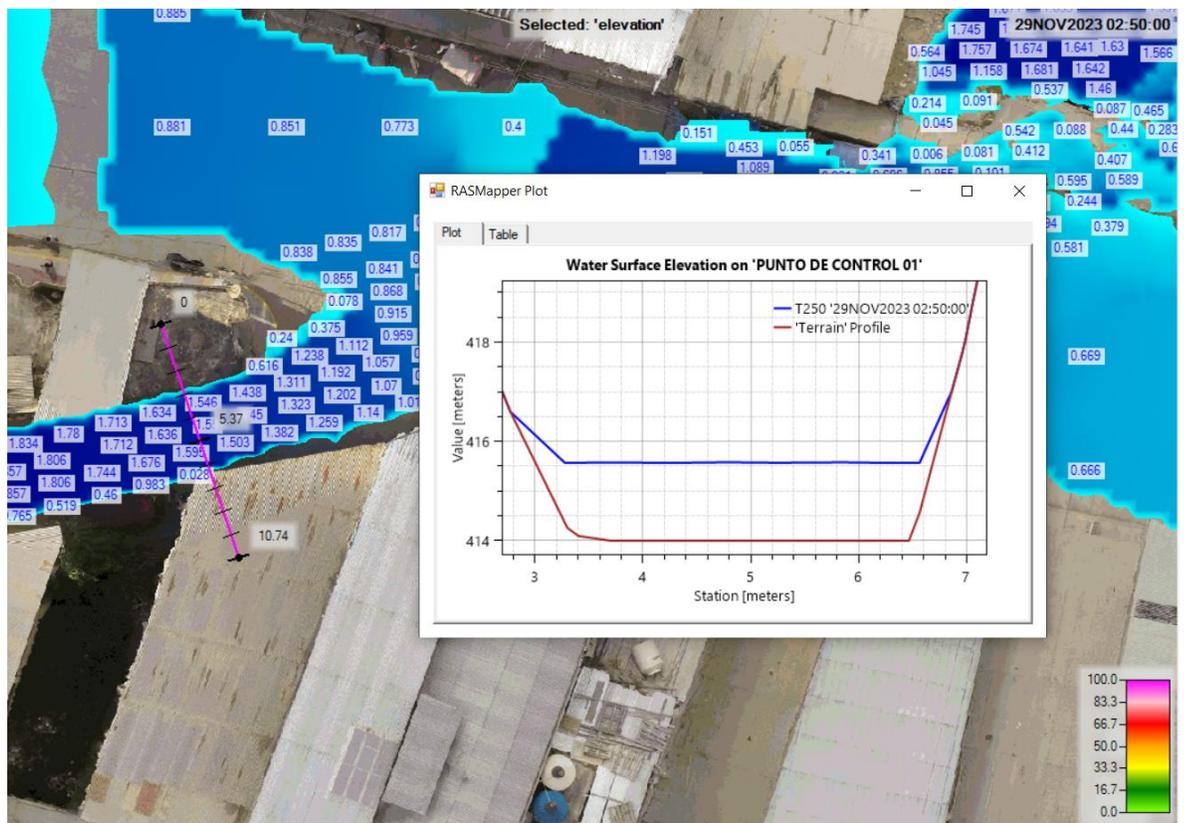


## APROXIMACIÓN DE CAUDAL CON LOS VESTIGIOS ENCONTRADOS EN CAMPO

Para el punto de control 01 en escenario de T250, tal como se aprecia en la figura 59, en el tiempo de modelado 2:50 se aproxima al tirante medido campo.

**Figura 56**

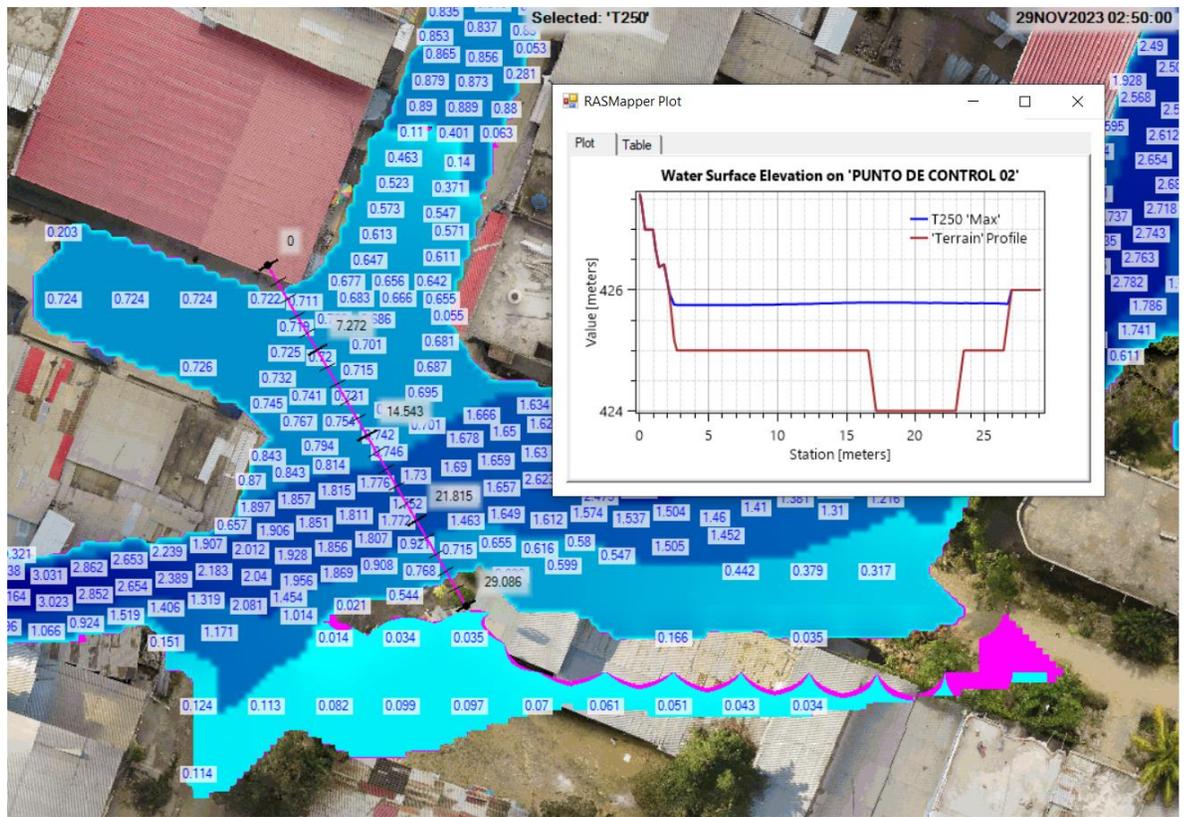
*Aproximación de caudal en el punto de control 01, escenario T250*



Para el punto de control 02 en escenario de T250, tal como se aprecia en la figura 60, en el tiempo de modelado 2:50 se aproxima al tirante medido campo.

**Figura 57**

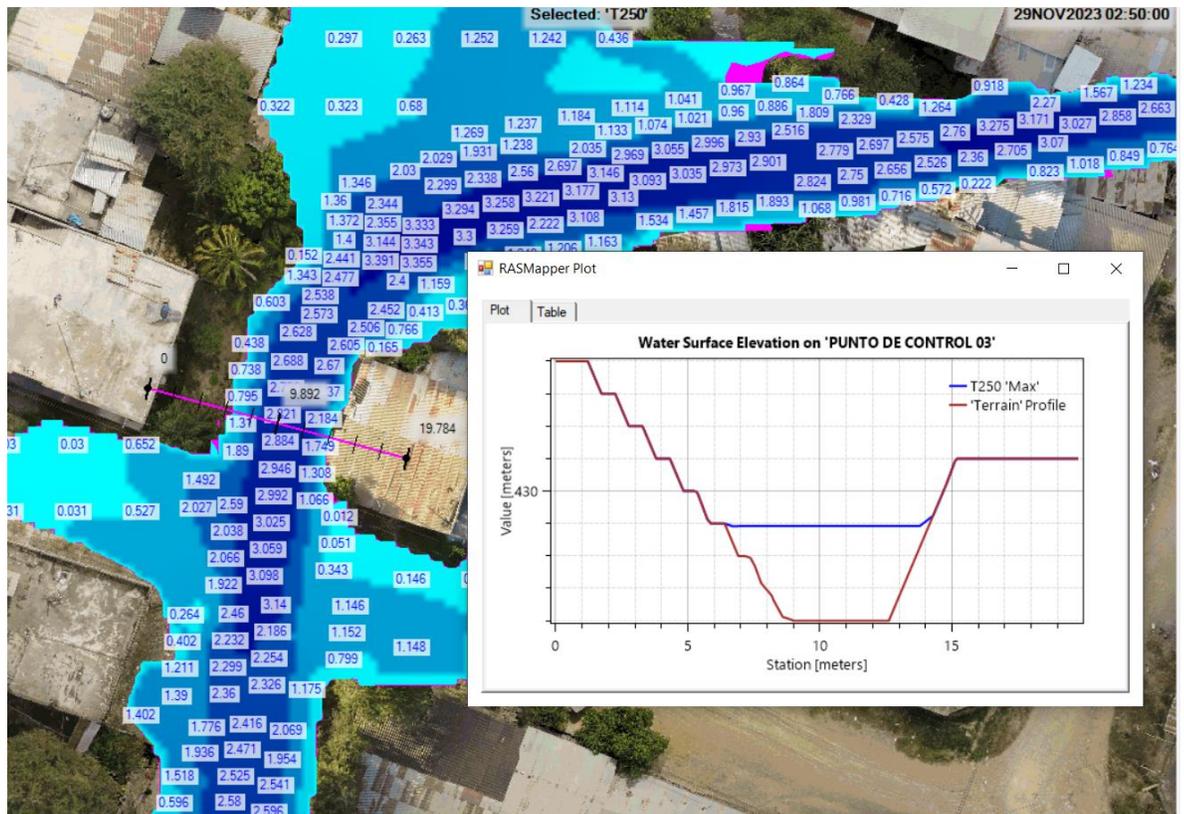
*Aproximación de caudal en el punto de control 02, escenario T250*



Para el punto de control 03 en escenario de T250, tal como se aprecia en la figura 61 en el tiempo de modelado 2:50 se aproxima al tirante medido campo.

**Figura 58**

*Aproximación de caudal en el punto de control 03, escenario T250*

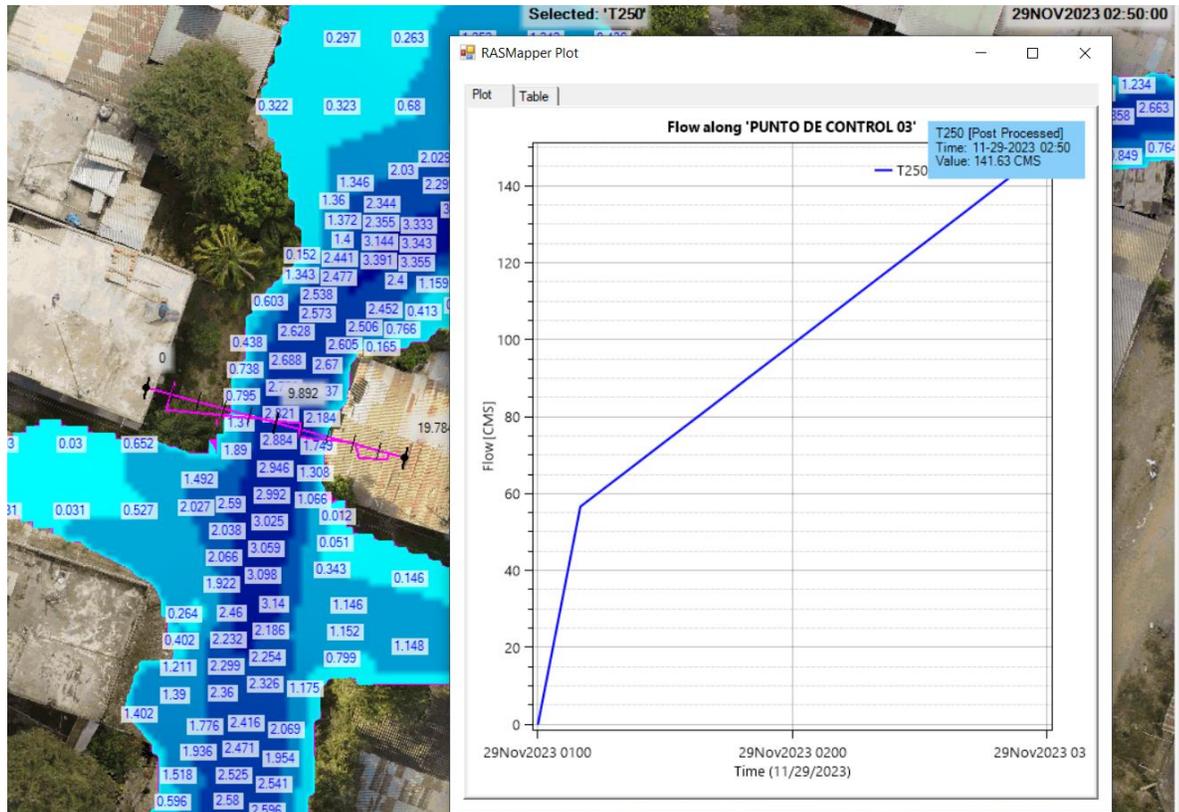


Nota, elaboración propia.

Para el cálculo de caudal, interpolamos en la figura 58 obteniendo así un caudal de máximo de 141.63 m<sup>3</sup>/s, con los datos de precipitación y datos geomorfológicos de la cuenca estimamos un TR=135años.

**Figura 59**

*Calculo de caudal*



Nota, elaboración propia.

De tal modo inferimos que el caudal aproximado para el 30 de marzo del 2015, fue de 141.63 m<sup>3</sup>/s para un TR=135años, así mismo se realizará las zonas inundables a partir de este caudal.

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1.PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.**

Esta parte del cauce de la quebrada Cachimayo, es una zona urbana donde varias familias de nivel económico medio y bajo se ven afectadas por las inundaciones. La demarcación de la zona de inundación corresponde al caudal residual del 30 de marzo de 2015 con un caudal  $Q=141,63$  m<sup>3</sup>/s y un período de retorno TR=135 años. Los resultados del modelado muestran la gravedad de las amenazas que enfrentan los residentes de la zona.

**Figura 60**

Simulación realizada para un TR=135 – Q=141.63m<sup>3</sup>/s



Nota, elaboración propia.

## Figura 61

Velocidades de flujo obtenidos para  $TR=135$  años -  $Q=141.63\text{m}^3/\text{s}$



Nota, elaboración propia.

El tramo de estudio mide aproximadamente 810m, y abarca sectores tales como: El Sector Las flores ubicado aguas arriba de la zona de estudio, sector El Piloto, ubicado en el punto medio de nuestra zona de estudio y sector Parada Municipal ubicada en el tramo final del área de estudio.

**Figura 62**

*Sectorización del área de estudio*



Nota, elaboración propia.

## 4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Según los vestigios encontrados en campo, pudimos calcular que un evento extraordinario tuvo un caudal de  $141.63 \text{ m}^3/\text{s}$ , para un  $\text{TR} = 135 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## INUNDACIÓN EN EL SECTOR LAS FLORES

**Figura 63**

*Zona inundable en el sector, Las Flores - calle Lonya Grande*



Nota, elaboración propia – software Hec-RAS.

En la figura 63 podemos apreciar que el cauce de la quebrada Cachimayo se desborda por la calle Lonya Grande, afectando a diversas manzanas.

**Figura 64**

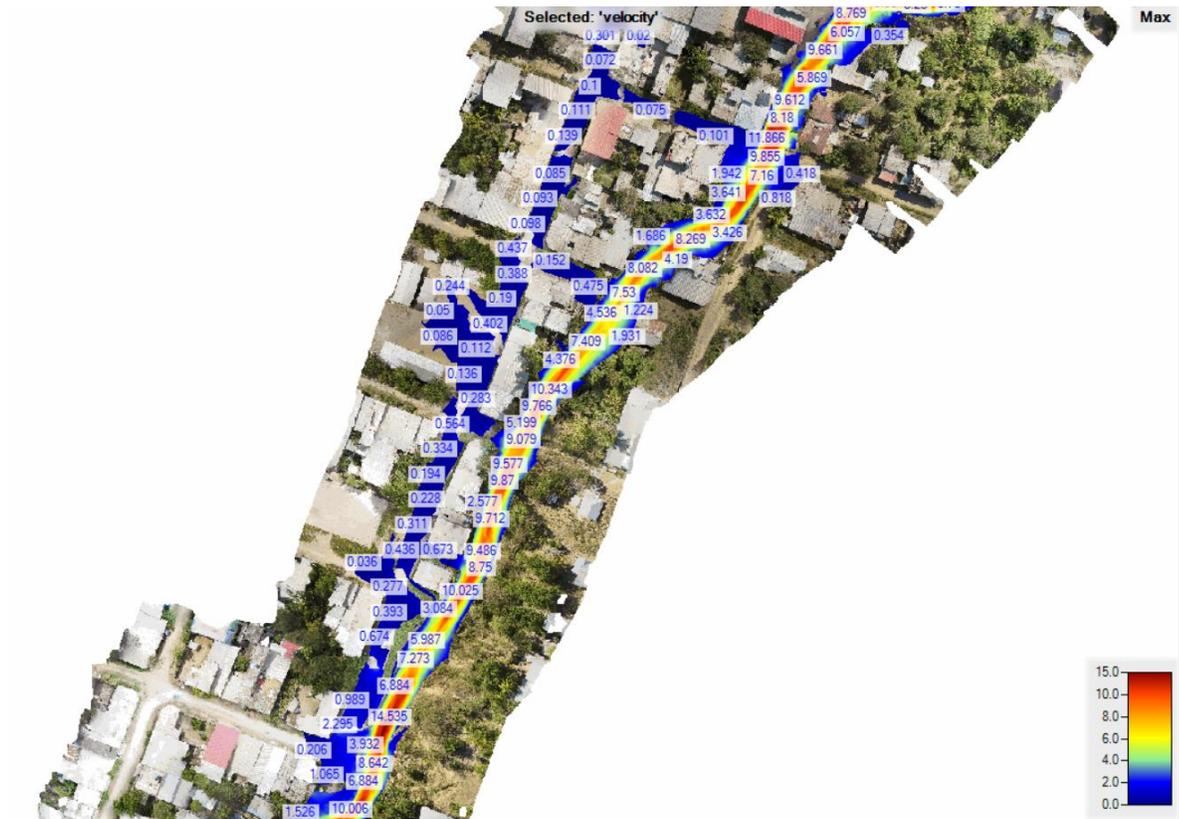
*Profundidades de flujo que escurre por la calle Lonya Grande.*



Nota, elaboración propia con software Hec-RAS.

En la figura 64 podemos apreciar las profundidades de flujo que inunda el desbordamiento de la quebrada cachimayo, estas profundidades van desde 0.50m hasta 0.10m, afectando a diversas mazanas del sector Las Flores.

**Figura 65**  
*Velocidades de flujo la calle Lonya Grande.*



Nota, elaboración propia con Software Hec-RAS.

En la figura 65 se puede apreciar que las velocidades de desplazamiento que alcanza el flujo sobre la calle Lonya Grande varían, desde 0.99m/s hasta 0.1 m/s.

## INUNDACIÓN EN EL SECTOR PARADA MUNICIPAL.

La inundación en el Sector La Parada Municipal es un tanto alarmante debido a las profundidades y velocidad de desplazamiento que alcanza el flujo.

### Figura 66

Cause de la quebrada Cachimayo en época de estiaje.



Nota, fotogrametría con dron, elaboración propia.

En la figura 66 podemos apreciar como luce la quebrada Cachimayo en época de estiaje.

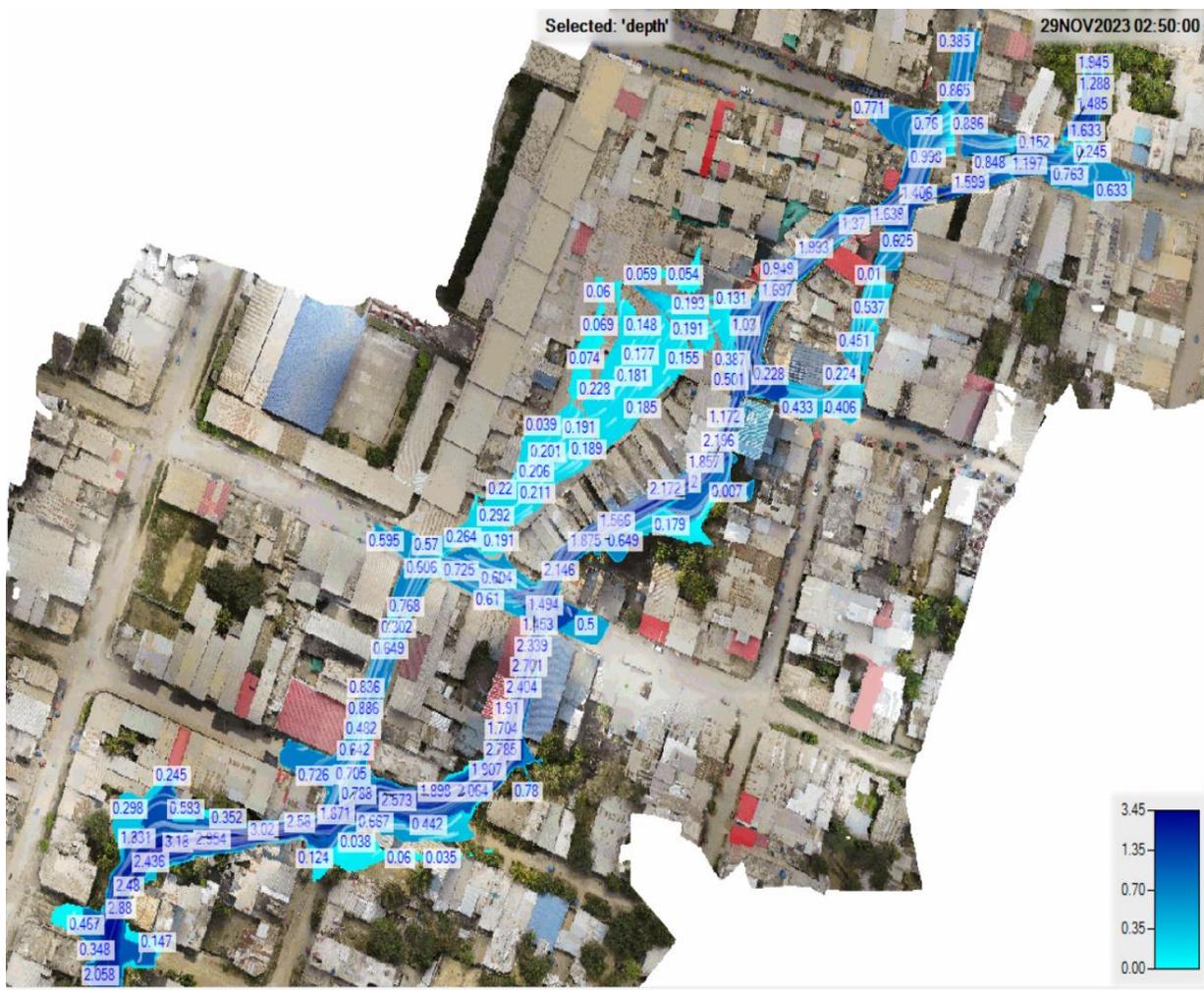
**Figura 67**  
*Zonas inundables en el sector Parada Municipal.*



Nota, elaboración propia Hec-RAS.

**Figura 68**

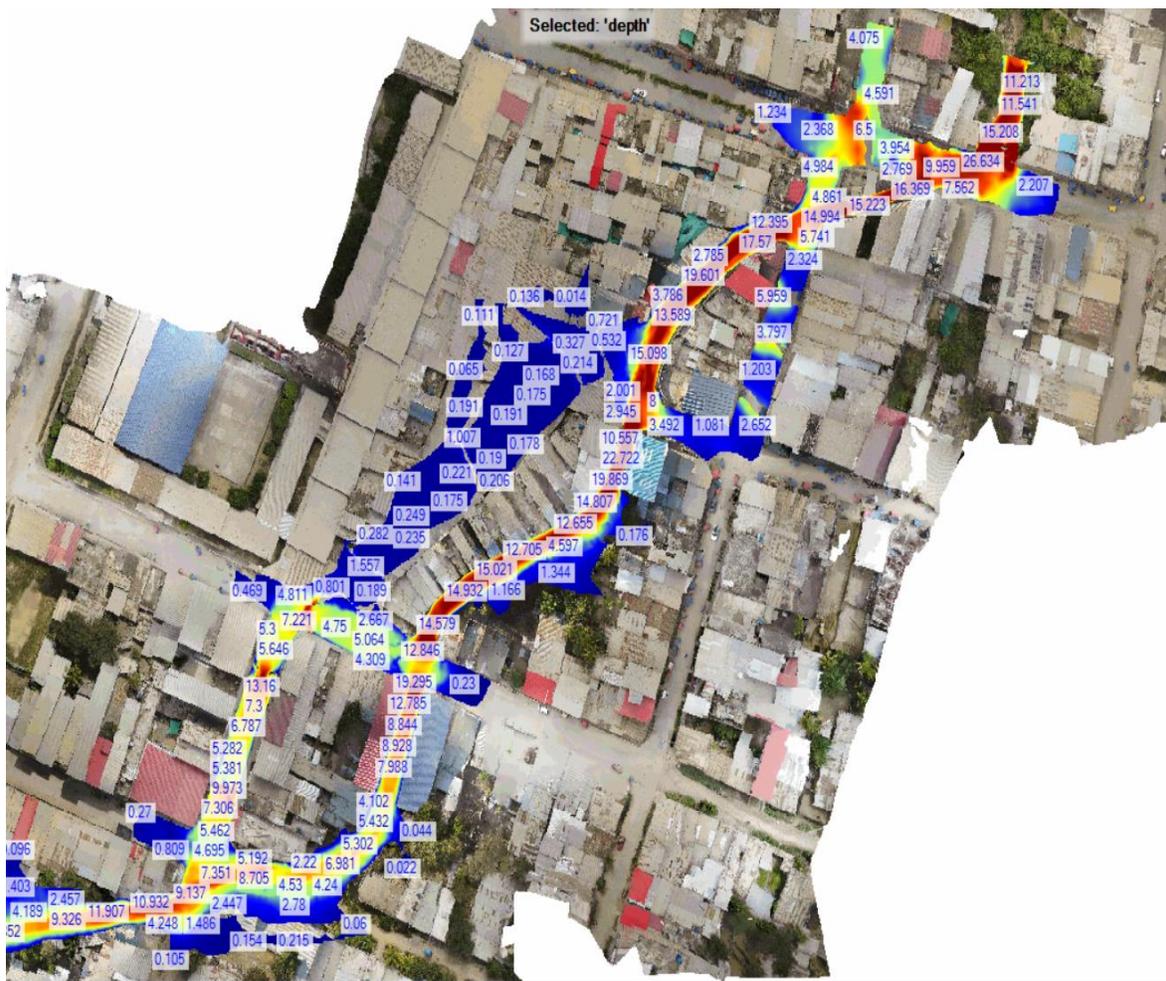
*Profundidades de flujo que se alcanza en el sector Parada Municipal.*



Nota, elaboración propia Hec-RAS.

En las figuras 67 y 68, podemos apreciar con el cauce de la quebrada Cachimayo desborda por el Jr. Simon Bolivar con profundidades de 0.95m, para posteriormente ingresar a las instalaciones de la Parada Municipal con profundidades de hasta 0.70m. Asimismo en la calle San Felipe Santiago escurren el caudal con una profundidad de hasta 0.60m.

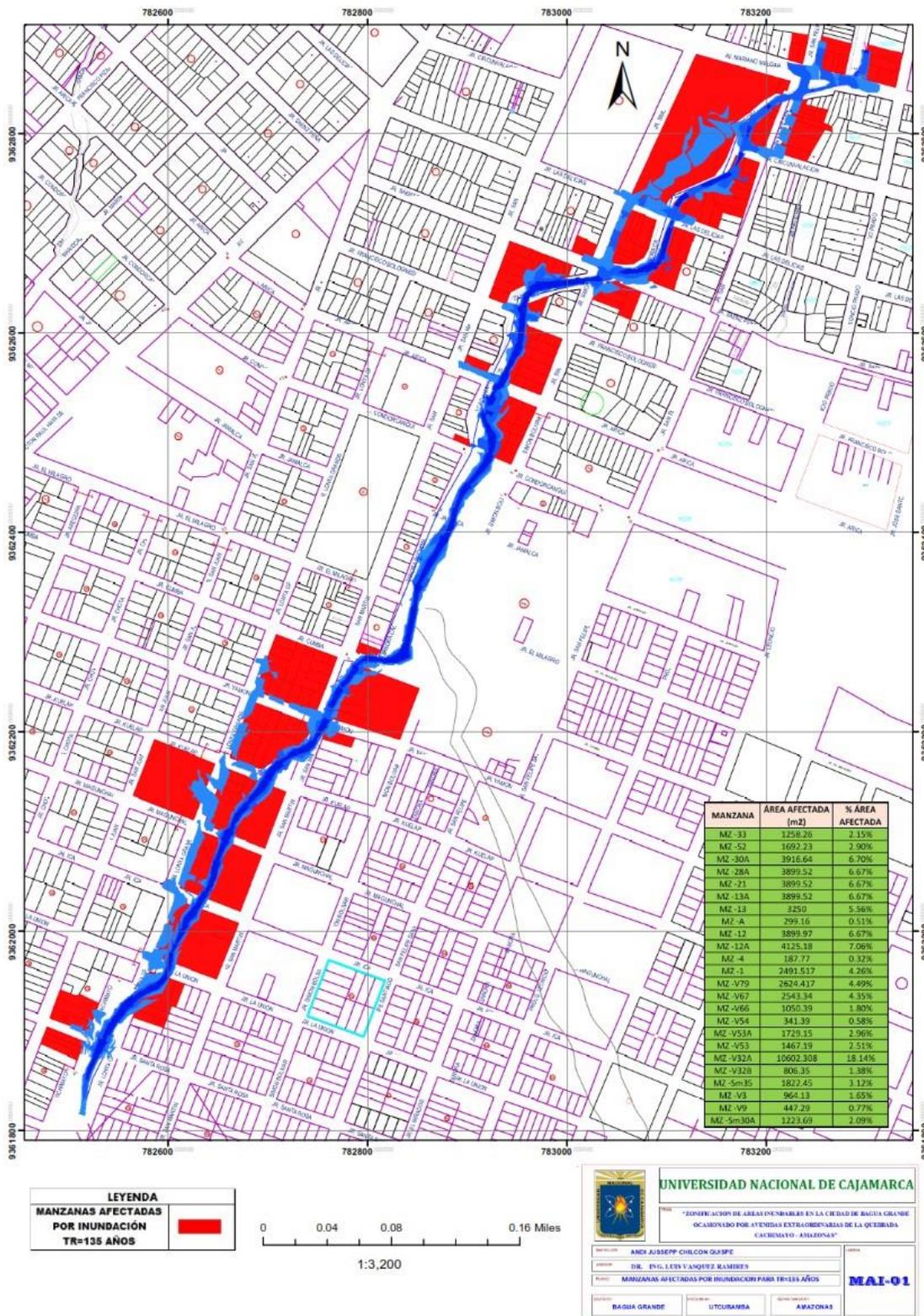
**Figura 69**  
*Velocidades de Flujo en el Sector Parada Municipal.*



Nota, elaboración propia Hec-RAS.

En la figura 69 podemos apreciar en el Jr. Simon Bolivar tenemos velocidades muy elevadas, estas van desde 4.54m/s hasta los 13.16m/s, mientras que dentro de la Parada Municipal las velocidades van desde los 0.15m/s hasta 1.5m/s. Asimismo en la calle San Felipe Santiago tenemos velocidades de 1.08m/s hasta los 14.994m/s.

**Figura 70**  
Zonificación de áreas Inúndables en la quebrada Cachimayo.



**Tabla 31***Área de inundación Según TR=135años.*

| Periodo de Retorno (años) | Caudal (m3/s) | Area afectada (m2) | Profundidad maxima (m) |
|---------------------------|---------------|--------------------|------------------------|
| 135                       | 141.63        | 58441.682          | 0.95                   |

**Tabla 32***Áreas afectadas por Inundación para TR=235años*

| Áreas afectadas para TR=135años |           |
|---------------------------------|-----------|
| MAZANA                          | AREA      |
| MZ-33                           | 1258.56   |
| MZ-52                           | 1692.23   |
| MZ-30A                          | 3916.64   |
| MZ-28A                          | 3899.52   |
| MZ-21                           | 3899.52   |
| MZ-13A                          | 3899.52   |
| MZ-13                           | 3250      |
| MZ-A                            | 299.16    |
| MZ-12                           | 3899.97   |
| MZ - 12A                        | 4125.18   |
| MZ-4                            | 187.77    |
| MZ-1                            | 2491.517  |
| MZ-V79                          | 2624.417  |
| MZ-V67                          | 2543.34   |
| MZ-V66                          | 1050.39   |
| MZ-V54                          | 341.39    |
| MZ-V53A                         | 1729.15   |
| MZ-V53                          | 1467.19   |
| MZ-V32A                         | 10602.308 |
| MZ-V32B                         | 806.35    |
| MZ-Sm35                         | 1822.45   |
| MZ-V3                           | 964.13    |
| MZ-V9                           | 447.29    |
| MZ-Sm30A                        | 1223.69   |

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Con la ayuda de equipos topográficos (estación total, gps y drone) se logró detallar la topografía del área de estudio, para poder distinguir de manera acertada las posibles zonas de inundación.
- Con los vestigios encontrados en campo de un evento extraordinario que se suscitó el pasado 30 de marzo del 2015, se calculó que el caudal máximo aproximado para dicho evento fue de 141.63m<sup>3</sup>/s, con un de TR=135años.
- En la calle Lonya Grande, las profundidades de inundación van desde 0.50m hasta 0.10m con velocidades que varían desde 0.99m/s hasta 0.1 m/s. Mientras que en el Jr. Simon Bolivar se encuentran profundidades de 0.95m, para posteriormente ingresar a las instalaciones de la Parada Municipal con profundidades de hasta 0.70m. Asimismo en la calle San Felipe Santiago escurren el caudal con una profundidad de hasta 0.60m. En cuanto a las velocidades en el Jr. Simon Bolivar tenemos velocidades muy elevadas, estas van desde 4.54 m/s hasta los 13.16m/s, mientras que dentro de la Parada Municipal las velocidades van desde los 0.15 m/s hasta 1.5m/s. Asimismo en la calle San Felipe Santiago tenemos velocidades de 1.08 m/s hasta los 14.994 m/s.
- Manzanas propensas a inundación.

| <b>Areas afectadas para<br/>TR=135años</b> |             |
|--|-------------|
| <b>MAZANA</b>                              | <b>AREA</b> |
| MZ-33                                      | 1258.56     |
| MZ-52                                      | 1692.23     |
| MZ-30A                                     | 3916.64     |
| MZ-28A                                     | 3899.52     |
| MZ-21                                      | 3899.52     |
| MZ-13A                                     | 3899.52     |
| MZ-13                                      | 3250        |
| MZ-A                                       | 299.16      |
| MZ-12                                      | 3899.97     |
| MZ - 12A                                   | 4125.18     |
| MZ-4                                       | 187.77      |
| MZ-1                                       | 2491.517    |
| MZ-V79                                     | 2624.417    |

|          |           |
|----------|-----------|
| MZ-V67   | 2543.34   |
| MZ-V66   | 1050.39   |
| MZ-V54   | 341.39    |
| MZ-V53A  | 1729.15   |
| MZ-V53   | 1467.19   |
| MZ-V32A  | 10602.308 |
| MZ-V32B  | 806.35    |
| MZ-Sm35  | 1822.45   |
| MZ-V3    | 964.13    |
| MZ-V9    | 447.29    |
| MZ-Sm30A | 1223.69   |

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar topografía de la zona de estudio con equipos de alta precisión, para mayor detalle en los cálculos.
- Incorporar en el cálculo, arrastre de sedimentos.
- Zonificar áreas inundables a lo largo de todo el cauce de la quebrada Cachimayo.
- Se recomienda construir muros de contención en los márgenes del cauce de la quebrada Cachimayo.
- Los procesos de descolmatación deben realizarse de manera continua para evitar la colmatación de sedimentos y reducción del perímetro hidráulico del cauce.
- Concientizar a la ciudadanía sobre los peligros de vivir cerca a zonas vulnerables a desastres naturales, y los riesgos que esto representa tanto para su vida como para su hogar mediante el desarrollo de campañas de prevención y mitigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balbastre, R. (2018). *Análisis comparativo de metodologías de cálculo de tormentas de diseño para su aplicación en hidrología urbana*. [Tesis de Maestría, Universidad Politecnica de Valencia]: Repositorio Institucional. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/100090/BALBASTRE%20-%20An%C3%A1lisis%20comparativo%20de%20metodolog%C3%ADas%20de%20c%C3%A1lculo%20de%20tormentas%20de%20dise%C3%B1o%20para%20su%20aplica....pdf?sequence=1>
- Bentancor, L., Silveira, L., & García, M. (2014). Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 18(2), 106-116. Obtenido de <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v18n2/v18n2a12.pdf>
- Chagua, J. (2018). *Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS*. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]: Repositorio Institucional. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13180>
- IDEAM. (2023). *COTAS INUNDACIÓN*. Obtenido de GOV.CO: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/cotas-inundacion>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2022). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Obtenido de <https://www.hidrosm.com/2018/05/manual-de-hidrologia-hidraulica-y.html>
- Organización Panamericana de la Salud OPS. (2022). *Eventos Hidrometeorológicos Extremos - Reunión de Alistamiento 2022*. Obtenido de paho.org: <https://www.paho.org/es/eventos/eventos-hidrometeorologicos-extremos-reunion-alistamiento-2022>
- Sierra, G. (2015). *CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DE CRECIENTE DE LA QUEBRADA LA ARTESA QUE DESEMBOCA EN LA QUEBRADA DE ORTEGA, EN EL MUNICIPIO DE GÜICAN (BOYACÁ), CON EL MÉTODO RACIONAL*. [Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]: Repositorio Institucional.

## ANEXOS

### ANEXO 01. Trabajos de campo.

Realizando levantamiento de puntos de control, para vuelo fotogramétrico, con estación total.

#### Figura 71

*Toma de puntos de control para levantamiento fotogramétrico*



**Figura 72**

*Levantamiento del eje del cause*



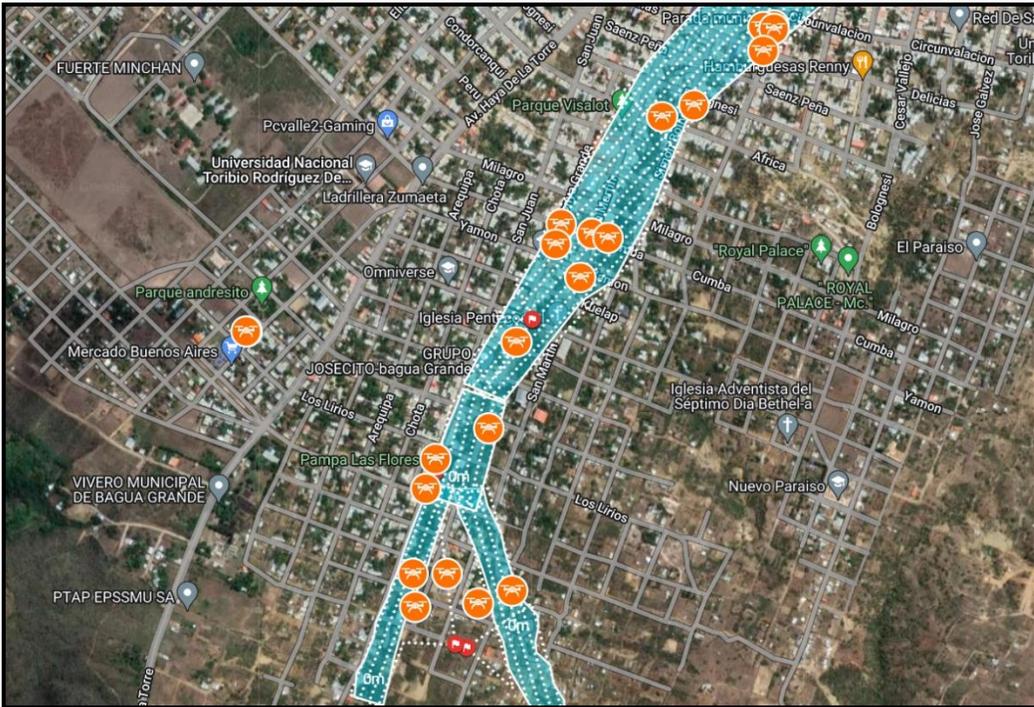
**Figura 73**

*Levantamiento del eje del cause*



**Figura 74**

*Plan de vuelo y vuelos realizados con dron*



## ANEXO 2. Datos topográficos.

### Figura 75

*Modelo digital de elevaciones, obtenido a partir de la fotogrametría*



**Figura 76**  
*Ortofoto, obtenido a partir de la fotogrametría*



### ANEXO 3. Tratamiento de fatos, pluviométricos.

**Tabla 33**

*Estación pluviométrica “El Pintor”.*

**REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)**

Estación: **Estación 01** Latitud: 78°31'22.3" W Dpto: AMAZONAS  
 Parámetro: Precipitación Máxima 24 hr (mm) Longitud: 5°45'22.32" S Prov: UTCUBAMBA  
 Altitud: 533 msnm Dist: BAGUA GRANDE

| Año  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Oct  | Nov  | Dic  | Pmax24 | Log(P24hr) |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------------|
| 1992 | 9.5  | 11.2 | 15.2 | 30.4 | 12.0 | 16.8 | 4.8  | 18.3 | 8.5  | 42.6 | 17.9 | 10.0 | 42.6   | 1.63       |
| 1993 | 20.4 | 47.9 | 24.0 | 30.0 | 8.3  | 5.8  | 21.6 | 7.1  | 22.5 | 22.6 | 8.1  | 14.4 | 47.9   | 1.68       |
| 1994 | 27.2 | 17.4 | 22.1 | 24.9 | 21.8 | 9.9  | 11.9 | 0.9  | 8.4  | 20.8 | 18.2 | 20.5 | 27.2   | 1.43       |
| 1995 | 13.6 | 13.7 | 33.4 | 19.6 | 23.1 | 5.2  | 9.4  | 0.0  | 5.8  | 3.5  | 41.2 | 10.0 | 41.2   | 1.61       |
| 1996 | 15.3 | 17.4 | 15.7 | 35.5 | 11.5 | 7.1  | 1.5  | 5.9  | 13.5 | 37.9 | 10.2 | 16.4 | 37.9   | 1.58       |
| 1997 | 7.7  | 15.2 | 7.8  | 40.6 | 10.0 | 24.4 | 3.7  | 4.3  | 8.5  | 37.4 | 20.9 | 5.8  | 40.6   | 1.61       |
| 1998 | 8.3  | 31.5 | 29.9 | 23.0 | 19.4 | 6.2  | 2.4  | 5.7  | 5.3  | 29.2 | 40.7 | 30.1 | 40.7   | 1.61       |
| 1999 | 15.0 | 39.9 | 40.6 | 6.8  | 58.5 | 8.1  | 12.9 | 13.2 | 24.9 | 24.2 | 24.6 | 25.6 | 58.5   | 1.77       |
| 2000 | 24.5 | 20.3 | 26.4 | 32.7 | 56.4 | 12.6 | 12.6 | 13.0 | 12.0 | 13.5 | 10.8 | 39.6 | 56.4   | 1.75       |
| 2001 | 6.0  | 7.9  | 31.1 | 12.3 | 24.7 | 3.0  | 4.6  | 0.9  | 14.1 | 14.9 | 44.5 | 19.7 | 44.5   | 1.65       |
| 2002 | 11.6 | 13.8 | 11.9 | 26.0 | 20.5 | 0.9  | 23.0 | 11.5 | 9.9  | 51.3 | 38.9 | 8.0  | 51.3   | 1.71       |
| 2003 | 18.2 | 21.7 | 48.3 | 35.0 | 11.9 | 13.6 | 23.6 | 5.4  | 3.2  | 14.5 | 16.7 | 30.9 | 48.3   | 1.68       |
| 2004 | 13.0 | 7.7  | 10.7 | 24.9 | 36.5 | 4.7  | 10.9 | 7.0  | 9.9  | 40.0 | 31.1 | 21.2 | 40.0   | 1.60       |
| 2005 | 13.1 | 16.6 | 39.9 | 11.2 | 8.6  | 20.0 | 2.0  | 11.8 | 3.4  | 41.5 | 69.4 | 30.3 | 69.4   | 1.84       |
| 2006 | 15.6 | 6.1  | 28.8 | 26.6 | 4.3  | 25.7 | 2.9  | 10.0 | 15.5 | 15.9 | 9.4  | 11.2 | 28.8   | 1.46       |
| 2007 | 25.8 | 14.5 | 7.4  | 25.2 | 15.5 | 2.3  | 8.5  | 6.3  | 16.5 | 23.2 | 48.5 | 11.2 | 48.5   | 1.69       |
| 2008 | 6.6  | 45.5 | 77.5 | 15.0 | 22.3 | 16.9 | 12.3 | 23.8 | 6.6  | 18.0 | 36.4 | 18.2 | 77.5   | 1.89       |
| 2009 | 22.9 | 27.0 | 17.8 | 29.8 | 22.0 | 16.3 | 16.4 | 9.4  | 14.1 | 7.6  | 35.1 | 6.4  | 35.1   | 1.55       |
| 2010 | 0.7  | 44.6 | 7.2  | 33.8 | 14.7 | 7.2  | 34.4 | 2.3  | 8.7  | 40.7 | 21.2 | 18.2 | 44.6   | 1.65       |
| 2011 | 8.9  | 40.7 | 56.5 | 52.8 | 20.6 | 6.1  | 7.3  | 4.0  | 33.7 | 19.0 | 9.7  | 36.3 | 56.5   | 1.75       |
| 2012 | 19.7 | 18.4 | 16.5 | 48.4 | 4.4  | 9.0  | 7.1  | 0.0  | 3.0  | 61.0 | 44.0 | 11.3 | 61.0   | 1.79       |
| 2013 | 10.0 | 13.6 | 16.4 | 4.5  | 14.1 | 4.9  | 13.3 | 33.5 | 16.9 | 64.6 | 2.9  | 19.9 | 64.6   | 1.81       |
| 2014 | 14.0 | 4.9  | 31.4 | 18.2 | 42.7 | 6.9  | 1.5  | 19.0 | 8.0  | 11.1 | 13.4 | 27.4 | 42.7   | 1.63       |
| 2015 | 31.6 | 24.0 | 0.2  | 6.4  | 17.7 | 7.0  | 9.1  | 3.0  | 2.3  | 6.9  | 22.0 | 15.6 | 31.6   | 1.50       |
| 2016 | 34.8 | 15.3 | 39.5 | 33.9 | 23.5 | 3.7  | 5.2  | 9.1  | 33.9 | 17.3 | 14.3 | 24.0 | 39.5   | 1.60       |
| 2017 | 24.2 | 21.6 | 11.6 | 50.7 | 10.4 | 17.9 | 7.2  | 17.7 | 28.2 | 13.5 | 13.0 | 15.0 | 50.7   | 1.71       |
| 2018 | 32.6 | 30.9 | 8.7  | 12.0 | 36.1 | 8.7  | 18.8 | 2.8  | 4.0  | 21.3 | 36.7 | 23.6 | 36.7   | 1.56       |
| 2019 | 11.2 | 27.2 | 21.8 | 44.6 | 19.7 | 4.4  | 24.1 | 1.7  | 11.3 | 9.3  | 7.6  | 50.5 | 50.5   | 1.70       |
| 2020 | 84.8 | 19.8 | 7.8  | 18.0 | 10.2 | 10.2 | 20.1 | 9.7  | 31.7 | 18.9 | 42.3 | 48.1 | 84.8   | 1.93       |
| 2021 | 24.5 | 18.1 | 31.6 | 23.7 | 26.9 | 18.4 | 6.6  | 4.1  | 7.5  | 32.5 | 10.5 | 14.5 | 32.5   | 1.51       |
| 2022 | 10.2 | 15.4 | 39.5 | 20.3 | 15.0 | 13.3 | 21.9 | 16.4 | 35.6 | 9.8  | 13.0 | 5.1  | 39.5   | 1.60       |

## **ANEXO 4. PLANOS**

782600 000000

782800 000000

783000 000000

783200 000000

9362800 000000

9362600 000000

9362400 000000

9362200 000000

9362000 000000

9361800 000000

9362800 000000

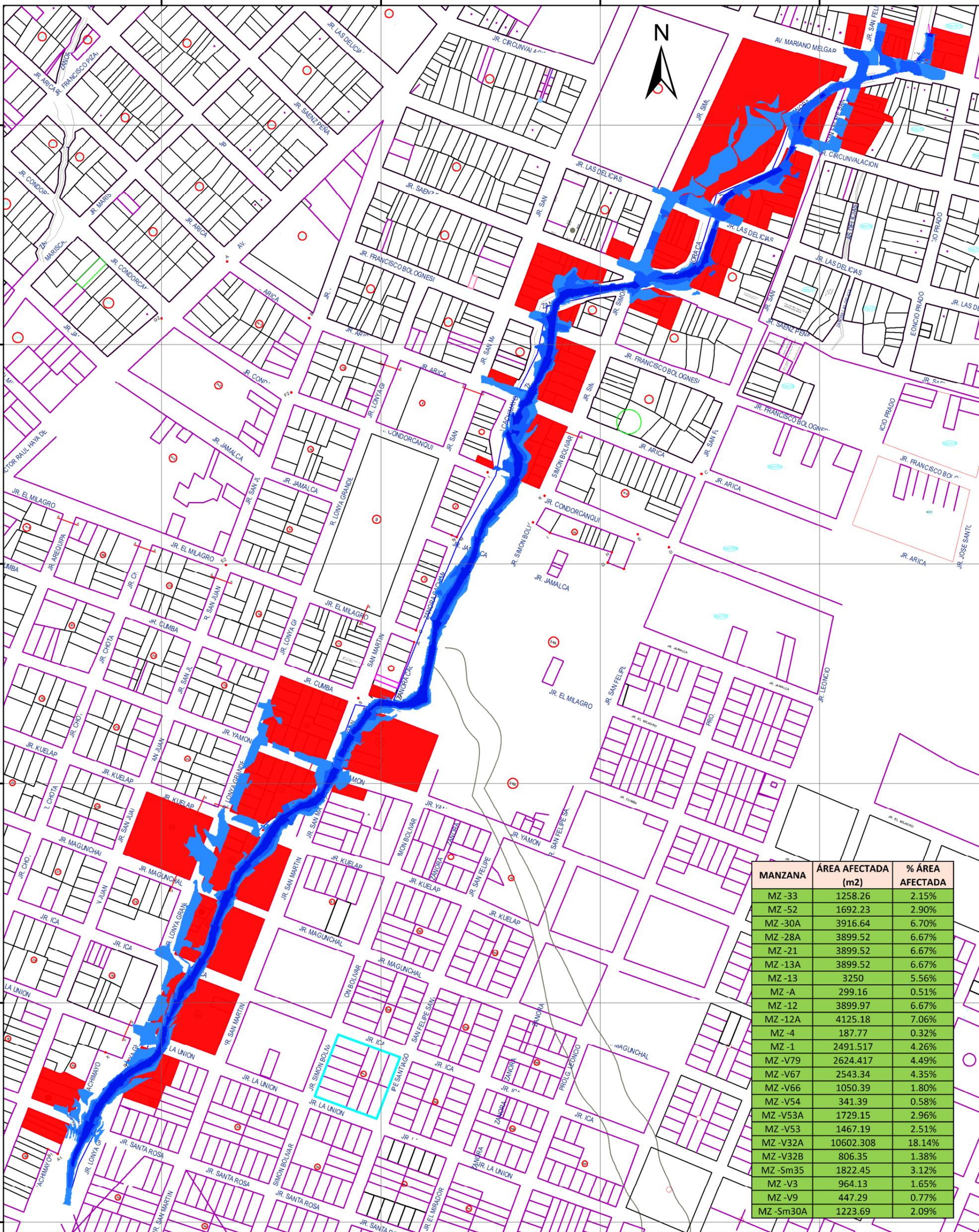
9362600 000000

9362400 000000

9362200 000000

9362000 000000

9361800 000000



| MANZANA   | ÁREA AFECTADA (m <sup>2</sup> ) | % ÁREA AFECTADA |
|-----------|---------------------------------|-----------------|
| MZ -33    | 1258.26                         | 2.15%           |
| MZ -52    | 1692.23                         | 2.90%           |
| MZ -30A   | 3916.64                         | 6.70%           |
| MZ -28A   | 3899.52                         | 6.67%           |
| MZ -21    | 3899.52                         | 6.67%           |
| MZ -13A   | 3899.52                         | 6.67%           |
| MZ -13    | 3250                            | 5.56%           |
| MZ -A     | 299.16                          | 0.51%           |
| MZ -12    | 3899.97                         | 6.67%           |
| MZ -12A   | 4125.18                         | 7.06%           |
| MZ -4     | 187.77                          | 0.32%           |
| MZ -1     | 2491.517                        | 4.26%           |
| MZ -V79   | 2624.417                        | 4.49%           |
| MZ -V67   | 2543.34                         | 4.35%           |
| MZ -V66   | 1050.39                         | 1.80%           |
| MZ -V54   | 341.39                          | 0.58%           |
| MZ -V53A  | 1729.15                         | 2.96%           |
| MZ -V53   | 1467.19                         | 2.51%           |
| MZ -V32A  | 10602.308                       | 18.14%          |
| MZ -V32B  | 806.35                          | 1.38%           |
| MZ -Sm35  | 1822.45                         | 3.12%           |
| MZ -V3    | 964.13                          | 1.65%           |
| MZ -V9    | 447.29                          | 0.77%           |
| MZ -Sm30A | 1223.69                         | 2.09%           |

**LEYENDA**

**MANZANAS AFECTADAS POR INUNDACIÓN TR=135 AÑOS**

0 0.04 0.08 0.16 Miles

1:3,200



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

TESIS  
 "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA CACHIMAYO - AMAZONAS"

BACHILLER: **ANDI JUSSEPP CHILCON QUISPE**

ASESOR: **DR. ING. LUIS VASQUEZ RAMIRES**

PLANO: **MANZANAS AFECTADAS POR INUNDACION PARA TR=135 AÑOS**

DISTRITO: **BAGUA GRANDE** PROVINCIA: **UTCUBAMBA** DEPARTAMENTO: **AMAZONAS**

LÁMINA: **MAI-01**



782600 000000

782800 000000

783000 000000

783200 000000

9362800 000000

9362600 000000

9362400 000000

9362200 000000

9362000 000000

9362800 000000

9362600 000000

9362400 000000

9362200 000000

9362000 000000

782600 000000

782800 000000

783000 000000

783200 000000

**LEYENDA**

**AREA INUNDABLE PARA TR 250 AÑOS**

- 0.01 - 0.3
- 0.3 - 0.8
- 0.8 - 1
- 1 - 2
- 2 - 8.92

0 0.0170.035 0.07 0.105 0.14 Miles

1:3,200

|   |   |               |
|---|---|---------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>  |               |
|   | TÍTULO: "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA CACHIMAYO - AMAZONAS" |               |
| BACHILLER:  | ANDI JUSSEPP CHILCON QUISPE   |               |
| ASESOR:   | DR. ING. LUIS VASQUEZ RAMIREZ   |               |
| PLANO:  | ÁREA INUNDABLE TR = 250 AÑOS  |               |
| DISTRITO:   | PROVINCIA:  | DEPARTAMENTO: |
| BAGUA GRANDE  | UTCUBAMBA   | AMAZONAS      |
| AI-02   |   |               |





782600 000000

782800 000000

783000 000000

783200 000000

9362800 000000

9362600 000000

9362400 000000

9362200 000000

9362000 000000

9362800 000000

9362600 000000

9362400 000000

9362200 000000

9362000 000000

782600 000000

782800 000000

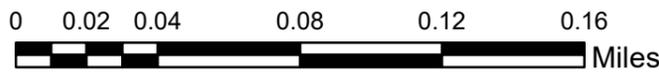
783000 000000

783200 000000

**LEYENDA**

**ÁREA INUNDABLE PARA TR=1000 AÑOS**

- 0.001037598 - 0.3
- 0.3 - 0.8
- 0.8 - 1
- 1 - 2
- 2 - 8.92



1:3,200



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

TESIS: "ZONIFICACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES EN LA CIUDAD DE BAGUA GRANDE OCASIONADO POR AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE LA QUEBRADA CACHIMAYO - AMAZONAS"

|            |                                      |               |                  |
|------------|--------------------------------------|---------------|------------------|
| BACHILLER: | <b>ANDI JUSSEPP CHILCON QUISPE</b>   | LAMINA:       |                  |
| ASESOR:    | <b>DR. ING. LUIS VASQUEZ RAMIRES</b> |               |                  |
| PLANO:     | <b>ÁREA INUNDABLE TR = 100 AÑOS</b>  |               |                  |
| DISTRITO:  | <b>BAGUA GRANDE</b>                  | PROVINCIA:    | <b>UTCUBAMBA</b> |
|            |                                      | DEPARTAMENTO: | <b>AMAZONAS</b>  |

**AI-04**