

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“Modelamiento hidrológico e hidráulico para sistema de alerta temprana aplicando el software HEC - HMS en la Quebrada Pedregal, provincia de Huarney - 2021”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

- Bach. Esquivas Beltrán, Kayra Janella
- Bach. Velazco Fernández, Augusto Renan

**ASESOR:**

- Dr. López Carranza, Atilio Rubén
- DNI N° 32965940
- Código ORCID N° 0000-0002-3631-2001

**Nuevo Chimbote - Perú**

**2023-11-30**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

Yo, Atilio Rubén López Carranza, por intermedio de la presente y en mi condición de asesor, doy conformidad a la tesis **“Modelamiento hidrológico e hidráulico para sistema de alerta temprana aplicando el software HEC - HMS en la Quebrada Pedregal, provincia de Huarney - 2021”** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, habiéndose elaborado de acuerdo al Reglamento General de Grados y Títulos, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional del Santa



**Dr. Atilio Rubén López Carranza**  
Asesor

DNI N° 32965940

Código ORCID N° 0000-0002-3631-2001

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para Sistema de Alerta  
Temprana aplicando el software HEC - HMS en la Quebrada Pedregal,  
provincia de Huarney - 2021”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL  
REVISADO Y APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:

**Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo**

**Presidente**

DNI N° 32904375

Código ORCID N° 0000-0003-4469-0288

**Ms. Janet Verónica Saavedra Vera**

**Secretaria**

DNI N° 32964440

Código ORCID N° 0000-0002-4195-982X

**Dr. Atilio Rubén López Carranza**

**Asesor**

DNI N° 32965940

Código ORCID N° 0000-0002-3631-2001



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 30 días del mes de noviembre del año dos mil veintitrés, siendo las 11: 00 horas, en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 575-2023-UNS-CFI, con fecha 05.09.2023, integrado por los siguientes docentes: Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Presidente), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Secretaria), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Integrante), Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 814-2023-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA APLICANDO EL SOFTWARE HEC – HMS EN LA QUEBRADA PEDREGAL, PROVINCIA DE HUARMEY-2021", presentado por los Bachilleres: ESQUIVES BELTRAN KAYRA JANELLA con cód. N° 0201113044, y VELAZCO FERNANDEZ AUGUSTO RENÁN con cód. N° 0200713015, quienes fueron asesorados por el docente Dr. Atilio Rubén López Carranza, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 284-2021-UNS-FI, de fecha 04.06.2021.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ESQUIVES BELTRAN KAYRA JANELLA	17	BUENO

Siendo las 12.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 30 noviembre de 2023.

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Janet Verónica Saavedra Vera  
Secretaria

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Atilio Rubén López Carranza  
Integrante



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

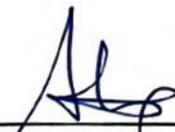
A los 30 días del mes de noviembre del año dos mil veintitrés, siendo las 11: 00 horas, en el Aula C-1 de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 575-2023-UNS-CFI, con fecha 05.09.2023, integrado por los siguientes docentes: Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Presidente), Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Secretaria), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Integrante), Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González (Accesitario) en base a la Resolución Decanal N° 814-2023-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA APLICANDO EL SOFTWARE HEC – HMS EN LA QUEBRADA PEDREGAL, PROVINCIA DE HUARMEY-2021", presentado por los Bachilleres: ESQUIVES BELTRAN KAYRA JANELLA con cód. N° 0201113044, y VELAZCO FERNANDEZ AUGUSTO RENÁN con cód. N° 0200713015, quienes fueron asesorados por el docente Dr. Atilio Rubén López Carranza, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 284-2021-UNS-FI, de fecha 04.06.2021.

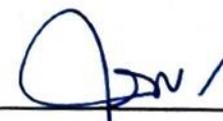
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
VELAZCO FERNÁNDEZ AUGUSTO RENAN	17	BUENO

Siendo las 12.00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 30 noviembre de 2023.

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Ms. Janet Verónica Saavedra Vera  
Secretaria

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Atilio Rubén López Carranza  
Integrante

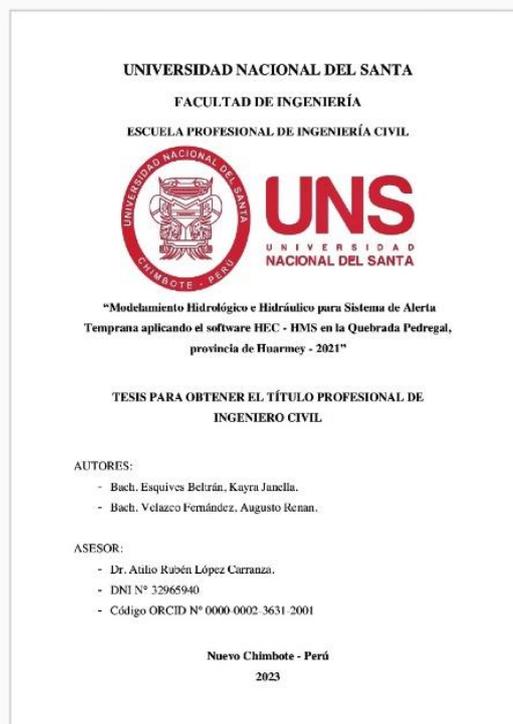


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Augusto Renan Velazco Fernández  
Título del ejercicio: MODELAMIENTO HIDROLOGICO E HIDRAULICO  
Título de la entrega: Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para Sistema de Aler...  
Nombre del archivo: TESIS\_04DIC2023\_TESIS\_REVISADA.pdf  
Tamaño del archivo: 13.7M  
Total páginas: 267  
Total de palabras: 63,214  
Total de caracteres: 322,069  
Fecha de entrega: 07-dic.-2023 05:49p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2251721456



# Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para Sistema de Alerta Temprana aplicando el software HEC - HMS en la Quebrada Pedregal, provincia de Huarmey - 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	3%
2	<a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://bvpad.indeci.gob.pe">bvpad.indeci.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://tesis.pucp.edu.pe">tesis.pucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

## **DEDICATORIA**

*En primer lugar, a Dios quien me ha dado la fortaleza y la vida, pues reconozco que la sabiduría viene de Él y todo esfuerzo será bien recompensado.*

*A mis padres Freddy y Catalina por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por el esfuerzo constante en mi educación. Por el apoyo, los consejos y ánimos en los momentos de dificultad, y por confiar siempre en mí.*

*A mi hermana Karim por el cariño, apoyo y palabras que me llenan de seguridad, impulsándome a esforzarme cada día más.*

*A mi Didi, por ser tan incondicional y mi fiel compañero durante todas las noches de desvelo.*

*A mi familia, amigos en general por los buenos consejos que me han brindado porque lo único que desean es mi bienestar.*

*Kayra Janella Esquives Beltrán*

## **DEDICATORIA**

*A Dios porque cada día me acompaña por el sendero de mi formación profesional y personal, me brinda buena salud y fortaleza para vencer mis temores y angustias.*

*A mi madre, Lydia Fernández Meléndez, quien con su esfuerzo, trabajo y motivación inculco en mí, todo lo que soy, al mostrarme su constante ejemplo para salir adelante, por sus atinados consejos, respaldo cuando sentía que podía rendirme y por estar siempre ahí cuando la necesito mostrando la gran madre que es.*

*A mi nueva familia, Fernanda, por tu paciencia, apoyo y confianza incondicional durante la culminación de esta etapa de mi vida y por traer a este mundo a nuestra hija Najwa, que me llena de esperanza y motivo para querer seguir adelante en todas mis metas con mayor tesón.*

*Augusto Renan Velazco Fernández*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra alma Mater, la Universidad Nacional del Santa, y a todos los profesionales que nos han formado durante toda la carrera universitaria, en el ámbito científico, humano y profesional, para estar acorde a las exigencias que nuestro país demanda y necesita en su desarrollo, dejándonos experiencias vividas imborrables, donde conocimos e hicimos muy buenas amistades.

A nuestro asesor Dr. ATILIO RUBÉN LÓPEZ CARRANZA, por brindarnos su apoyo incondicional, aportando sus ideas y ayudando en la verificación de todo el desarrollo de esta tesis de graduación.

A nuestras familias por brindarnos su apoyo incondicional durante el tiempo que nos tomó la elaboración de nuestro trabajo de investigación.

*Kayra Janella Esquives Bertrán y Augusto Renan Velazco Fernández.*

## ÍNDICE

### RESUMEN

### ABSTRACT

### CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

<b>1.1. DESCRIPCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3. OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
1.3.1. Objetivo General .....	9
1.3.2. Objetivos Específicos .....	9
<b>1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....</b>	<b>10</b>
1.5.1. Justificación .....	10
1.5.2. Importancia .....	11

### CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>13</b>
2.1.1. Internacionales .....	13
2.1.2. Nacionales .....	14
2.1.3. Locales .....	16
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>17</b>
2.2.1. Hidrología .....	17
2.2.2. Ciclo Hidrológico.....	17
2.2.3. Balance Hidrológico.....	19
2.2.4. Disponibilidad y Distribución del Agua en la Tierra .....	20
2.2.5. Hidrología Superficial .....	21
2.2.6. Hidrología Estadística .....	21
2.2.7. Cuenca Hidrográfica .....	22

2.2.7.1.	Delimitación .....	22
2.2.7.2.	Clasificación de las Cuenas Hidrográficas .....	23
2.2.7.2.1.	Exorreicas o Abiertas.....	23
2.2.7.2.2.	Endorreicas o Cerradas .....	23
2.2.7.2.3.	Arreicas .....	23
2.2.7.3.	Clasificación de la Red de Drenaje .....	24
2.2.7.3.1.	Corrientes Efímeras .....	24
2.2.7.3.2.	Corrientes Intermitentes.....	24
2.2.7.3.3.	Corrientes Perennes .....	24
2.2.8.	Principales Parámetros de la Cuenca Hidrográfica.....	25
2.2.8.1.	Parámetros de Forma .....	25
2.2.8.1.1.	Área (A).....	25
2.2.8.1.2.	Perímetro (P) .....	26
2.2.8.1.3.	Longitud Mayor del Río ( $L_R$ ).....	26
2.2.8.1.4.	Longitud Axial de la Cuenca (L) .....	26
2.2.8.1.5.	Ancho Promedio (B).....	26
2.2.8.1.6.	Desnivel Altitudinal (DA) .....	26
2.2.8.1.7.	Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius ( $K_C$ ) .....	26
2.2.8.1.8.	Índice o Factor de Forma (F) .....	28
2.2.8.1.9.	Índice o Coeficiente de Circularidad de Miller ( $I_C$ ) .....	29
2.2.8.1.10.	Rectángulo Equivalente .....	29
2.2.8.1.11.	Relación de Elongación ( $R_e$ ).....	31
2.2.8.2.	Parámetros de Relieve .....	31
2.2.8.2.1.	Curva Hipsométrica.....	31
2.2.8.2.2.	Polígono de Frecuencia.....	32
2.2.8.2.3.	Perfil Longitudinal.....	32
2.2.8.2.4.	Pendiente Promedio .....	32
2.2.8.2.5.	Altitud Media de la Cuenca .....	33

2.2.8.2.6.	Altitud más Frecuente.....	33
2.2.8.3.	Parámetros de la Red Hídrica .....	33
2.2.8.3.1.	Orden de los Ríos .....	33
2.2.8.3.2.	Razón de Bifurcación .....	34
2.2.8.3.3.	Densidad de Drenaje.....	34
2.2.8.3.4.	Pendiente del Cauce Principal .....	35
2.2.9.	Tiempo de Concentración ( $t_c$ ).....	35
2.2.10.	Inundación.....	37
2.2.11.	Cobertura de Suelo .....	37
2.2.12.	Cobertura Vegetal .....	37
2.2.13.	Metodología de Curva Número .....	38
2.2.14.	Rugosidad de la Superficie.....	38
2.2.15.	Metodología Pfafstetter .....	40
2.2.15.1.	Características de la Metodología.....	40
2.2.15.2.	Consideraciones Básicas del Sistema .....	40
2.2.16.	Sistema de Información Hidrometeorológica .....	41
2.2.16.1.	Precipitación.....	41
2.2.16.2.	Precipitación Promedio.....	42
2.2.16.3.	Interpretación de Datos de Lluvia.....	44
2.2.16.4.	Detección de Datos Dudosos .....	44
2.2.16.5.	Análisis de Frecuencia.....	47
2.2.16.6.	Distribuciones Teóricas .....	47
2.2.16.6.1.	Distribución Normal o Gaussiana .....	47
2.2.16.6.2.	Distribución Log Normal 2 Parámetros .....	48
2.2.16.6.3.	Distribución Log Normal 3 Parámetros .....	48
2.2.16.6.4.	Distribución Gamma 2 Parámetros .....	49
2.2.16.6.5.	Distribución Gamma 3 Parámetros o Pearson Tipo III .....	50
2.2.16.6.6.	Distribución Log Pearson Tipo III.....	50

---

2.2.16.6.7. Distribución Gumbel .....	51
2.2.16.6.8. Distribución Log Gumbel .....	52
2.2.16.7. Prueba de Bondad de Ajuste .....	52
2.2.16.7.1. Prueba Smirnov - Kolmogorov .....	53
2.2.17. Periodo de Retorno.....	55
2.2.17.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) .....	55
2.2.17.1.1. Construcción de las Curvas IDF .....	56
2.2.17.2. Hietograma de Precipitación.....	58
2.2.17.3. Hietograma de Bloques Alternos .....	59
2.2.18. Modelamiento Hidrológico .....	59
2.2.18.1. Teorema de Transporte de Reynolds .....	62
2.2.18.1.1. Movimiento del Flujo .....	62
2.2.18.2. Ecuación de Continuidad Integral.....	63
2.2.18.3. Modelamiento con HEC-HMS. ....	64
2.2.18.4. Fases de Trabajo del HEC-HMS.....	65
2.2.18.4.1. Separación de la Lluvia Neta o Efectiva (Loss Method).....	65
2.2.18.4.2. Transformación de Precipitación Neta a Escorrentía Directa (Trasnform Method) .....	67
2.2.18.4.3. Agregar a la Escorrentía Directa la Escorrentía Base .....	68
2.2.18.4.4. Tránsito de Caudales .....	69
2.2.18.5. Componentes Principales de un Proyecto HEC-HMS .....	71
2.2.18.5.1. Modelo de la Cuenca (Basin Model) .....	72
2.2.18.5.2. Modelo Meteorológico (Meteorological Model) .....	73
2.2.18.5.3. Especificaciones de Control (Control Specifications).....	73
2.2.19. Modelamiento Hidráulico .....	73
2.2.19.1. Clasificación de los Modelos Hidráulicos.....	74
2.2.19.1.1. Modelo Físico.....	74
2.2.19.1.2. Modelo Analógico .....	75
2.2.19.1.3. Modelo Matemático.....	75

---

2.2.19.2. Software HEC RAS .....	76
2.2.19.2.1. Ecuaciones integradas al HEC-RAS .....	76
2.2.19.2.2. Requerimientos para el Modelo Hidráulico en HEC-RAS.....	78
2.2.19.2.3. Aplicación de la Tecnología SIG en el Modelamiento.....	82
2.2.20. Sistema de Alerta Temprana (SAT) .....	82
2.2.20.1. Definición.....	82
2.2.20.2. Propósito.....	83
2.2.20.3. Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SAT-COM).....	83
2.2.20.4. Componentes de Diseño e Implementación del SAT-COM .....	83
2.2.20.4.1. Conocimiento del Riesgo.....	83
2.2.20.4.2. Servicio de Seguimiento y Alerta .....	85
2.2.20.4.3. Difusión y Comunicación .....	88
2.2.20.4.4. Capacidad de Respuesta .....	89
 <b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
<b>3.1. MATERIALES .....</b>	<b>92</b>
3.1.1. Información Característica de la Cuenca.....	92
3.1.1.1. Hidrografía .....	92
3.1.1.2. Climatología .....	93
3.1.1.3. Precipitación.....	93
3.1.1.3.1. Precipitación por Zonas .....	93
3.1.1.4. Temperatura.....	94
3.1.1.5. Límites.....	96
3.1.2. Modelo Digital de Elevación para Delimitar la Cuenca .....	96
3.1.3. Información de Suelos y Cobertura Vegetal.....	97
3.1.3.1. Información de Suelos .....	97
3.1.3.2. Cobertura Vegetal.....	97
3.1.4. Sistema de Estaciones Pluviométricas.....	98
<b>3.2. MÉTODOS.....</b>	<b>100</b>

---

3.2.1. Tipo de Investigación .....	100
3.2.2. Alcance de la Investigación.....	101
3.2.3. Nivel de Análisis .....	101
3.2.4. Unidad de Análisis .....	102
3.2.5. Población y Muestra.....	102
3.2.5.1. Población.....	102
3.2.5.2. Muestra.....	102
3.2.6. Variables .....	102
3.2.6.1. Definición Conceptual .....	102
3.2.6.1.1. Variable Independiente .....	102
3.2.6.1.2. Variable Dependiente .....	103
3.2.6.2. Definición Operacional.....	103
3.2.6.2.1. Variable Independiente .....	103
3.2.6.2.2. Variable dependiente .....	103
3.2.6.3. Dimensión .....	103
3.2.6.3.1. Variable Independiente.....	103
3.2.6.3.2. Variable dependiente .....	103
3.2.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	104
3.2.7.1. Técnicas de Recolección de Datos.....	104
3.2.7.2. Instrumentos .....	104
3.2.8. Procedimiento y Técnicas de Análisis de Datos .....	105
3.2.9. Aspectos Éticos.....	106
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>108</b>
4.1.1. Procesamiento Geoespacial de la Cuenca.....	108
4.1.1.1. Área de Estudio .....	108
4.1.1.2. Quebrada Pedregal.....	109
4.1.1.2.1. Ubicación Política y Geográfica .....	109

---

---

4.1.1.3.	Procesamiento Geoespacial de la Cuenca con HEC-HMS.....	110
4.1.1.3.1.	Configuración del Proyecto .....	111
4.1.1.3.2.	Modelo de la Cuenca .....	111
4.1.1.3.3.	Georreferenciación .....	112
4.1.1.3.4.	Delimitación de la Cuenca Pedregal .....	113
4.1.1.4.	Parámetros Morfométricos y Fisiográficos de la Cuenca Pedregal.....	117
4.1.1.4.1.	Parámetros de Forma .....	117
4.1.1.4.2.	Parámetros de Relieve .....	119
4.1.1.4.3.	Parámetros de la Red Hídrica .....	121
4.1.1.5.	Creación de Subcuencas .....	122
4.1.1.6.	Parámetros adoptados en HEC-HMS.....	124
4.1.1.6.1.	Método de Perdida (Loss Method) .....	124
4.1.1.6.2.	Mapa Temático de Curva Número (CN).....	125
4.1.1.6.3.	Método de Transformación (Transform Method) .....	126
4.1.1.6.4.	Flujo Base (Baseflow Method).....	127
4.1.1.6.5.	Tránsito de Caudales .....	127
4.1.2.	Información Hidrometeorológica .....	128
4.1.2.1.	Precipitaciones Máximas de 24 Horas .....	128
4.1.2.2.	Producto Grillado PISCO .....	130
4.1.2.3.	Precipitación Máxima de 24 Horas del Producto Grillado PISCO.....	131
4.1.2.4.	Prueba de Datos Dudosos .....	131
4.1.2.5.	Funciones de Probabilidad que mejor se ajustan a la Precipitación Histórica .....	133
4.1.2.6.	Prueba de Bondad de Ajuste .....	133
4.1.2.7.	Precipitaciones Máximas de 24 Horas para diferentes Periodos de Retorno .....	134
4.1.2.8.	Curvas IDF o Intensidad – Duración - Frecuencia.....	135
4.1.2.9.	Tormenta de Diseño para distintos Periodos de Retorno .....	136
4.1.3.	Modelamiento Hidrológico en HEC-HMS 4.10.....	138
4.1.3.1.	Modelo de la Cuenca .....	138

---

---

4.1.3.2. Modelo Meteorológico .....	139
4.1.3.3. Especificaciones de Control.....	140
4.1.3.4. Simulación del Modelo y Resultados.....	141
4.1.4. Modelamiento Hidráulico .....	141
4.1.4.1. Tramo en Estudio .....	141
4.1.4.2. Información Topográfica.....	144
4.1.4.3. Procesamiento de las Secciones Geométricas .....	146
4.1.4.4. Coeficiente de Rugosidad de Manning .....	146
4.1.4.5. Coeficiente de Contracción y Expansión .....	147
4.1.4.6. Condiciones de Flujo .....	147
4.1.4.7. Simulación de Escenarios .....	148
4.1.5. Sistema de Alerta Temprana SAT-COM.....	150
4.1.5.1. Conocimiento del Riesgo.....	150
4.1.5.1.1. Determinación del Peligro .....	151
4.1.5.1.2. Análisis de Vulnerabilidad .....	151
4.1.5.1.3. Estimación del Riesgo .....	153
4.1.5.2. Monitoreo y Seguimiento .....	153
4.1.5.3. Difusión y Comunicación de la Alerta.....	155
4.1.5.4. Capacidad de Respuesta .....	155
<b>4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>157</b>
4.2.1. Estudio Hidrológico de la Cuenca Pedregal .....	157
4.2.2. Parámetros HEC HMS .....	161
4.2.3. Sistema de Información Hidrometeorológica .....	165
4.2.4. Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS 4.10 .....	170
4.2.5. Modelamiento Hidráulico con HEC RAS 6.4.1 .....	176
4.2.6. Sistema de Alerta Temprana SAT-COM.....	178
<b>4.3. DISCUSIONES .....</b>	<b>180</b>

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>183</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>185</b>

## **CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES**

### **ANEXOS:**

<b>ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>196</b>
<b>ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>	<b>199</b>
<b>ANEXO 3: OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....</b>	<b>200</b>
<b>ANEXO 4: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH.....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXO 5: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN HUAYAN.....</b>	<b>202</b>
<b>ANEXO 6: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN QUIAN.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO 7: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN PUNTA CULEBRAS .....</b>	<b>223</b>
<b>ANEXO 8: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN SAN DIEGO .....</b>	<b>224</b>
<b>ANEXO 9: DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD TEÓRICAS.....</b>	<b>225</b>
<b>ANEXO 10: MÉTODO DICK PESCHKE .....</b>	<b>234</b>
<b>ANEXO 11: HIETOGRAMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO .....</b>	<b>236</b>
<b>ANEXO 12: PLANOS .....</b>	<b>241</b>
Plano topográfico del área de estudio (T-01).....	241
Plano de la cuenca de la Quebrada Pedregal (U-01).....	241

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Fenómenos naturales y antrópicos entre los años 2003 y 2022.</i> .....	4
<b>Tabla 2</b> <i>Personas víctimas de lluvias intensas en el Perú entre los años 2003 y 2022.</i> .....	5
<b>Tabla 3</b> <i>Distribución del agua en el planeta.</i> .....	20
<b>Tabla 4</b> <i>Clasificación de una cuenca según su área.</i> .....	26
<b>Tabla 5</b> <i>Clasificación de una cuenca según <math>K_c</math>.</i> .....	27
<b>Tabla 6</b> <i>Tipos de terreno en función de la pendiente media.</i> .....	33
<b>Tabla 7</b> <i>Formulas usadas para el cálculo del Tiempo de Concentración.</i> .....	36
<b>Tabla 8</b> <i>Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad por el Método de Cowan.</i> .....	39
<b>Tabla 9</b> <i>Valores de <math>K_n</math> para la prueba de datos dudosos de la pendiente media.</i> .....	46
<b>Tabla 10</b> <i>Valores críticos de <math>\Delta_0</math> del estadístico de Smirnov - Kolmogorov <math>\Delta</math>.</i> .....	54
<b>Tabla 11</b> <i>Iconos de la barra “Elementos” de la Herramienta Creación.</i> .....	72
<b>Tabla 12</b> <i>Precipitación por unidades hidrográficas.</i> .....	94
<b>Tabla 13</b> <i>Distribución de temperatura en la parte baja de la cuenca.</i> .....	95
<b>Tabla 14</b> <i>Distribución de temperatura en la parte media y alta de la cuenca.</i> .....	95
<b>Tabla 15</b> <i>Información de Estaciones Pluviométricas.</i> .....	99
<b>Tabla 16</b> <i>Unidades hidrográficas principales.</i> .....	108
<b>Tabla 17</b> <i>Información de los Cauces de la Cuenca Pedregal.</i> .....	122
<b>Tabla 18</b> <i>Características físicas de las subcuencas.</i> .....	123
<b>Tabla 19</b> <i>Características físicas de los cauces.</i> .....	124
<b>Tabla 20</b> <i>Número de Curva en cada subcuenca.</i> .....	126
<b>Tabla 21</b> <i>Tiempo de Concentración (<math>T_c</math>) de las subcuencas.</i> .....	127
<b>Tabla 22</b> <i>Tiempo de Retraso (Lag Time) de las subcuencas.</i> .....	127
<b>Tabla 23</b> <i>Parámetros “X” y “K”.</i> .....	128
<b>Tabla 24</b> <i>Precipitaciones Máximas de 24 horas Anuales (mm).</i> .....	129
<b>Tabla 25</b> <i>Precipitación Mínimas y Máxima de 24 horas obtenida de PISCO.</i> .....	131

---

<b>Tabla 26</b> <i>Parámetros Estadísticos para Prueba de Datos Dudosos.</i> .....	132
<b>Tabla 27</b> <i>Prueba de Kolmogorov - Smirnov para distribuciones de probabilidad teórica.</i> .....	134
<b>Tabla 28</b> <i>Precipitaciones Máximas para diferentes periodos de retorno.</i> .....	134
<b>Tabla 29</b> <i>Precipitaciones Máximas de 24 horas corregidas.</i> .....	135
<b>Tabla 30</b> <i>Tormentas de diseño para diferentes periodos de retorno.</i> .....	137
<b>Tabla 31</b> <i>Valores de rugosidad “n” calculados con el Método de Cowan.</i> .....	147
<b>Tabla 32</b> <i>Caudal Máximo según Periodo de Retorno.</i> .....	148
<b>Tabla 33</b> <i>Relación de parámetros morfométricos y fisiográficos.</i> .....	157
<b>Tabla 34</b> <i>Subcuencas definidas en la Cuenca Pedregal.</i> .....	160
<b>Tabla 35</b> <i>Cauces definidos para la Cuenca Pedregal.</i> .....	161
<b>Tabla 36</b> <i>Áreas parciales y Numero de Curva de la Cuenca Pedregal.</i> .....	162
<b>Tabla 37</b> <i>Número de Curva en cada subcuenca.</i> .....	162
<b>Tabla 38</b> <i>Retención Potencial y Abstracciones Iniciales en la Subcuencas.</i> .....	163
<b>Tabla 39</b> <i>Diferentes Tiempos de Concentración (<math>T_c</math>) usados en la Cuenca Pedregal.</i> .....	164
<b>Tabla 40</b> <i>Parámetros para la metodología de Muskingum”.</i> .....	164
<b>Tabla 41</b> <i>Precipitación Máxima de 24 horas (mm) para el periodo 1981 - 2016.</i> .....	165
<b>Tabla 42</b> <i>Precipitación Promedio Máxima de 24 horas.</i> .....	166
<b>Tabla 43</b> <i><math>\Delta</math> teórico para diferentes distribuciones de probabilidad teórica.</i> .....	168
<b>Tabla 44</b> <i>Precipitación Máxima corregida (mm) para diferentes periodos de retorno.</i> .....	169
<b>Tabla 45</b> <i>Precipitación Máxima del Hietograma según periodo de retorno.</i> .....	170
<b>Tabla 46</b> <i>Caudales máximos en el punto de aforo para cada periodo de retorno.</i> .....	176
<b>Tabla 47</b> <i>Valores de Rugosidad “n”.</i> .....	176
<b>Tabla 48</b> <i>Resultados del Modelamiento Hidráulico.</i> .....	177

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Ciclo hidrológico del agua con un balance promedio de 100 unidades.</i>	18
<b>Figura 2</b>	<i>Parteaguas o divortium acuarum y estación de aforo de una cuenca.</i>	23
<b>Figura 3</b>	<i>Clases de corrientes en cuencas hidrográficas.</i>	25
<b>Figura 4</b>	<i>Parámetros para el cálculo del Factor de Forma (izquierdo) y comparación del factor de forma de 2 cuencas (derecho).</i>	28
<b>Figura 5</b>	<i>Cuenca hidrográfica (izquierda) y rectángulo equivalente (derecha).</i>	30
<b>Figura 6</b>	<i>Análisis Hipsométrico.</i>	32
<b>Figura 7</b>	<i>Orden de las corrientes de una cuenca.</i>	34
<b>Figura 8</b>	<i>Métodos para calcular lluvias medias sobre una cuenca.</i>	43
<b>Figura 9</b>	<i>Hietograma de diseño.</i>	59
<b>Figura 10</b>	<i>Clasificación de modelos hidrológicos.</i>	60
<b>Figura 11</b>	<i>Representación esquemática de la operación de un sistema (izquierda) y la Cuenca como un sistema hidrológico (derecha).</i>	61
<b>Figura 12</b>	<i>Volumen de control.</i>	63
<b>Figura 13</b>	<i>Precipitación Neta o Efectiva.</i>	65
<b>Figura 14</b>	<i>Obtención de la Escorrentía directa.</i>	67
<b>Figura 15</b>	<i>Consideración del Flujo Base preexistente.</i>	69
<b>Figura 16</b>	<i>Tránsito de Caudales.</i>	69
<b>Figura 17</b>	<i>Almacenamiento por prisma y por cuña en un tramo de un cauce.</i>	70
<b>Figura 18</b>	<i>Clasificación de los Modelos Hidráulicos.</i>	74
<b>Figura 19</b>	<i>Presentación de la ecuación de energía.</i>	77
<b>Figura 20</b>	<i>Sección transversal de un cauce de río.</i>	79
<b>Figura 21</b>	<i>Distancia longitudinal del cauce de un río.</i>	79
<b>Figura 22</b>	<i>Niveles de riesgo para la toma de decisiones e implementación del SAT-COM.</i>	84
<b>Figura 23</b>	<i>Matriz de cálculo del riesgo.</i>	85

<b>Figura 24</b> Registro de precipitaciones. ....	86
<b>Figura 25</b> Umbrales establecidos para cada nivel de Alerta o Alarma. ....	87
<b>Figura 26</b> Implementación de Limnómetro y niveles o umbrales establecidos. ....	87
<b>Figura 27</b> Umbrales establecidos para cada nivel de Alerta o Alarma. ....	88
<b>Figura 28</b> Relación del SAT y los Planes de Contingencia. ....	89
<b>Figura 29</b> Zonas de peligro por inundación y zonas de peligro por huayco. ....	90
<b>Figura 30</b> Modelo de Elevación Digital para delimitación de la Cuenca Pedregal. ....	96
<b>Figura 31</b> Mapa de Suelos formulado por el Ministerio del Ambiente. ....	97
<b>Figura 32</b> Mapa de Cobertura Vegetal formulado por el Ministerio del Ambiente. ....	98
<b>Figura 33</b> Polígono de Thiessen de las Estaciones del Departamento de Ancash. ....	100
<b>Figura 34</b> Mapa de ubicación política del Distrito de Huarney. ....	109
<b>Figura 35</b> Mapa de ubicación política y geográfica de la Quebrada Pedregal. ....	110
<b>Figura 36</b> Configuración del Programa HEC-HMS. ....	111
<b>Figura 37</b> Modelo de Elevación Digital de la Cuenca Pedregal. ....	112
<b>Figura 38</b> Corrección del Modelo Digital de Elevación. ....	113
<b>Figura 39</b> Dirección del Flujo (Izquierdo) y Acumulación del Flujo (Derecho) en el MDE. ....	114
<b>Figura 40</b> Identificación de la Red de Drenaje del Modelo de Elevación Digital. ....	115
<b>Figura 41</b> Estación de Aforo en la Cuenca Pedregal. ....	116
<b>Figura 42</b> Modelo Hidrológico de la Cuenca Pedregal. ....	117
<b>Figura 43</b> Rectángulo equivalente de la Cuenca Pedregal. ....	119
<b>Figura 44</b> Áreas parciales para la obtención de los parámetros de relieve. ....	119
<b>Figura 45</b> Curva Hipsométrica de la Cuenca Pedregal. ....	120
<b>Figura 46</b> Polígono de Frecuencia. ....	120
<b>Figura 47</b> Perfil Longitudinal de la Cuenca Pedregal. ....	121
<b>Figura 48</b> Modelo Hidrológico Final de la Cuenca Pedregal. ....	123
<b>Figura 49</b> Mapa Temático de Curva Número. ....	125
<b>Figura 50</b> Precipitación máxima de 24 horas y umbrales mínimo y máximo de la prueba de datos dudosos. ....	132

---

<b>Figura 51</b> Comparación de las Distribuciones Teóricas aplicadas a nuestra serie de datos de precipitación en la Cuenca Pedregal. ....	133
<b>Figura 52</b> Curva IDF para las precipitaciones máximas de 24 horas. ....	136
<b>Figura 53</b> Hietograma de precipitación de diseño para un periodo de retorno de 1000 años en la Cuenca Pedregal. ....	138
<b>Figura 54</b> Modelo Hidrológico HEC-HMS de la Cuenca Pedregal. ....	139
<b>Figura 55</b> Hietograma para precipitación de diseño. ....	140
<b>Figura 56</b> Especificaciones de Control para la Cuenca Pedregal. ....	140
<b>Figura 57</b> Hidrograma de avenidas para un periodo de retorno de 1000 años. ....	141
<b>Figura 58</b> Subcuencas y cauces de la Cuenca Pedregal obtenido en el HEC-HMS. ....	142
<b>Figura 59</b> Sistema de canales en la Cuenca Pedregal. ....	143
<b>Figura 60</b> Ubicación del punto de la Estación de Aforo y toma de datos. ....	143
<b>Figura 61</b> Medición de la sección del tramo natural seleccionado. ....	144
<b>Figura 62</b> Perfil horizontal y vertical del Tramo 30A. ....	145
<b>Figura 63</b> Perfil horizontal del tramo 30A (izquierda) y vista ampliada de la cabeza de flecha de dirección aguas abajo (derecha). ....	146
<b>Figura 64</b> Configuración del periodo de retorno de 500 años. ....	148
<b>Figura 65</b> Simulación de profundidad (izquierda) y velocidad (derecha) para un periodo de retorno de 500 años. ....	149
<b>Figura 66</b> Configuración del periodo de retorno de 1000 años. ....	149
<b>Figura 67</b> Simulación de profundidad (izquierda) y velocidad (derecha) para un periodo de retorno de 1000 años. ....	150
<b>Figura 68</b> Centro Poblado de Tayca. ....	151
<b>Figura 69</b> Áreas agrícolas del Centro Poblado de Tayca. ....	151
<b>Figura 70</b> Viviendas construidas de adobe y esteras, contiguas al cauce natural de la cuenca Pedregal. ....	152
<b>Figura 71</b> Mapa de zonas inundables. ....	152
<b>Figura 72</b> Mapa de Riesgo. ....	153

---

<b>Figura 73</b> <i>Mapa de Ubicación de los Instrumentos de Medición.</i> .....	154
<b>Figura 74</b> <i>Mapa de Evacuación.</i> .....	156
<b>Figura 75</b> <i>Delimitación de subcuencas y cauces de la Cuenca Pedregal realizado en el programa HEC-HMS 4.10.</i> .....	159
<b>Figura 76</b> <i>Áreas de influencia de las Estaciones pluviométricas en la Cuenca Pedregal.</i> .....	167
<b>Figura 77</b> <i>Histograma de registro histórico.</i> .....	168
<b>Figura 78</b> <i>Comparación entre la Distribución Log Gumbel y de Frecuencias de Weibull.</i> .....	169
<b>Figura 79</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 2 años.</i> .....	170
<b>Figura 80</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 5 años.</i> .....	171
<b>Figura 81</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 10 años.</i> .....	171
<b>Figura 82</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 25 años.</i> .....	171
<b>Figura 83</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 50 años.</i> .....	172
<b>Figura 84</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 100 años.</i> .....	172
<b>Figura 85</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 200 años.</i> .....	172
<b>Figura 86</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 500 años.</i> .....	173
<b>Figura 87</b> <i>Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 1000 años.</i> .....	173
<b>Figura 88</b> <i>Hidrograma de la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 500 años.</i> .....	174
<b>Figura 89</b> <i>Hidrograma de la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 1000 años.</i> .....	174
<b>Figura 90</b> <i>Modelamiento Hidráulico de la Cuenca Pedregal.</i> .....	177
<b>Figura 91</b> <i>Mapa de zonas de inundación por niveles.</i> .....	178
<b>Figura 92</b> <i>Sección transversal de la progresiva 2+800 del Cauce 30A para un periodo de retorno de 1000 años.</i> .....	179
<b>Figura 93</b> <i>Ubicación del Punto de Aforo de la Cuenca Pedregal.</i> .....	196
<b>Figura 94</b> <i>Medición de secciones del cauce principal de la cuenca Pedregal.</i> .....	196
<b>Figura 95</b> <i>Obtención de valores de rugosidad del cauce principal de la cuenca Pedregal.</i> .....	197
<b>Figura 96</b> <i>Canales erosionados por flujo de agua.</i> .....	197
<b>Figura 97</b> <i>Zonas lavadas donde se presenta aparente invasión de inundación por desbordes.</i> .....	198

<b>Figura 98</b> <i>Canal artificial para el aprovechamiento de la precipitación en el regadío de zonas agrícolas. ....</i>	198
<b>Figura 99</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 2 años. ....</i>	236
<b>Figura 100</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 5 años.....</i>	236
<b>Figura 101</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 10 años.....</i>	237
<b>Figura 102</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 25 años.....</i>	237
<b>Figura 103</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 50 años.....</i>	238
<b>Figura 104</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 100 años.....</i>	238
<b>Figura 105</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 200 años.....</i>	239
<b>Figura 106</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 500 años.....</i>	239
<b>Figura 107</b> <i>Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 1000 años.....</i>	240
<b>Figura 108</b> <i>Hietogramas de precipitación calculado para diferentes periodos de retorno. ....</i>	240

## **RESUMEN**

La necesidad de realizar este estudio se justifica en la creciente ocurrencia de lluvias en todo el territorio del Perú, siendo esta una de las causas principales de desastres durante cada año, generando pérdidas económicas y de vidas; con el desarrollo del modelo hidrológico e hidráulico prevemos poner en ejecución un Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SAT-COM) contra desbordes e inundaciones en la cuenca de la quebrada Pedregal, Distrito Huarney, Provincia Huarney, Ancash 2021.

La presente investigación aplicada comienza con la recopilación de información física e hidrometeorológica de la cuenca, con el propósito de hallar caudales pico de diseño para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000) mediante el ingreso de precipitaciones máximas de 24 horas y la formulación de un modelo hidrológico en el programa HEC-HMS en su versión 4.10, el cual tomo las precipitaciones que ingresamos y las transformo en escorrentía que fluye en toda la zona trabajada.

La información hidrológica obtenida fue es llevada al programa HEC-RAS en su versión 6.4.1, donde fue implementada en un modelo hidráulico de la cuenca, para analizar como este se desarrolló y en qué zonas del cauce genero desbordes e inundaciones.

Finalmente, toda la información obtenida permitió proponer el SAT-COM para la zona estudiada, mediante la formulación de mapas de inundación, riesgo y evacuación que ayudaran a la población a mitigar los daños generados indirectamente por las lluvias extremas.

***Palabras Clave:*** Modelo hidrológico, Modelo Hidráulico, Sistema de Alerta Temprana, escorrentía e inundaciones

## **ABSTRACT**

The need to carry out this study is justified by the increasing occurrence of rainfall throughout the territory of Peru, which is one of the main reasons of disasters each year, causing economic and human life losses. According to the development of the hydrological and hydraulic model, we plan to implement a Community-Based Early Warning Systems (CBEWS) for flooding and inundation in the Pedregal basin, Huarmey district, Ancash 2021.

This applied research begins with the collection of physical and hydrometeorological information of the Pedregal basin, with the purpose of finding peak design flows for different return periods (2, 5, 10, 25, 50, 50, 100, 200, 500 and 1000) by entering maximum 24-hour rainfall and the formulation of a hydrological model in the HEC-HMS program in its version 4.10, which took the rainfall we entered and transformed them into runoff flowing across the area worked.

The hydrological information collected was entered into the HEC-RAS program in its version 6.4.1, where it was implemented in a hydraulic model of Pedregal basin in order to analyze how it developed and which areas of the riverbed it generated flooding and inundation.

Finally, all the information collected made it possible to propose a Community-Based Early Warning System (CBEWS) for the area studied, through the formulation of flood risk and evacuation maps that will help the population to mitigate the damage generated indirectly by extreme rainfall.

**Keywords:** *Hydrological model, Hydraulic model, Community-Based Early Warning System, runoff flowing e inundation*



# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. DESCRIPCIÓN**

El Perú es uno de los países con mayor diversidad natural del mundo, los cuales se encuentran distribuidos en 3 regiones geográficas bien definidas, denominadas: costa (o desierto costero), sierra (o región andina) y selva (o región amazónica), cada una de ellas con sus propias peculiaridades, donde se desarrolla la vida en todas sus formas con sus respectivos ecosistemas.

El crecimiento desmedido de la vida humana ha conllevado a la explotación indiscriminada de los recursos naturales para su supervivencia y beneficio propio, generando un desequilibrio de estos, y a la vez, convirtiéndolo en mayor contaminación del medio ambiente, cuyas consecuencias, hoy en día, se hacen notar y sentir, siendo la más perceptible el calentamiento global, que viene provocando cambios climáticos abruptos en todo el mundo, y el Perú no es ajeno a ello, como consecuencia se viene produciendo el deshielo de los glaciares, inundaciones a casusa del fenómeno del niño, huaicos, deslizamientos, entre otros, afectando gravemente a las poblaciones con menor desarrollo social y económico, quienes para acceder a un terreno donde conformar un hogar, se ven en la necesidad de asentarse en zonas de peligro latente o extrema peligrosidad, como en las orillas de los cauces de ríos, quebradas inactivas, zonas inundables, etc., que ante la aparición de estos eventos de la naturaleza, pueden producirse pérdidas de todo tipo e incluso la vida.

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2022) en su Informe Técnico N° 04-2022/SENAMHI-DMA-SPC-PE nos indica que en el Perú, el periodo de lluvias inicia en el mes de setiembre, y esta se prolongara hasta el mes de mayo; sin embargo las mayores intensidades no aparecerán hasta el mes de enero, con una duración promedio de 3 meses, ósea, hasta el mes de marzo, cuyo comportamiento

dependerá del océano y la atmosfera, presentándose valores de precipitación extremo tanto superiores como inferiores a la media en un determinado espacio y tiempo (p. 2).

En complemento a lo indicado por CENEPRED, tenemos que la lluvia es un fenómeno que es intensificado por otros sucesos, por ejemplo, uno de ellos es el denominado Fenómeno de “El Niño”, cuyo significado es explicado de mejor manera por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2014), quienes mediante una pequeña reseña ahondan en el término, narrando que, hacia finales de diciembre de los últimos años del siglo XIX, el mar de la costa norte sufría incrementos de temperatura, lo cual era percibido por los pescadores de la zona, a la que llamaron corriente de “El Niño”. Además, nos explica que este evento recurrente puede durar varios meses y en la actualidad se conoce que este calentamiento se remarca de manera constante cada cierto periodo de años producto de la interacción entre la atmosfera y el Océano Pacífico Ecuatorial (p. 8).

Por otro lado, el Fenómeno del Niño, tiene su contraparte denominada “La Niña”, ambos en conjunto integran el ciclo natural del clima denominado El Niño Oscilación del Sur (ENOS) cuya influencia es a nivel global, CENEPRED (2013) nos indica que este fenómeno ENOS presenta dos fases opuestas, una con temperaturas cálidas e inusuales conocido como “El Niño” y otra con temperaturas frías y perdurables conocida como “La Niña”, llamadas así por las condiciones opuestas que presentan. Además, nos pone en aviso que estas no serían las únicas fluctuaciones climáticas presentes en la naturaleza, siendo solo 2 que integran un complejo y vasto sistema de oscilaciones naturales del clima pero que son de interés por producirse en el Océano Pacífico Ecuatorial (Introducción, párrafo 1-2).

Habiendo definido las características de estas 2 fluctuaciones climáticas del ENOS, estudios actuales han llegado a la conclusión que el fenómeno El Niño que se produce en la costa del Perú y Ecuador (Scientific Committee for Ocean Research [SCOR], 1983), no guarda una relación absoluta con las fluctuaciones costeras del ENOS (Deser y Wallace, 1987), pero

que en la práctica la comunidad científica se refiere a El Niño como una fase del ENOS (Trenberth, 1997). Ante la falta de consenso en la homogeneidad de los conceptos, el Instituto del Mar del Perú (IMARPE, 2022) nos dice que el Comité Multisectorial del Estudio Nacional del Fenómeno del Niño (ENFEN) propuso dos definiciones que explican el cambio de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Perú y el Ecuador, primero introduce la definición de “El Niño Costero” como la elevación anormal de la TSM durante varios meses seguidos que puede venir acompañado de lluvias fuertes durante el verano en la costa norte, segundo introduce la definición de “El Niño en el Pacífico Central” que se presenta como la reducción de las lluvias en la zona andina y amazónica del Perú.

Entonces, teniendo en cuenta los fenómenos que ocurren en las costas peruanas, en especial El Niño y Niño Costero, es crítico pensar que el Perú está expuesto a lluvias de diferentes magnitudes como se corrobora en el Cuadro 1.1, donde las lluvias encabezan la lista con mayor ocurrencia en el territorio nacional, con un total de 31,902 sucesos de lluvias intensas.

**Tabla 1**

*Fenómenos naturales y antrópicos entre los años 2003 y 2022.*

FENÓMENO	Total de Incidencias
LLUVIAS INTENSAS	31,902
INCENDIOS	31,657
VIENTOS FUERTES	13,920
HELADAS	10,179
INUNDACIÓN	6,355
DESLIZAMIENTOS	5,434
PRECIPITACIONES - GRANIZO	3,641

*FUENTE:* Adaptado de *Información estadística oficial sobre emergencias, desastres y daños.* (29 de noviembre de 2022). INDECI.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNTFkOWRhYWQtYmMwMS00OWNmLTg4ZTctNjZjYTc1OTIyN2M0IiwidCI6IjNlZWZkMjZlTlhNTUtNDg4MCM0ODEyLWEzMGZjZGU3OGEyZCJ9&pageName=ReportSectioncd99edcca07a5ff10551>

Además, las lluvias en muchos casos traen consigo desastres, destrucción y perjudica hasta la misma vida humana, ya que, indirectamente es la causa principal de otros fenómenos, como son los deslizamientos de lodo con piedras o también conocido como huaycos, desborde de ríos o inundaciones, entre otros, como nos demuestra el Cuadro 1.2, de personas que han sido víctimas de las lluvias, observando el pico más alto ocurrido en el 2017, con mayor cantidad de afectados, damnificados y fallecidos.

**Tabla 2**

*Personas víctimas de lluvias intensas en el Perú entre los años 2003 y 2022.*

Año	Afectados	Damnificados	Fallecidos	Lesionados	Desaparecidos
2003	30,598	7,324	12	31	1
2004	41,082	3,507	3	11	1
2005	22,814	3,491	4	5	1
2006	180,103	4,068	19	2	0
2007	176,185	2,364	0	1	0
2008	525,354	44,916	46	145	24
2009	97,020	6,695	24	24	30
2010	332,096	24,988	28	25	4
2011	261,231	30,517	13	13	8
2012	261,561	48,932	9	18	4
2013	103,437	12,996	11	41	3
2014	59,095	8,484	11	9	9
2015	228,475	22,612	18	77	2
2016	117,400	8,800	10	5	1
2017	1,235,819	210,716	106	269	12
2018	57,206	9,713	17	25	3
2019	63,997	7,972	13	807	3
2020	46,801	5,119	4	317	4
2021	72,843	8,226	6	41	2
2022	1,393	1,834	0	2	0

*FUENTE:* Adaptado de *Información estadística oficial sobre emergencias, desastres y daños.* (29 de noviembre de 2022). INDECI.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNTFkOWRhYWQtYmMwMS00OWNmLTg4ZTctNjZjYTc1OTIyN2M0IiwidCI6IjNlZWZkMjZlLThNTUtNDg4MCM0ODEyLWEzMGZjZGU3OGEyZCJ9&pageName=ReportSectioncd99edcca07a5ff10551>

Lo mencionado anteriormente, si bien nos da un panorama de la gravedad de la situación con eventos de los últimos 20 años, también debemos realizar una introspección en los sucesos que tiene mayor antigüedad, Palomino y Mauricio (2019) nos presenta alguno de ellos:

- 1909: Durante este año se produjo la reactivación de varias quebradas en Chosica, entre ellas: Quirio, San Antonio y otras.
- 1925 - 1926: El Niño causa estragos en diferentes departamentos del Perú (Piura, Ica, Arequipa y Moquegua), pero las ciudades más afectadas fueron Trujillo, la cual quedo inundada en su totalidad y Lima, que quedo sin energía eléctrica producto de 2 huaycos.
- 1965: En la provincia de Huarochirí, se produjeron huaycos en las zonas de Cashahuacra y Pomaticla.
- 1970: Se vuelve a reactivar las quebradas de Quirio y San Antonio después de 61 años.
- 1976: Las quebradas Quirio y San Antonio se activa nuevamente después de 6 años.
- 1978: En el distrito de Santa Eulalia se vuelve a registrar huaycos
- 1983: En el distrito de Cashahuacra se activó la quebrada del mismo nombre la cual destruyo los centros poblados de San José de Palle, Las Kiskas y La Trinchera.
- 9 de mayo de 1987: Este año se presentaron 14 huaycos que afectaron zonas como Santa Eulalia, Rimac, Jicamarca, Chosica, Campoy y Huachipa, que sumado a la topografía de algunas quebradas, causaron los mayores desastres ocurridos en Lima. En la misma fecha Moro (Ancash) fue parcialmente arrasada por un huayco.
- 1997 - 1998: El Fenómeno del Niño activa de forma repetitiva las quebradas de Quirio, Pedregal, Santo Domingo y La Cantuta, dejando miles de viviendas y personas damnificadas, así como infraestructura destruida y zonas agrícolas en mal estado.
- 1998: Un aluvión se produce en la cuenca del río Acobamba que dejo afectado el Centro Poblado de Santa Teresa y la Hidroeléctrica Macchi Pichu.

- 1998: En la provincia de Castilla (Arequipa) un huayco afecto viviendas del centro poblado de Choco.
- 13 de febrero del 2009: La activación de la quebrada de Quirio genera el bloqueo de calles y vías en la carretera central.
- 23 de junio del 2010: El distrito de San Mateo sufre daños.
- 05 de abril del 2012: En el río Rímac, La Ronda y Los Cóndores se produce la activaron de quebradas, dejando personas afectadas, viviendas inhabitables.
- 19 de diciembre del 2013: Chosica y Chaclacayo se ven afectadas por huaycos.
- 23 de marzo del 2015: Las quebradas Rayos del Sol y Quirio y Cashahuacra vuelven a ser activadas en los distritos de Chosica y Santa Eulalia, respectivamente, la carretera central dejo de operar por cuatro días, se afectaron y servicios básicos fueron afectados y se produjo el deceso de 9 personas.
- 2016: Daños en la carretera central del centro poblado de San Jerónimo de Surco, Callahuanca y San Pedro de Casta, en Huarochirí.
- 2017: Finalmente El Niño Costero genero huaycos que produjeron la mayor cantidad de daños en forma general, cuya duración fue desde cuarta semana de diciembre del 2016 hasta el 31 de mayo del 2017.

La gestación de la presente investigación busca prevenir los estragos que causa la naturaleza a consecuencia del cambio climático, principalmente el producido por las precipitaciones generadas por el Fenómeno del Niño, que provoca el aumento del caudal de los ríos de la costa peruana en cantidades anormales, trayendo como resultado inundaciones producidas por el desborde de las masas de agua, como se presencié en el año 2017, donde los efectos destructivos afectaron a muchas ciudades del norte del país, entre ellos Chimbote, Casma y principalmente Huarney, cuyo reporte del Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN), indica afectación de viviendas, instituciones educativas, miles de

damnificados, afectados, heridos y hasta incluso muertos, cuyos estragos permanecieron hasta 3 meses después de la tragedia, dejando vías incomunicadas.

En consecuencia, el desarrollo de esta tesis radica en la elaboración de un Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada Pedregal del Rio Huarmey de la Provincia de Huarmey que servirá para la creación e implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones, que permita a las autoridades locales tomar acciones preventivas sobre los riesgos latentes a los que la población de la Provincia de Huarmey se encuentra expuesta a causa de estos fenómenos de la naturaleza.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Concha Niño et al (2017) en su Informe Técnico N° A6790, indica que el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), durante los meses de febrero y marzo del 2017 reportó que en la costa central y norte del Perú se estaba presenciando temperaturas anormales sobre la superficie del mar, estos cambios genero masas de aire húmedo en la zona extendiéndose hacia las vertientes de la cordillera occidental de los Andes peruanos, lo que se convirtió en precipitaciones extremas que desencadenaron diversos fenómenos naturales como: flujos de detritos, deslizamientos, caídas de roca, erosión del cauce los ríos, e inundaciones; este último afecto duramente ciudades del departamento de Ancash como Chimbote, Casma, pero Huarmey se llevó la peor parte, en donde la mitad de las viviendas y obras de infraestructura como canales, pozos, puentes etc., se vieron involucradas y expuestas (p. 3).

El problema principal de la zona de estudio es no contar con un sistema de alerta temprana de inundaciones; para eso debemos tener pleno conocimiento de las zonas más vulnerables con el objetivo de entender como estas se ven afectadas por los fenómenos de la naturaleza y de esa manera gestionar el peligro con el afán de generar su mitigación.

La autoridad nacional del Agua (2010), afirma que, en el Perú, todos los años sufre de inundaciones, estas consideradas uno de los fenómenos naturales con mayores víctimas a nivel

mundial, se producen debido a las fuertes lluvias constantes que producen destrozos, eventos de deslizamiento, huaycos, entre otros, esto debido al fenómeno del niño costero.

Las áreas de cultivo ubicadas en la zona baja y media de la cuenca Huarmey han sido devastadas producto de las inundaciones que muchas veces viene acompañada de detritos; la carretera que comunica el distrito de Huarmey con el centro poblado de Aija también se ve afectada a causa de los desprendimientos de rocas.

En la parte alta de la cuenca Huarmey, se registró muchos daños provocados principalmente por huaycos, deslizamientos, erosión fluvial – aluvial y caída de rocas.

El problema se genera porque la zona no cuenta con un sistema de alerta temprana de inundaciones para alertar a la comunidad con anticipación las acciones y medidas a adoptar, el cual influye en la calidad de vida de los pobladores. Aquello, nos lleva a plantear el siguiente problema:

**¿Mediante un Modelo Hidrológico e Hidráulico se podrá instalar un Sistema de Alerta Temprana de inundaciones en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia de Huarmey - Ancash?**

### **1.3. OBJETIVOS**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Desarrollar el Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, departamento Áncash, mediante el uso del software HEC-HMS para elaboración de un Sistema de Alerta Temprana.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Determinar los parámetros hidrológicos y morfológicos de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, departamento Áncash 2021.

- Realizar el modelamiento hidrológico para obtener los caudales máximos asociados a distintos periodos de retorno en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, departamento Áncash 2021.
- Realizar el modelamiento hidráulico para simular escenarios de comportamiento con caudales máximos extraordinarios en distintos periodos de retorno en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, departamento Áncash 2021.
- Elaborar y analizar un mapa de inundaciones para los diferentes caudales modelados en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, departamento Áncash 2021.
- Proponer un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones por el desbordamiento de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, departamento Áncash 2021.

#### **1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Si se desarrolla el Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia de Huarmey, departamento de Ancash entonces se planteó un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones por desborde.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

##### **1.5.1. Justificación**

El presente estudio permitió a los pobladores de la Provincia de Huarmey, contar con un modelamiento hidrológico e hidráulico de la Quebrada Pedregal, el cual les permitió conocer sus características y comportamiento, y poder implementar en un futuro un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones que permita poder tomar acciones preventivas ante cualquier desastre y evitar o minimizar las pérdidas de cualquier índole; asimismo, promueva la utilización de este tipo de sistemas en otros cauces de río en beneficio de otras comunidades.

### ***1.5.2. Importancia***

Se sustenta en que la formulación del modelo hidrológico e hidráulico de la Quebrada Pedregal, permitió a los pobladores de la zona tener un conocimiento más amplio del comportamiento de la cuenca, llegando a conocer sus zonas favorables y las que no lo son, lo cual ayudará a poder establecer estrategias de acción acorde a la realidad mediante la implementación de un SAT, a fin de reducir y/o mitigar daños; así como, aprovechar de una mejor manera los caudales producidos, toda vez que dependen principalmente de la agricultura.



# **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEÓRICO**

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

Toda esta serie de sucesos producidos a causa de las lluvias ha conllevado a la preocupación de algunos interesándose por el tema, buscando adoptar medidas que permitan afrontar esta problemática, lo cual se expone en las investigaciones que a continuación se detalla:

#### 2.1.1. *Internacionales*

Cardenas y Rodriguez (2019) en su investigación Modelo Hidrológico e Escorrentía para la Subcuenca Caño Buque, en el Municipio de Villavicencio, busca realizar el Modelo Hidrológico de la Subcuenca Caño Buque en Colombia mediante el programa HEC-HMS, para tal objetivo ha determinado que es indispensable contar con los parámetros morfométricos de la cuenca, así como su número de curva y luego, con el modelo construido podemos implementar la información pluviométrica que nos permitirá obtener los caudales máximo de diseño para diferentes periodo de retorno.

De La Rosa y Díaz (2022) en su estudio Análisis Hidrológico e Hidráulico en la Parroquia Tenguel para control de inundaciones, nos explica que el análisis hidráulico sirve para determinar las zonas inundables de un lugar, simulando escenarios para cierto periodo estudiado, en ese sentido, es obligatorio contar con la superficie topográfica del cauce, donde con ayuda del HEC-RAS y los caudales máximos de diseño se obtendrá tirantes que nos ayudaran a predecir el comportamiento de las masas de agua ante escenarios poco comunes o de ocurrencia a largo plazo; asimismo la superficie de la zona puede ser calculada con Modelos Digitales de Elevación provistos por satélites previo procesamiento de la imagen.

Venegas (2022) en su trabajo de tesis Diseño de un Sistema de Alerta Temprana para el control de inundaciones en la ciudad de Milagro, Ecuador, establece que para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana es necesario contar con el modelo

hidrológico e hidráulico de la zona a estudiar, los cuales en conjunto permiten obtener un mapeo de las zonas sensibles a inundaciones y con ello generar el Sistema de Alerta Temprana que permitirá a la población tener una respuesta eficiente ante esta clase de eventos extremos; proponiendo que para calcular las precipitaciones de diseño se adopte la distribución de Gumbel, no evaluando otras alternativas al respecto.

### **2.1.2. Nacionales**

Orellana (2021) en su investigación titulada Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS Y HEC-RAS, tiene el propósito de desarrollar el modelo hidrológico e hidráulico de la cuenca donde yace el Rio Piura, lo cual le permitirá realizar un análisis de inundaciones debido a los constantes desbordes que afectan las zonas urbanas de la ciudad de Piura, en cuya investigación trabajo con los datos pluviométricos de las estaciones del lugar, las cuales fueron procesadas y analizadas estadísticamente con el fin de ser convertidas en esorrentía y en el modelo creado en el programa HEC-HMS obtener los hidrogramas y caudales máximos instantáneos; la información resultante permitirá simular los procesos de inundación y delimitación de las zonas inundables en el programa HEC-RAS, lo cual ayudará a formular la propuesta para reducir los estragos del desborde del rio Piura ante precipitaciones extremas. En su conclusión, determino que el rio presenta un comportamiento de caudales irregular de régimen muy intermitente; asimismo, la deforestación de la zona genera el transporte de altas tasas de sedimentos y la presencia de basura, desechos constructivos y abundante maleza aumentan el coeficiente de rugosidad del cauce incrementando la probabilidad de inundaciones; además, sugirió que el objetivo de las estaciones pluviométricas deberían estar orientadas a registrar la distribución de las precipitaciones en un tiempo de 24 horas en forma horaria, para poder contar con patrones característicos de la lluvia; finalmente se propone en el corto tiempo implementar presas de retención temporal.

Mauricio y Palomino (2019) realizaron el modelamiento hidrológico e hidráulico la quebrada Cashahuacra con la finalidad de proponer la implementación de un sistema de alerta temprana, para este estudio el autor llevo a cabo la caracterización de la quebrada obteniendo sus principales parámetros y datos históricos de precipitación para que, mediante el software HEC-HMS y ArcGIS pueda determinar los caudales máximo en periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 500 años; asimismo mediante el software FLO-2D se obtuvo el modelo hidráulico, con el cual se obtuvo las velocidades y profundidades máximas de los periodos indicados; con estos 2 modelos se sustenta la implementación de un rada meteorológico para la quebrada en estudio.

Blas y Medina (2021) en su estudio del río Yuracyacu tienen como objetivo identificar las zonas vulnerables de la ciudad de Nueva Cajamarca - San Martín por máximas avenidas; para tal propósito recopilaron la información correspondiente a la zona, así como los métodos, que sirvan para desarrollar el modelo hidrológico e hidráulico; para el primer caso, en el programa HEC-HMS procesaron la información pluviométrica, con el fin de obtener los hidrogramas de diseño, y geoespacial, para delimitar la cuenca aportante de este rio; asimismo con la extensión HEC-GeoHMS del programa ArcGIS se obtuvo los parámetros hidrológicos y en el programa QGIS los parámetros geomorfológicos; además para llevar a cabo la transformación de precipitación a escorrentía se implementó el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), el método del Número de Curva y el tiempo de concentración; por otro lado, para el segundo caso, como datos de entrada al programa HEC-RAS se consideró el levantamiento topográfico y fotogramétrico de un tramo del rio de 2.4 km que permita definir la geometría, los hidrogramas de diseño obtenido del modelo hidrológico, condiciones de contorno tanto aguas arriba como aguas abajo y coeficientes de rugosidad. De los resultados del modelo hidrológico se obtuvo los siguientes caudales máximos: 58.4, 128.9, 180.2, 245.5, 293.5, 340.4, 386.4 y 445.7 m<sup>3</sup>/s para los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500

años, respectivamente; con relación a la modelación hidráulica se identificó áreas vulnerables, cuyas áreas fueron 0.137, 0.431, 0.753, 2.195, 4.002, 6.295, 12.637 y 17.229 hectáreas que corresponden al mismo orden de los caudales máximos obtenidos. Además, producto de la simulación a partir del periodo de retorno de 10 años, se verían afectadas algunas viviendas según las siguientes cantidades 1, 20, 50, 102, 178 y 249.

### **2.1.3. Locales**

Valderrama (2021) en su trabajo evalúa la implementación de un Sistema de Alerta Temprana frente a Inundaciones que favorecerá a los pobladores de las zonas aledañas al río Nepeña, su investigación fue del tipo descriptiva de diseño no experimental transversal, la cual inicio con la recopilación de información de los equipos de medición hidrometeorológica, seguido realizo la modelación de la cuenca donde se encuentra ubicado el río Nepeña en el programa HEC-HMS con el objetivo de simular su comportamiento ante la información hidrológica recopilada; los resultados permitieron demostrar la factibilidad en la aplicación del sistema, así como proponer mejoras en los sistemas de acopio de información meteorológica que redundara en la reducción de los tiempos de respuesta de la población frente a los desastres.

Milla y Rubina (2021) en su estudio realizado en la cuenca del río Huarmey buscan desarrollar un sistema de alerta temprana de inundaciones, para concretar este objetivo usaron un diseño de investigación no experimental del tipo descriptivo; primero, realizaron un análisis de la información hidrometeorológica existente, luego implementaron el modelo hidrológico de la cuenca en donde simularon el comportamiento del cauce del río ante diferentes eventos de precipitación y así poder definir predicciones de los caudales a futuro, en el corto, mediano y largo plazo; con los resultados proponen mejoras respecto al funcionamiento actual de los equipos de medición en la cuenca que son parte vital en las acciones de reacción frente a desastres.

Silva y Sparrow (2021) en su investigación buscan implementar un Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones en la quebrada Solvin ubicada en el distrito de San Jacinto, para lo cual, primero dan un alcance del comportamiento de las precipitaciones y el Fenómeno del Niño en el Perú y como estas afectan directamente el sistema de ríos de nuestra geografía, en especial de la costa, lo cual puede llegar a generar inundaciones por desborde saturación hidráulica de los cauces; segundo, la metodología a seguir consiste en evaluar los equipos de medición de la cuenca y la información que esta recibe; tercero, llevar a cabo el modelo hidrológico del río cuando capta la máxima cantidad de precipitación para diferentes periodos de tiempo (pequeño, mediano y largo plazo), con esto se pretende obtener los caudales de diseño; y finalmente proponer el Sistema de Alerta Temprana que ayudará a evitar desastres mediante la implementación de una adecuada política de reacción en la población cuando los equipos de acopio capten umbrales de medición definidos.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1. Hidrología**

De acuerdo a Villón (2002) la hidrología pertenece a la rama de las ciencias naturales, la cual se avoca a estudiar la interacción del agua con su medio y los seres vivos que la habitan; así como, sus propiedades físico-químicas y su ocurrencia, circulación y distribución dentro del planeta (p. 15).

### **2.2.2. Ciclo Hidrológico**

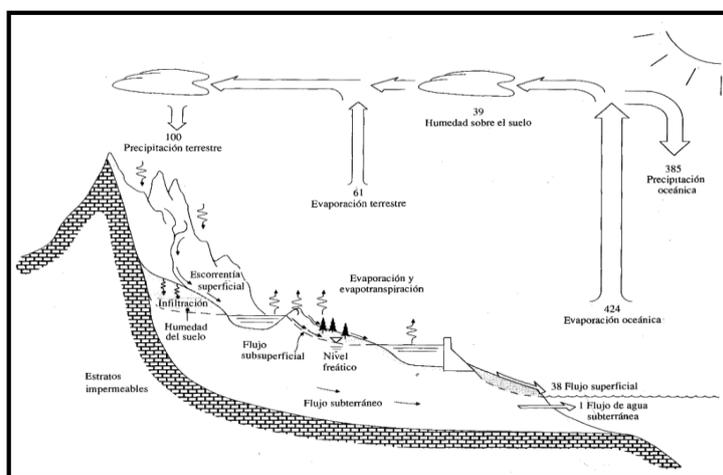
El elemento principal del ciclo hidrológico de acuerdo a Chow (1994) es el agua, la cual ocupa el mayor espacio sobre la superficie terrestre y permite que la vida pueda desarrollarse sin ningún problema. Al respecto, Chereque brinda un concepto algo diferente, proponiendo que el ciclo hidrológico está conformado por los diferentes estados que presenta el agua en su forma natural; estamos hablando de los estados líquido, sólido y gaseosa, tanto en la superficie (lagos, lagunas, ríos, arroyos, océanos, mares, etc.), como en el subsuelo

(acuíferos) (p. 1); asimismo, nos dice que el ciclo hidrológico es completamente irregular, basta con observar que mientras algunas zonas presentan fuertes temporadas de sequía, otras se ven afectadas por inundaciones extremas (p. 1).

Como su propio nombre lo dice, el ciclo hidrológico, es un ciclo de eventos, los cuales se vuelven a repetir después de un determinado periodo tiempo, no tiene principio ni fin (Chow, 1994) y en este proceso participa el agua en todas sus formas y ubicaciones; cada parte del proceso se desarrolla en simultaneo o paralelo. Podemos empezar diciendo que el ciclo inicia con la evaporación del flujo superficial, la cual sube hacia la atmosfera, y al concentrarse en grandes cantidades esta se precipita hacia la tierra, ya en esta, puede ser retenida de diferentes formas (vegetación, infiltración, etc.) y la que no, se convertirá en flujo superficial; en el caso de retención por infiltración esta se volverá flujo subsuperficial, pero que finalmente descargará en los ríos y mares para comenzar el ciclo una y otra vez. Ya definido y explicado lo que vendría a hacer el ciclo hidrológico, ahora pasaremos a explicar una de sus fases, el ciclo de escorrentía, mediante esta, podremos saber el curso o dirección del fluido y con la ubicación de un punto al azar dentro del flujo podremos obtener la unidad física territorial, más conocida en hidrología como cuenca u hoya hidrográfica (Stowhas, p. 5).

### Figura 1

*Ciclo hidrológico del agua con un balance promedio de 100 unidades.*



FUENTE: Tomada de *Hidrología Aplicada* (p. 3), por Chow, V. T. et al (1994).

### 2.2.3. Balance Hidrológico

Teniendo conocimiento sobre los conceptos del ciclo hidrológico y ciclo de esorrentía, Stowhas (s.f.) asocia a ellos el concepto de conservación de la masa, básico en el mundo de la hidrología, el cual es conocido como ecuación de continuidad en el campo de la mecánica de fluidos. En su forma general esta ecuación adopta la forma de  $I - Q = \partial V / \partial t$ , donde en el primer término se tiene la diferencia entre el flujo de entrada (I) y salida (Q) y en el segundo, el almacenamiento para un determinado volumen de control (V) (p. 6).

En el párrafo anterior se dio la expresión de continuidad en su forma básica, sin embargo, Stowhas (s.f.) explica que al ser aplicada a una cuenca hidrográfica esta adopta una forma más extensa, con mayores parámetros a considerar, que se llega a conocer como ecuación general de balance hidrológico o balance de masas, el cual es aplicado en un periodo de tiempo  $\partial t$  bien definido (p. 6-7).

#### Ecuación 1

*Balance de masas en una cuenca.*

$$P + Q_a - R - E - T - Q_e = \partial V_{sup} + \partial V_{sub} + \partial V_h + \partial H$$

Donde:

P: Precipitación producida del periodo  $t_1$  al  $t_2$ .

$Q_a$ : Diferentes volúmenes de agua captadas por la cuenca.

R: Precipitación retenida por la vegetación.

E: Evaporación superficial del suelo húmedo o de los espejos de agua.

T: Transpiración vegetal.

$Q_e$ : Volumen de agua que sale de la cuenca en la sección definida.

$\partial V_{sup}$ ,  $\partial V_{sub}$ ,  $\partial V_h$  y  $\partial H$ : Representa las variaciones en el volumen de agua perteneciente a la cuenca que es retenida en depresiones, lagos y embalses, en forma de agua subterránea (hielo, glaciares o nivel estacional), y en forma de humedad contenida en los suelos.

#### 2.2.4. Disponibilidad y Distribución del Agua en la Tierra

“La Tierra es visto desde el espacio como un planeta azul, ya que aproximadamente el 70% de su superficie se conforma por agua y solamente el 30% se conforma por tierra” (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2013).

En ese sentido, debemos tener claro que en la tierra la sustancia predominante es el agua (se estima 1500 millones de km<sup>3</sup> aproximadamente) y esta forma parte de la biosfera o también conocida por Vladimir Vernadsky (s.f.) como envoltura viva; el agua conforma la capa denominada hidrosfera en forma de océanos y mares, hielos y glaciares, lagos y ríos, y en el subsuelo, cuyo espacio se encuentra comprendido a 15 km arriba en la atmosfera hasta 1 km debajo de la corteza terrestre, circulando por los diferentes caminos que recorre a su paso, este proceso es el ya expuesto ciclo hidrológico (Farias, 2005, p. 5).

En la Tabla 3 se muestra una estimación aproximada de las cantidades de agua presentes en la tierra en sus distintas formas.

**Tabla 3**

*Distribución del agua en el planeta.*

Ubicación	Volumen Miles de millones m <sup>3</sup>	Porcentaje
<b>Agua Superficial</b>		
Lagos de agua dulce	123,000	0.0092
Lagos salinos y mares int.	102,400	0.008
Canales y río	1,229	0.0001
<b>Agua Subterránea</b>		
No saturada (humedad suelo)	65,500	0.005
Agua subterránea (hasta 800m)	4,100,000	0.31
Agua subterránea profunda	4,100,000	0.31
<b>Otras</b>		
Glaciares y hielo	28,600,000	2.14
Humedad en la atmósfera	12,700	0.001
Océanos	1,298,000,000	97.2
<b>Totales</b>	<b>1,335,104,829</b>	<b>100%</b>

*FUENTE:* Adaptado de *Water, a primer. Leopold, L. B. (1974).*

### **2.2.5. Hidrología Superficial**

Breña y Jacob (2006) usan el término ciclo hidrológico global, ya que esta se da en todo el planeta, funcionando como un sistema, y como tal necesita ser desglosado en partes para una mejor comprensión de cada una de ellas, estas partes del sistema el autor las define como: subsistema atmosférico, subsistema de agua superficial y subsistema de agua subterráneas. El agua al pasar de un subsistema a otro genera pérdidas o retenciones de volumen de carácter temporal, esta retención será conocida como *almacenamiento* y el tiempo retenido como *tiempo de residencia* (p. 11).

De estos 3 subsistemas nos enfocaremos en el superficial, ya que el agua que nos interesa es el captado por la cuenca en forma de escorrentía superficial, sin embargo, en el proceso se hará mención de algunas interacciones que se tiene con los otros 2 subsistemas restantes; primero el agua es captada en forma de precipitación, ya en la superficie diferentes condiciones harán que esta agua vaya siendo retenida (depresiones, vegetación, etc.), la sobrante formara la escorrentía materia de esta investigación, cuyo destino será el sistema de drenaje que la llevaran finalmente al océano, durante este proceso el agua será derivada en forma de infiltración al subsistema subterráneo o en forma de evapotranspiración al subsistema atmosférico (Breña y Jacob, 2006, p. 12).

### **2.2.6. Hidrología Estadística**

Para realizar el estudio de las cuencas no bastaría solo con la hidrología, debiendo ser complementada con otras ciencias para tal fin, en este caso la estadística; de acuerdo a Chereque (s.f.) el uso de esta ciencia complementaria no debería entenderse como la carencia de dar una solución a un problema del tipo hidrológico, por lo contrario, se deberá tomar como una solución determinística particular de la solución estadística o probabilística; esta ciencia conjunta analiza la información hidrológica con el propósito de deducir las características del comportamiento futuro con que debe ser esperado el fenómeno estudiado; estos estudios hoy

en día, se encuentran más desarrollado con el avance de los equipos informáticos de última generación y los nuevos métodos numéricos que si bien son de mayor complejidad su desarrollo, esta labor tediosa es compensada con el desarrollo de las computadoras (Chereque, s.f., p. 159).

Los problemas hidrológicos según Chereque (s.f.) se agrupan en 3 categorías de acuerdo al objetivo del proyecto a realizar: Diseño de estructuras hidráulicas, satisfacción de demandas y diseño y operación de embalses (p. 159).

### **2.2.7. Cuenca Hidrográfica**

En el párrafo 2 de la *hidrología superficial* se dio un alcance del comportamiento de la cuenca, pero este proceso será reforzado con lo dicho por Suarez (2001) quien la define como el resultado de la precipitación, está en su recorrido busca los cauces naturales del terreno, hasta formar quebradas y ríos, este conjunto coincidirá en una red tributaria y rio común denominada cuenca de drenaje (p. 26).

Además, este sistema denominado cuenca estará conformado por pequeñas subdivisiones denominadas subcuencas, entonces para diferenciarlas, definiremos como cuenca a toda el área de terreno que lleva el agua superficial hacia un punto de salida durante la precipitación (Suarez, 2011, p. 26).

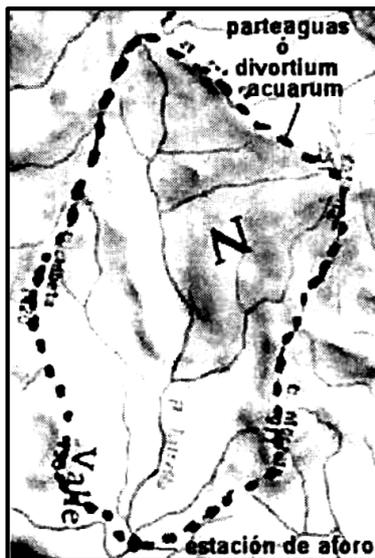
#### **2.2.7.1. Delimitación**

El espacio geográfico que es ocupado por una cuenca hidrográfica se encuentra delimitado por una línea imaginaria denominada divisoria de aguas, parteaguas o en su expresión latina *divortium acuarum*, criterio muy empleado en el derecho romano; esta línea nace de la unión de toda la cadena de puntos topográficos más altos cuya peculiaridad es dividir el escurrimiento superficial provocado por las precipitaciones hacia 2 zonas con destinos totalmente diferentes, formando así cuencas hidrográficas contiguas, este escurrimiento alcanza el sistema o cuenca de drenaje para fluir hasta un punto de salida, cuya ubicación es el

punto común a donde llegara toda el agua recogida por la zona encerrada por la cadena de puntos para salir de la cuenca, entiéndase así que este punto de salida también es parte de la cadena, y se le denomina estación o punto de aforo, que servirá más adelante para realizar el control de los hidrogramas de flujo.

## Figura 2

*Parteaguas o divortium acuarum y estación de aforo de una cuenca.*



FUENTE: Tomado de *Hidrología* (p. 22), por Villon Bejar M. (2002).

### 2.2.7.2. Clasificación de las Cuencas Hidrográficas

Desde el punto de vista de su salida tenemos:

#### 2.2.7.2.1. Exorreicas o Abiertas

El punto de aforo se ubica dentro de la cadena de puntos topográficos que forma la cuenca y esta vierte el agua captada a otra corriente o al mar

#### 2.2.7.2.2. Endorreicas o Cerradas

Cuenca formada de la misma manera que una exorreica, pero a diferencia de la anterior vierte el agua captada a un algo o embalse, también se le llama designa como cuencas lacustres.

#### 2.2.7.2.3. Arreicas

Este tipo de cuenca tiene un comportamiento distinto a las 2 ya mencionadas, ya que antes de verter sus aguas a otro río o lago, esta termina evaporándose o filtrándose al subsuelo

formando las cuencas subterráneas, que dicho sea de paso no presentan la misma forma que la cuenca superficial que le da origen, pero su explicación escapa de este estudio ya que nos centraremos a los eventos que se originan solo en la superficie.

### **2.2.7.3. Clasificación de la Red de Drenaje**

Las corrientes que existen en la cuenca hidrográfica según Gámez (2009, p. 47) se pueden clasificar en 3 clases según la forma en que se produce el escurrimiento que estará en función de las características y condiciones climáticas del lugar.

#### **2.2.7.3.1. Corrientes Efímeras**

Estas corrientes que también podríamos llamarlas pasajeras, solo transportan el agua recibida producto del escurrimiento o flujo superficial (F.S.) generada durante la lluvia, la otra parte del tiempo podemos encontrarlas literalmente secas, presentando niveles freáticos (N.F.) por debajo del lecho del cauce.

#### **2.2.7.3.2. Corrientes Intermitentes**

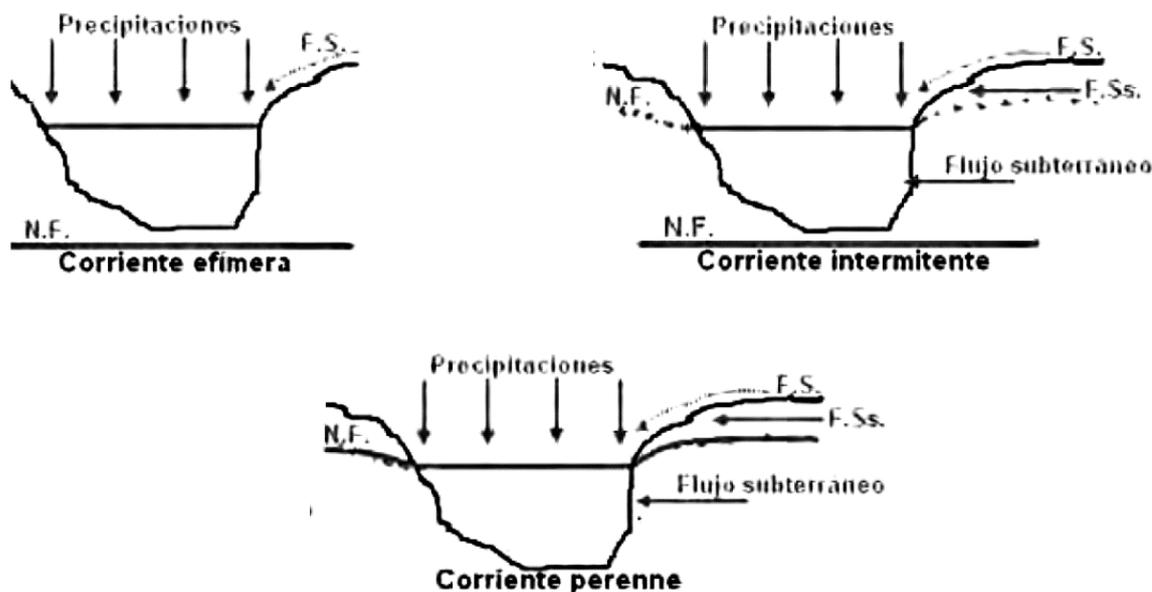
Estas no solo conducen el agua producto del escurrimiento superficial provocada por la lluvia, ya que estos eventos muchas veces son temporales y este tipo de corriente se encuentra abastecida la mayor parte del tiempo, también recibe el agua subsuperficial (F.Ss.) por intermedio del nivel freático (N.F.), viéndose afectada cuando esta desciende hasta niveles por debajo del fondo del cauce.

#### **2.2.7.3.3. Corrientes Perennes**

La tercera clase lo conforman las corrientes que siempre presentan caudal en cualquier época del año, pese a encontrarse en temporadas de estiaje, donde el nivel del agua es mínimo; estas son abastecidas de la misma forma que las corrientes intermitentes, por medio de las aguas subterráneas que alimentan el nivel freático (N.F.) hasta por encima del fondo del cauce.

**Figura 3**

*Clases de corrientes en cuencas hidrográficas.*



FUENTE: Tomada de *Texto Básico de Hidrología* (p. 47), por Gámez (2009).

### 2.2.8. Principales Parámetros de la Cuenca Hidrográfica

Para poder caracterizar el comportamiento de una cuenca, los diferentes autores generaron una serie de conceptos para diferenciar el comportamiento de una cuenca de otra, entre los principales parámetros de la cuenca tenemos:

#### 2.2.8.1. Parámetros de Forma

##### 2.2.8.1.1. Área (A)

El área comprende la zona geográfica delimitada que corresponde a la cuenca hidrográfica en estudio, esta se estima como su proyección horizontal en el plano y puede ser obtenida en diferentes tipos y sistema de unidades, siendo las más comunes el sistema MKS (metros cuadrados, kilómetros cuadrados, hasta inclusive hectáreas) y el sistema internacional, dependiendo del país y parámetro hidrológico a calcular.

La cuenca al presentar mayores tamaños de área, esta presentara mayores volúmenes de agua escurrido, ya que estos 2 parámetros se encuentran directamente relacionados.

De acuerdo a este parámetro, podemos clasificar una cuenca de acuerdo al siguiente cuadro:

**Tabla 4**

*Clasificación de una cuenca según su área.*

TAMAÑO DE LA CUENCA (K m <sup>2</sup> )	DESCRIPCION
< 25	MUY PEQUENA
25 a 250	PEQUENA
250 a 500	INTERMEDIA-PEQUENA
500 a 2,500	INTERMEDIA-GRANDE
2,500 a 5,000	GRANDE
> 5,000	MUY GRANDE

FUENTE: Tomado de *Procesos del Ciclo Hidrológico* (p. 2-5), por Campos, D. (1998).

#### **2.2.8.1.2. Perímetro (P)**

Este parámetro se define como la longitud del contorno o polígono que encierra el área perteneciente a una cuenca hidrográfica.

#### **2.2.8.1.3. Longitud Mayor del Río (L<sub>R</sub>)**

Sala y Gay (1981) denominan así a la longitud del río con el cauce más largo.

#### **2.2.8.1.4. Longitud Axial de la Cuenca (L)**

Morisawa (1959) define este parámetro como la longitud lineal aproximadamente paralela al cauce principal desde el punto de salida hasta cortar la línea divisoria de aguas.

#### **2.2.8.1.5. Ancho Promedio (B)**

Es el resultado de dividir área de la cuenca (A) y la longitud axial de la cuenca (L).

#### **2.2.8.1.6. Desnivel Altitudinal (DA)**

Es la distancia vertical entre la cota más baja y la más alta.

#### **2.2.8.1.7. Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius (K<sub>C</sub>)**

Gravelius (1914) definió este factor adimensional como la relación entre el perímetro del área de la cuenca (P) y una circunferencia con área equivalente a la cuenca (P<sub>C</sub>), este parámetro considera valores en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).

## Ecuación 2

*Coefficiente de compacidad.*

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

$K_c$ : Coeficiente de Gravelius

$P$ : Perímetro de la cuenca (km)

$A$ : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Los valores obtenidos del coeficiente de compacidad de Gravelius nos da un alcance sobre el comportamiento de la cuenca relacionado a la respuesta que tendría ante precipitaciones; valores iguales o cercanos por arriba a 1 nos indica que estamos ante cuencas de forma circular en los cuales las lluvias tiene mayor facilidad para alcanzar toda la superficie de esta, a medida que nos vamos alejando de la unidad por arriba, la forma de la cuenca se distorsiona difiriendo al de una circunferencia, adoptando formas alargadas o asimétricas, en este caso las probabilidades de que la lluvia alcance toda el área se reducen; estos valores nos dan un indicativo de la influencia del perímetro y el área en las características de los hidrogramas de salida de la cuenca.

### Tabla 5

*Clasificación de una cuenca según  $K_c$ .*

Valor	Clasificación
$K_c = 1$	Cuenca regular
$K_c \approx 1$	Cuenca irregular
$K_c \neq 1$	$K_c \uparrow$ menos susceptible a inundaciones

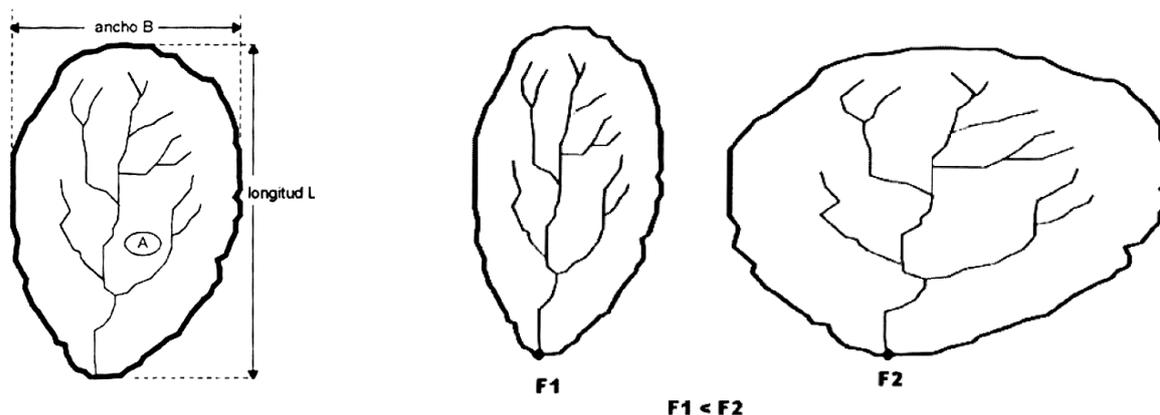
FUENTE: Adaptado de *Apuntes de Hidrología* (p. 30), por Farías de Reyes M. (2005).

### 2.2.8.1.8. Índice o Factor de Forma (F)

Este índice relaciona la longitud axial de la cuenca (L) elevada al cuadrado y el ancho promedio (B).

#### Figura 4

Parámetros para el cálculo del Factor de Forma (izquierdo) y comparación del factor de forma de 2 cuencas (derecho).



FUENTE: Tomado de *Hidrología* (p. 40-41), por Villon Bejar M. (2002).

#### Ecuación 3

Factor de forma.

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Donde:

F: Factor de forma

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L: Longitud axial de la cuenca (km)

#### **2.2.8.1.9. Índice o Coeficiente de Circularidad de Miller ( $I_c$ )**

Miller (1953) hace lo contrario al índice de Gravelius (1914) al generar una relación entre el área de la cuenca ( $A$ ) y el área de una circunferencia con perímetro equivalente al del área de la cuenca.

#### **Ecuación 4**

*Índice de circularidad.*

$$I_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Donde:

$I_c$ : Índice de circularidad

$A$ : Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ )

$P$ : Perímetro de la cuenca (km)

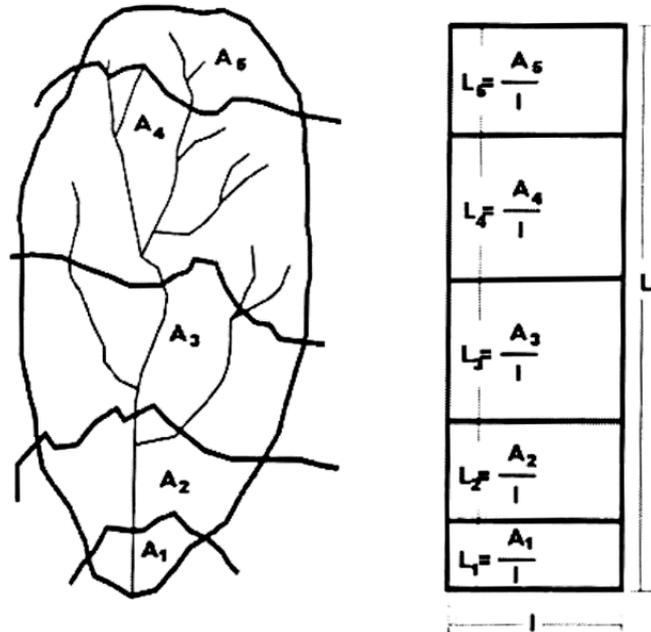
Los valores del Índice de Miller comprender un intervalo que va desde el 0 hasta el 1, el máximo valor se interpreta como una cuenca de forma circular.

#### **2.2.8.1.10. Rectángulo Equivalente**

Con el fin de poder realizar la comparación entre diferentes cuencas Roche (s.f.) propone este parámetro que busca explicar el escurrimiento en función de las características físicas de la cuenca y así diferenciar unas de otras; el autor plantea que un rectángulo dividido en una serie de subrectángulos que cuenten con la mismas características de la cuenca con relación al área comprendida entre curvas de nivel de la cuenca, condiciones climatológicas, coeficiente de compacidad, repartición hipsométrica, distribución de suelo, vegetación y densidad de drenaje, presentara el mismo escurrimiento superficial de la cuenca que da origen al rectángulo equivalente.

**Figura 5**

Cuenca hidrográfica (izquierda) y rectángulo equivalente (derecha).



FUENTE: Tomado de Hidrología (p. 46), por Villón Béjar M. (2002).

**Ecuación 5**

Lados del rectángulo equivalente.

$$L_{mayor} = \frac{K_c \times \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \qquad L_{menor} = \frac{K_c \times \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Donde:

$L_{mayor}$ : Lado mayor del rectángulo equivalente (km)

$L_{menor}$ : Lados menor del rectángulo equivalente (km)

$K_c$ : Coeficiente de Gravelius

$A$ : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

### 2.2.8.1.11. *Relación de Elongación ( $R_e$ )*

Con el objetivo de conocer mejor la forma de la cuenca, Schumm (1956) propone esta relación, que consiste en la división entre el diámetro de una circunferencia con área igual al de la cuenca y la longitud axial (L).

#### **Ecuación 6**

*Relación de elongación.*

$$R_e = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Donde:

$R_e$ : Relación de elongación

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

L: Longitud axial de la cuenca (km)

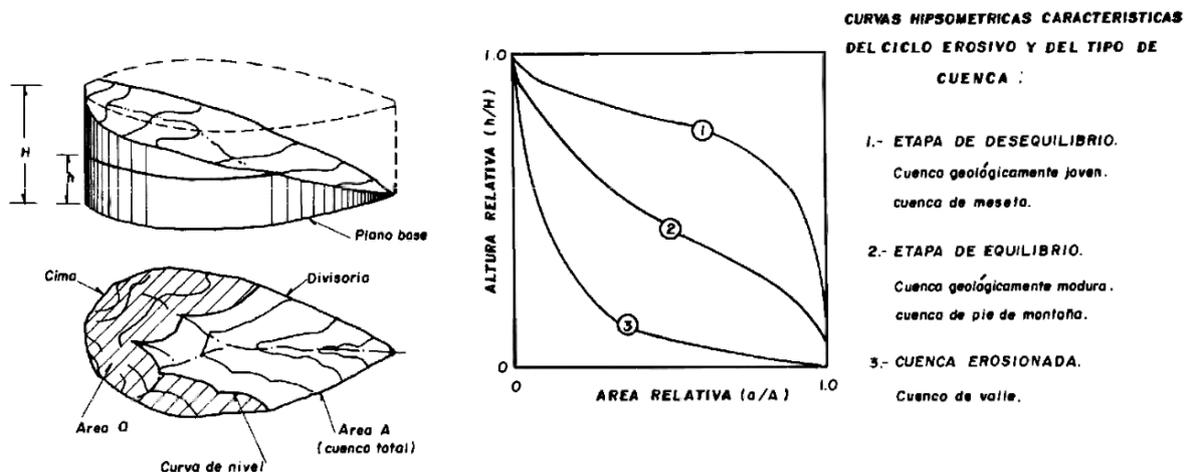
### 2.2.8.2. **Parámetros de Relieve**

#### 2.2.8.2.1. *Curva Hipsométrica*

Es la representación gráfica de la curva de variación que sufre el nivel altitudinal de la cuenca respecto a las áreas que van quedando por encima de ella, presentada en porcentaje; curvas donde la mayoría de puntos se forman con porcentaje pequeños y alturas cercanas a la máxima cota de manera constante, es decir, curvas que descienden lentamente, refleja cuencas con mayor acumulación de áreas en las zonas más altas, en el caso opuesto, tenemos las curvas donde la mayoría de puntos se forman con porcentajes altos y alturas cercanas a la mínima cota de manera constante, es decir curvas que desciendes rápidamente, refleja cuencas con mayor acumulación de áreas en las zonas más bajas; en el primer caso, tenemos una cuenca con gran potencial erosivo, mientras que en el segundo es totalmente lo contrario.

**Figura 6**

*Análisis Hipsométrico.*



FUENTE: Tomado de *Procesos del Ciclo Hidrológico* (p. 2-6), por Campos, D. (1998).

#### 2.2.8.2.2. *Polígono de Frecuencia*

Es la descripción grafica de las áreas parciales que ocupan un determinado intervalo de altura, esta ayuda a un mejor entendimiento de la curva hipsométrica.

#### 2.2.8.2.3. *Perfil Longitudinal*

Se obtiene graficando la variación de los valores del recorrido horizontal (abscisas) y el recorrido vertical de las elevaciones (ordenadas).

#### 2.2.8.2.4. *Pendiente Promedio*

Según Campos (1998) este dato es muy importante en la predicción del comportamiento de la cuenca, nos ayuda a determinar de manera anticipada mucha información sobre esta, por ejemplo, el tiempo de escurrimiento superficial, la capacidad de infiltración, la humedad del suelo, el aporte del agua subterránea al flujo de los cauces e influye de forma directa en la magnitud de las avenidas o crecidas (p. 2-8).

**Tabla 6**

*Tipos de terreno en función de la pendiente media.*

Pendiente media (%)	Terrenos
(0 - 2]	Llano
(2 - 5]	Suave
(5 - 10]	Accidentado medio
(10 - 15]	Accidentado
(15 - 25]	Fuertemente accidentado
(25 - 50]	Escarpado
> 50	Muy escarpado

FUENTE: Tomado de *Texto Básico de Hidrología* (p. 43), por Gámez Morales W. (2009).

#### **2.2.8.2.5. Altitud Media de la Cuenca**

Esta altura se encuentra definida como el valor que divide el área de la cuenca en 2 partes iguales, la mitad o 50% está por encima y la parte restante por debajo.

#### **2.2.8.2.6. Altitud más Frecuente**

Lo identificamos en el polígono de frecuencias como el porcentaje con mayor valor.

#### **2.2.8.3. Parámetros de la Red Hídrica**

##### **2.2.8.3.1. Orden de los Ríos**

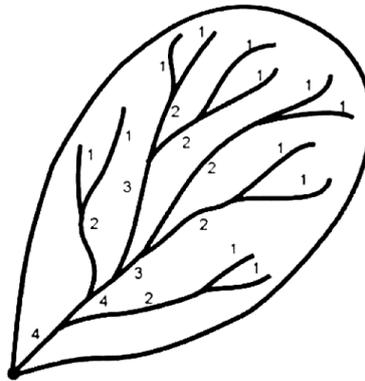
El orden se encuentra definido por las corrientes perennes e intermitentes de la cuenca de drenaje, el número máximo obtenido para la corriente principal en su salida será considerado como el orden de la cuenca.

El procedimiento para determinar este orden, empieza asignándole el valor de 1 para las corrientes que no cuentan con afluentes o tributarios; el valor de 2 se le asigna a las corrientes que cuentan con el aporte de 2 o más tributarios con valor de 1; el valor de 3 se le asigna a las corrientes que cuenten con el aporte de 2 o más tributarios con valor de 2, en este punto se hace la aclaración que si tenemos 1 tributario con valor de 2 y 1 o más tributarios con valor de 1, por ningún motivo se podrá asignar el valor de 3 a la corriente resultante, debiendo continuar con el valor de 2 hasta que se intercepte con una corriente del mismo nivel, de la misma manera será trabajado en los siguientes niveles; continuando el mismo criterio el valor

de 4 se le asigna a las corrientes que cuenten con el aporte de 2 o más tributarios con valor de 3 y así sucesivamente hasta el alcanzar el máximo orden el cual será nuestra corriente principal.

### Figura 7

*Orden de las corrientes de una cuenca.*



FUENTE: Tomado de *Hidrología* (p. 62), por Villón Béjar M. (2002).

#### 2.2.8.3.2. Razón de Bifurcación

La razón se encuentra definida como la relación o división de la cantidad total de cauces de un determinado orden entre la cantidad total de cauces del orden inmediatamente superior, podemos decir que el promedio de todas las razones obtenidas es el valor que representa a la cuenca y es un nivel de torrencialidad (Strahler, 1964).

#### 2.2.8.3.3. Densidad de Drenaje

Expresa la relación entre la sumatoria de todas las corrientes de diferente orden y el área.

### Ecuación 7

*Densidad de drenaje.*

$$D_d = \frac{L_c}{A}$$

Donde:

$D_d$ : Densidad de drenaje (km/km<sup>2</sup>)

$L_c$ : Longitud total de corrientes (km)

$A$ : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

#### ***2.2.8.3.4. Pendiente del Cauce Principal***

Esta pendiente se encuentra íntimamente relacionada con 2 características de la capacidad de escurrimiento, la velocidad con la que se propaga las ondas de avenida y la capacidad de transporte de sedimentos.

#### ***2.2.9. Tiempo de Concentración ( $t_c$ )***

Es el tiempo mínimo que le toma a la cuenca, para que el agua de lluvia que cae en cualquier punto de ella, contribuya al caudal de salida en el punto de aforo, otra forma de definirlo es como el tiempo que le toma a una gota de lluvia recorrer desde el punto más lejano en la línea divisoria de aguas hasta el punto de salida o aforo.

Cuando el tiempo de concentración ha transcurrido podríamos afirmar que toda la cuenca se encuentra aportando al caudal de salida, asimismo al tener identificado este dato del tiempo, también podríamos definirlo o asumirlo como una duración crítica para las lluvias a fin de conocer en función a su duración si esta podría generar escorrentías y caudales en la salida, o la lluvia terminaría siendo infiltrada, pero este es un criterio muy generalizado, ya que también dependerá de otros factores como el suelo, vegetación, etc.

Para el cálculo del  $t_c$  será necesario contar con la información geométrica en planta y en altura de la cuenca, del cauce principal, de la pendiente de ambos, del suelo, de la cobertura vegetal, entre otros, en la Tabla 7 se presentan las fórmulas y datos requeridos para el cálculo.

**Tabla 7**

*Formulas usadas para el cálculo del Tiempo de Concentración.*

Método y fecha	Fórmula para $t_c$ (min)	Observaciones
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0078L^{0.77}S^{-0.385}$ L = Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, pies S = Pendiente promedio de la cuenca, pies/pie	Desarrollada a partir de información del SCS en 7 cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar $t_c$ por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$ L = Longitud del curso de agua más largo, mi H = Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, pies.	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (U.S. Bureau of Reclamation, 1973, pp. 67-71).
Izzard (1946)	$t_c = (41.025(0.0007i+c)L^{0.33})/(S^{0.333}i^{0.667})$ i = Intensidad de lluvia, pulg/h c = Coeficiente de retardo L = Longitud de la trayectoria de flujo, pies S = Pendiente de la trayectoria de flujo, pies/pies	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 $\leq 500$ .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 1.8(1.1-C)L^{0.50}/S^{0.333}$ C = Coeficiente de escorrentía del método racional L = Longitud del flujo superficial, pies S = Pendiente de la superficie, %	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuerto recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.
Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)	$t_c = (0.94L^{0.5}n^{0.5})/(i^{0.4}S^{0.3})$ L = Longitud del flujo superficial, pies n = Coeficiente de rugosidad de Manning i = Intensidad de lluvia, pulg/h S = Pendiente promedio del terreno, pies/pie	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto $i$ (intensidad de lluvia) como $t_c$ son desconocidos; la superposición de una curva de intensidad-duración-frecuencia da una solución grafica directa para $t_c$ .
Ecuaciones de retardo SCS (1973)	$t_c = (100L^{0.8}[1000/CN]-9)^{0.7}/(1900S^{0.5})$ L = Longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria del flujo), pies CN = Número de curva SCS S = Pendiente promedio de la cuenca, %	Ecuación desarrollada por la SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 2000 acres; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67 \times$ retardo de la cuenca
Cartas de velocidad promedio del SCS (1975, 1986)	$t_c = (1/60)\sum(L/V)$ L = Longitud de la trayectoria de flujo, pies V = Velocidad promedio en pies por segundo S = Pendiente promedio del terreno, pies/pie	Las cartas de flujo superficial de la figura 3-1 del TR 55 muestran a velocidad promedio como una función de la pendiente del curso de agua y de la cubierta superficial.

FUENTE: Tomado de *Hidrología Aplicada* (pp. 513-514), por Te Chow, V. (1994).

### **2.2.10. Inundación**

Chen (2019) asevera que con el transcurrir de los años la ocurrencia de precipitaciones extremas a nivel mundial, será más habitual, esto implicará que los desastres naturales como ahora los conocemos, adquieran nuevas magnitudes, pudiendo llegar a afectar zonas más extensas, como sucede durante las inundaciones.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2022) el incremento de las precipitaciones trae consigo una serie de consecuencias que podrían ser descritas como sinónimo de daños, por ejemplo: el incremento de caudales en los ríos, la erosión de los sistemas de drenaje, activación de quebradas que se encontraban secas durante años, formación de avalanchas y detritos que van generando sedimentación y colmatación de los cauces, todos estos factores en conjunto o en forma individual contribuyen al desborde de los canales naturales (p. 7).

### **2.2.11. Cobertura de Suelo**

La cobertura de suelo está conformada por criterios generales acerca del origen del mismo y su relación con los principales factores que llevaron a su formación. Estos criterios generales fueron desarrollados por la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) y graficadas en mapas a escala 1/5,000,000; cuyo trabajo tomo el esfuerzo de 20 años de innumerables científicos alrededor de todo el mundo. El Mapa Mundial de Suelos desarrollado, en la actualidad es considerado como la única visión global de los recursos del suelo en el planeta (Autoridad Nacional del Agua, 2015, p. 8).

### **2.2.12. Cobertura Vegetal**

Esta se presenta mediante un mapa en donde se tiene identificado la distribución de unidades espaciales que fueron establecidas obedeciendo criterios de geografía, fisonomía, condiciones de humedad y excepcionalmente de la flora del lugar. Para un mejor desarrollo y entendimiento el Perú cuenta con un Mapa Nacional de Cobertura Vegetal propio y su memoria

descriptiva en el cual se detalla e ilustra las diferentes unidades espaciales identificadas en función a su geografía, superficie y datos biofísicos como por ejemplo en la selva baja, los bosques lluviosos y los palmerales pantanosos (aguajales); en la selva alta, los bosques lluviosos; en el noroeste, los bosques secos; en los andes, los matorrales y bosques relictos; en la zona altoandina, los herbazales (pajonales y bofedales), entre otros (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 10).

### ***2.2.13. Metodología de Curva Número***

El método de Curva Número consiste en un parámetro adimensional con valores que van de 0 a 100, donde CN es igual a 100 para una superficie totalmente impermeable y 100 para una superficie CN natural es mayor o igual a 0, pero menor o igual a 100, y CN es 0 para superficies con cero escurrimientos. Este parámetro intenta dar cuenta de la traslación del agua porque no toda lluvia se convierte en escorrentía, por lo que se infiltra y aumenta la humedad del suelo; los métodos empíricos de modelado de lluvia-escorrentía más utilizados y experimentados son los del Servicio de Conservación de los Suelos de EE. UU (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

### ***2.2.14. Rugosidad de la Superficie***

Se define la rugosidad del cauce como la resistencia al desplazamiento del agua, esta podrá ser menor o mayor en función a las características físicas; además, este valor también dependerá del material que conforma la sección transversal en estudio, por ejemplo, los valores de grava serán mayor a los de tierra.

Una forma práctica de obtener el coeficiente de rugosidad de Manning en el cauce de un río es propuesta por Cowan (1956), cuyo método parte de un modelo de canal ideal, cuyo cauce es recto, uniforme y liso, conformado por un material cualquiera al cual se le asigna un cierto valor de rugosidad  $n$ , a partir de este valor inicial y con el reconocimiento visual del cauce se irán agregando otros factores que se encuentran indicados en el Cuadro 2.6, los cuales

representan mayor resistencia al paso del flujo y a partir del recojo de estos podremos obtener un valor de  $n$  más representativo de la rugosidad real.

## Ecuación 8

*Método de Cowan.*

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Donde:

$n_0$ : Valor básico de  $n$  para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados

$n_1$ : Valor que corrige el efecto de las rugosidades superficiales

$n_2$ : Valor que considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal

$n_3$ : Valor que considera las obstrucciones

$n_4$ : Valor que considera la vegetación y las condiciones de flujo

$m_5$ : Valor que corrige los efectos por meandros en el canal

## Tabla 8

*Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad por el Método de Cowan.*

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	$n_0$	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	$n_1$	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	$n_2$	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 – 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	$n_3$	0.000
	Menor		0.010 – 0.015
	Apreciable		0.020 – 0.030
	Severo		0.040 – 0.060
Vegetación	Baja	$n_4$	0.005 – 0.010
	Media		0.010 – 0.025
	Alta		0.025 – 0.050
	Muy alta		0.050 – 0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	$m_5$	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

FUENTE: Tomado de *Hidráulica de Canales Abiertos* (p. 104), por Te Chow, V. (1994).

### 2.2.15. Metodología Pfafstetter

De acuerdo a la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2012), el sistema de codificación Pfafstetter fue desarrollado en el año 1989, por el ingeniero hidrólogo Otto Pfafstetter e implementado por primera vez en su país de origen Brasil, pero su método no sería difundido hasta el año 1997 por Kristine Verdin del Servicio Geológico de los Estados Unidos, a partir de entonces su aplicación se estandarizo a nivel internacional (p. 8).

Esta metodología busca codificar todas las cuencas del mundo, asignándoles identificadores que permitan diferenciarlas unas de las otras, con base en la topología de la superficie del terreno.

#### 2.2.15.1. Características de la Metodología

- El sistema presenta una composición jerárquica y las unidades son delimitadas a partir de la confluencia de 2 o más ríos, o desde la desembocadura de un sistema de drenaje al mar.
- Cada unidad hidrográfica estará identificada por un código único Pfafstetter, en función a su ubicación dentro del sistema de drenaje.
- Los códigos tendrán la mínima cantidad de dígitos, la cual depende del nivel en que se encuentre la cuenca a identificar.
- Establece una gestión eficiente en la administración de las redes hidrográficas.

#### 2.2.15.2. Consideraciones Básicas del Sistema

De acuerdo al sistema Pfafstetter, las unidades de drenaje presentan 3 tipos: cuencas, intercuencas y cuencas internas.

- **Cuenca**, es la extensión geográfica que no presenta afluentes, por lo tanto, solo transporta la precipitación que recibe, pero este si es tributario de otra unidad de drenaje a través de un cauce que será definido como principal.

- **Intercuenca**, tendrá el comportamiento de una cuenca, con la diferencia que este si presente afluentes o mejor dicho, el aporte de una cuenca aguas arriba, y permite el paso a otra unidad hidrográfica aguas abajo, el canal que permite esta transferencia de flujo de una cuenca a otra será considerado como principal.
- **Cuenca interna**, es un área que no presente afluentes o tributarios, ni efluentes o emisarios, ósea, el agua no entra ni sale de la zona delimitada.
- En una confluencia de ríos, para diferenciar el río principal del tributario, se tomará como criterio asignar como río principal aquel que posea mayor área drenada, en función a esto definiremos como cuenca a quien posea el tributario e Intercuenca a quien posea el río principal.

## **2.2.16. Sistema de Información Hidrometeorológica**

### **2.2.16.1. Precipitación**

Suarez (2001) nos explica que las precipitaciones en cualquiera de sus formas (líquida, sólida y gaseosa) son eventos que se producen en las nubes a nivel de la troposfera; entre las más importantes tenemos las del tipo convectivas o tormentas, estratiformes y orográficas (pp. 16-18).

Para medir la lluvia se emplea un equipo llamado pluviómetro o pluviógrafo que consiste en un recipiente con área circular de 8 pulgadas de diámetro, la medición consiste en obtener la altura de lámina de agua dentro del recipiente, expresada en milímetros, sin embargo, aunque lo más práctico sería multiplicar esta altura por el área de la cuenca para obtener el volumen de agua producido por la precipitación, lo cierto es que la medición de un solo punto no es representativo, debiendo tener puntos distribuidos en toda la extensión de la cuenca para tener la confianza necesaria de que los resultados representan la realidad; la forma más usada de graficar las variaciones de intensidad de lluvia en el tiempo es el hietograma.

### 2.2.16.2. Precipitación Promedio

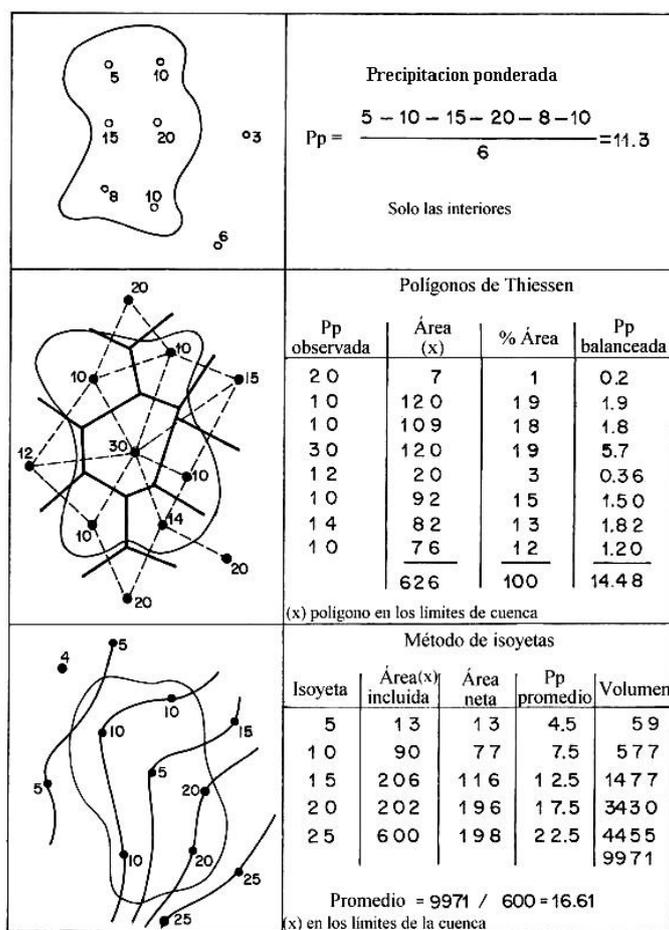
Para obtener este valor será necesario contar con equipos pluviómetros o pluviógrafos distribuidos en la zona interesada, los cuales registraran valores de precipitación únicos y característicos de su ubicación, estos valores al ser sintetizados de la forma correcta representaran de manera apropiada a la cuenca; para realizar este proceso contamos con los métodos siguientes:

- **Método de la Media Aritmética:** Este método busca obtener un valor medio de precipitación que represente a la información proporcionada por todas las estaciones meteorológicas cuya área de influencia es total o parcial dentro de la cuenca. Para aplicarla la cuenca debe seguir 2 criterios, el primero que tenga una superficie uniforme y el segundo que la altura de precipitación registrada en las estaciones siga la misma tendencia.
- **Método de Thiessen:** El método de la media es un método genérico para obtener la precipitación representativa de la cuenca; sin embargo, la mayoría de veces la precipitación no es uniforme en toda la cuenca, habiendo zonas con valores bastante elevados y otras con mínimas, teniendo que descartar el método, ante esto el meteorólogo americano Thiessen (s.f.) propone el método de los polígonos de Thiessen, el cual indica que cada estación tendrá un área de influencia definida por su proyección sobre un plano horizontal, luego mediante una red de líneas rectas se unirá cada estación con la estación vecina más cercana, finalmente uniendo la intersección de los trazos formados por la mediatriz de estas líneas se delimitaran las zonas donde cada estación tiene influencia, así podremos tener una mejor distribución de las precipitaciones que el método anterior.
- **Método de Isoyetas:** A diferencia de los 2 anteriores, la aplicación de este método representa mayor tiempo de trabajo, ya que para su formulación debemos realizar la

interpolación de los registros de pluviómetros contiguos, para obtener una serie de puntos que permitan la obtención de líneas de contorno (isoyetas) muy parecidas a los planos topográficos, pero en este caso con las aturas de precipitación y con el área comprendidas entre isoyetas contiguas y el promedio del valor de las mismas, tendremos nuestra precipitación representativa de la cuenca.

**Figura 8**

*Métodos para calcular lluvias medias sobre una cuenca.*



FUENTE: Tomado de *Diseño Hidrológico*, por Fattorelli y Fernández (2011).

De la evaluación de todos los métodos y sus condiciones deberá definirse el más apropiado para su implementación sobre la cuenca, que ofrezca una distribución de las precipitaciones más acorde a la realidad, y con esta, poder hacer predicciones de los niveles de precipitación a futuro mediante la aplicación de la Hidrología Estadística.

### 2.2.16.3. Interpretación de Datos de Lluvia

Para interpretar correctamente los registros de precipitación, debemos contar con la altura de lámina, la intensidad y su duración, componentes que son necesarios para construir, por ejemplo, los hietogramas, el cual consiste en un diagrama que grafica la variación de la intensidad de la lluvia con respecto al tiempo, muy usados en los estudios hidrológicos (Fattorelli y Fernández, 2011); para un mejor entendimiento se ofrece una descripción detallada de cada uno de los componentes.

- **Lámina (L):** Se define como la altura (usualmente en milímetros) de precipitación que tiene una lámina de agua de dimensiones definidas que se llena en un determinado tiempo (usualmente en horas). Por ejemplo: una lámina de 1 mm que forma en planta un cuadrado de 1 m x 1 m, podríamos decir que ocupa un volumen de 1 litro de agua o la misma altura de lámina que forma en planta un cuadrado de 100 m x 100 m (1 hectárea), podríamos decir que ocupa un volumen de 10 m<sup>3</sup> de agua
- **Duración (D):** Es el tiempo que le toma a la precipitación descargar el volumen de agua contenida; este dato es de suma importancia en los estudios hidrológicos.
- **Intensidad (I):** Se define como la relación entre la magnitud de lámina y su duración (L/D), este parámetro usualmente se considera en milímetros por hora (mm/hora). Por ejemplo, no podríamos decir que los efectos y consecuencias de una lluvia con intensidad de 60 mm/día y 60 mm/hora son las mismas. Por otro lado, las lluvias según su intensidad, pueden ser clasificadas como suaves ( $\leq 3$  mm/h), moderadas ( $> 3$  y  $\leq 10$  mm/h) y fuertes ( $> 10$  mm/h).

### 2.2.16.4. Detección de Datos Dudosos

La metodología de los outliers o datos dudosos fue propuesta por el Consejo de Recursos Hídricos (1982), en el cual indica que estos datos son valores que no siguen la tendencia de los datos restantes, recomendando realizar un ajuste, retención o eliminación de

los mismos, en el último caso, tomando en consideración que al aplicar esta opción podríamos afectar significativamente los resultados cuando se tenga muestras pequeñas.

El método consiste en realizar la comparación del valor obtenido en el coeficiente de sesgo o de asimetría de una serie de datos logarítmicos de precipitación con umbrales de -0.4 y +0.4, en donde si el resultado es menor o mayor respectivamente, en el primer caso se verificara datos dudosos altos y en el segundo datos dudosos bajos, si los valores se encuentran dentro de estos 2 umbrales se deberá aplicar las 2 verificaciones al mismo tiempo; en los tres 3 casos si el valor se considera dudoso podrá ser eliminado para poder conseguir una serie de datos con la misma tendencia.

Las ecuaciones para detectar datos dudosos, son las siguientes:

### **Ecuación 9**

*Datos dudosos altos.*

$$x_H = \bar{x} + K_n s_x$$

Donde:

$x_H$ : Umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas

$\bar{x}$ : Promedio de los logaritmos de la muestra

$K_n$ : Valor para un tamaño de muestra n

$s_x$ : Desviación estándar de los logaritmos de la muestra

### **Ecuación 10**

*Datos dudosos bajos.*

$$x_L = \bar{x} - K_n s_x$$

Donde:

$x_L$ : Umbral de dato dudoso bajo en unidades logarítmicas

$K_n$ : Valor para un tamaño de muestra n

$s_x$ : Desviación estándar de los logaritmos de la muestra

De esta manera, los valores de precipitación aceptados como límite inferior ( $P_L$ ) y superior ( $P_H$ ) quedan determinados mediante las siguientes expresiones:

### Ecuación 11

*Precipitación máxima aceptada.*

$$P_H = 10^{x_H}$$

$P_H$ : Precipitación máxima esperada

$x_H$ : Umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas

### Ecuación 12

*Precipitación mínima aceptada.*

$$P_L = 10^{x_L}$$

Donde:

$P_L$ : Precipitación mínima esperada

$x_L$ : Umbral de dato dudoso bajo en unidades logarítmicas

El valor de  $K_n$  según el tamaño de la muestra, se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 9**

*Valores de  $K_n$  para la prueba de datos dudosos de la pendiente media.*

Tamaño de muestra $n$	$K_n$						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

FUENTE: Adaptado de *Guidelines For Determining Flood Flow Frequency (p. 4-1)*, por U.S. Water Resources Council (1981).

### 2.2.16.5. Análisis de Frecuencia

En la naturaleza las lluvias se presentan con una frecuencia mayor a la que podemos percibir, esta puede ser extrema o tener un comportamiento moderado o leve, sin embargo, debemos tener un control sobre su eventualidad, para ello Chow (1994) propone un análisis de frecuencias mediante el uso de una distribución de probabilidad, en el cual se relaciona el evento con su índice de frecuencia, entendamos así, que los eventos extremos o severos tendrán menor valor de frecuencia debido a que su ocurrencia es muy inusual, presentando un comportamiento inversamente proporcional a la frecuencia, el mismo criterio podrá ser aplicado a los eventos leves y moderados que presentan mayor ocurrencia en el tiempo.

### 2.2.16.6. Distribuciones Teóricas

Entre la variada lista de distribuciones discretas y continuas, el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2012) recomienda que en el Perú los estudios de precipitaciones se realicen con las siguientes distribuciones teóricas probabilísticas: Normal o Gaussiana, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros o Pearson tipo III, Log Pearson tipo III, Gumbel y Log Gumbel, para lo cual se hará uso del máximo valor anual de la variable analizada.

#### 2.2.16.6.1. Distribución Normal o Gaussiana

Es una distribución simétrica en forma de campana, denominada campana de Gauss. Su función de densidad es la siguiente:

#### Ecuación 13

*Distribución Normal o Gaussiana.*

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

*Para:*  $-\infty < x < \infty$

Donde:

$f(x)$ : Función de densidad normal de la variable  $x$

$x$ : Variable independiente y aleatoria

$\mu$ : Parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$

$S$ : Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de  $x$

#### **2.2.16.6.2. Distribución Log Normal 2 Parámetros**

Si la variable aleatoria  $X$ , es positiva y el límite inferior  $x_0$  no aparece. La variable aleatoria:  $Y=\ln X$ , es normalmente distribuida con media  $\mu_y$  y varianza  $\sigma_y^2$ . Se usan estos parámetros para especificar que la distribución es logarítmica, puesto que también puede usarse la media y la varianza de  $X$ . Su función de densidad de probabilidad es:

#### **Ecuación 14**

*Distribución Log Normal 2 parámetros.*

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

$$\text{Para: } 0 < x < \infty$$

Donde:

$f(x)$ : Función de densidad de la variable  $x$

$\mu_y$ : Parámetro de escala, igual a la media de los logaritmos naturales de  $x$

$\sigma_y$ : Parámetro de forma. igual a la desviación estándar de los logaritmos naturales de  $x$

#### **2.2.16.6.3. Distribución Log Normal 3 Parámetros**

Esta difiere de la distribución Log Normal de 2 parámetros por la introducción de un límite inferior  $x_0$ , tal que:

$$y = \ln(x - x_0) \Rightarrow y \sim N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

### Ecuación 15

Distribución Log Normal 3 parámetros.

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

Para:  $x_0 \leq x < \infty$

Donde:

$f(x)$ : Función de densidad de la variable  $x$

$x_0$ : Parámetro de posición en el dominio  $x$

$\mu_y$ : Parámetro de escala en el dominio  $x$

$\sigma_y^2$ : Parámetro de forma en el dominio  $x$

#### 2.2.16.6.4. Distribución Gamma 2 Parámetros

Se dice que una variable aleatoria  $X$ , tiene una distribución gamma de 2 parámetros si su función de densidad de probabilidad es:

### Ecuación 16

Distribución Gamma 2 parámetros.

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma}\Gamma(\gamma)}$$

Para:  $0 \leq x < \infty$

Para:  $0 < \gamma < \infty$

Para:  $0 < \beta < \infty$

Donde:

$f(x)$ : Función de densidad de la variable  $x$

$\gamma$ : Parámetro de forma

$\beta$ : Parámetro de escala

$\Gamma(\gamma)$ : Función gamma completa

### 2.2.16.6.5. Distribución Gamma 3 Parámetros o Pearson Tipo III

Se dice que una variable aleatoria  $X$ , tiene una distribución gamma de 3 parámetros o distribución Pearson tipo III, si su función de densidad de probabilidad es:

#### Ecuación 17

*Distribución Gamma 3 parámetros o Pearson tipo III.*

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)}$$

$$\text{Para: } x_0 \leq x < \infty$$

$$\text{Para: } -\infty < x_0 < \infty$$

$$\text{Para: } 0 < \gamma < \infty$$

$$\text{Para: } 0 < \beta < \infty$$

Donde:

$f(x)$ : Función de densidad de la variable  $x$

$x$ : Variable aleatoria gamma 3 parámetros o Pearson tipo III

$x_0$ : Origen de la variable  $x$ , parámetro de posición

$\beta$ : Parámetro de escala

$\gamma$ : Parámetro de forma

$\Gamma(\gamma)$ : Función gamma completa

### 2.2.16.6.6. Distribución Log Pearson Tipo III

Se dice que una variable aleatoria  $X$ , tiene una distribución Log Pearson tipo III, si su función de densidad de probabilidad es:

## Ecuación 18

*Distribución Log Pearson tipo III.*

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

$$\text{Para: } x_0 \leq x < \infty$$

$$\text{Para: } -\infty < x_0 < \infty$$

$$\text{Para: } 0 < \gamma < \infty$$

$$\text{Para: } 0 < \beta < \infty$$

Donde:

$f(x)$ : Función de densidad de la variable  $x$

$x_0$ : Parámetro de posición

$\beta$ : Parámetro de escala

$\gamma$ : Parámetro de forma

### 2.2.16.6.7. Distribución Gumbel

La distribución Gumbel, es una de las distribuciones de valor extremo, es llamada también Valor Extremo tipo I, Fisher-Tippett tipo I o distribución doble exponencial. La función de distribución acumulada de la distribución Gumbel, tiene la forma:

## Ecuación 19

*Distribución Acumulada Gumbel.*

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

$$\text{Para: } -\infty < x < \infty$$

$$\text{Para: } 0 < \alpha < \infty$$

$$\text{Para: } -\infty < \mu < \infty$$

Donde:

$F(x)$ : Función acumulada de la variable  $x$

$\alpha$ : Parámetro de escala

$\mu$ : Parámetro de posición, llamado también valor central o moda

#### **2.2.16.6.8. Distribución Log Gumbel**

La función de distribución acumulada de la distribución Log Gumbel o Fréchet, tiene la forma:

#### **Ecuación 20**

*Distribución Acumulada Log Gumbel.*

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(\ln x - \mu)}{\alpha}}}$$

$$\text{Para: } -\infty < x < \infty$$

$$\text{Para: } 0 < \alpha < \infty$$

$$\text{Para: } -\infty < \mu < \infty$$

Donde:

$F(x)$ : Función acumulada de la variable  $x$

$\alpha$ : Parámetro de escala

$\mu$ : Parámetro de posición, llamado también valor central o moda

#### **2.2.16.7. Prueba de Bondad de Ajuste**

La prueba busca comparar gráfica y estadísticamente la distribución de un conjunto de datos, para nuestro caso la precipitación, con una distribución teórica; gráficamente la comparación consiste en verificar que las curvas formadas entre los datos observados y la distribución teórica coincidan lo máximo posible, estadísticamente que los datos observados no sean mayores que un valor umbral.

La menor o mayor coincidencia de los datos observados y teóricos brindara confianza a las hipótesis planteadas; entre los métodos más usados son: Chi-cuadrado, Smirnov-

Kolmogorov y Error cuadrático mínimo; en la presente investigación considerando que se tiene una muestra independiente y no agrupada, se aplicó la de Smirnov-Kolmogorov que puede ser usada en muestras de cualquier tamaño.

#### **2.2.16.7.1. Prueba Smirnov - Kolmogorov**

Villón (2002) explica que la prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia entre la probabilidad empírica y teórica de los datos con la diferencia entre el valor observado y de la recta teórica; de todas las muestras, la que tenga el menor valor presentara el mejor ajuste.

#### **Ecuación 21**

*Máximo valor absoluto de la diferencia entre el valor observado y teórico.*

$$\Delta = \text{máx}[F(x) - P(x)]$$

Donde:

$\Delta$ : Estadístico de Smirnov – Kolmogorov, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica

$F(x)$ : Probabilidad de la distribución teórica

$P(x)$ : Probabilidad experimental o empírica de los datos

Como se explicó en el acápite anterior, ya tenemos claro el cálculo de la probabilidad de la distribución teórica; con relación a la probabilidad empírica esta será calculada con la Ecuación 2.22.

#### **Ecuación 22**

*Probabilidad empírica o experimental de Weibull.*

$$P(x) = \frac{M}{N + 1}$$

Donde:

$P(x)$ : Probabilidad empírica o experimental

$M$ : Número de orden

$N$ : Número de datos

Asimismo, la metodología nos señala que el estadístico  $\Delta$  deberá compararse con un valor crítico  $\Delta_0$  el cual será obtenido para un nivel de significación del 5% y  $N$  igual al número de datos.

**Tabla 10**

*Valores críticos de  $\Delta_0$  del estadístico de Smirnov - Kolmogorov  $\Delta$ .*

Tamaño muestral <b>N</b>	Nivel de significación $\alpha$				
	<b>0.20</b>	<b>0.15</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>
1	0.900	0.925	0.95	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.41	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.2	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
<b>N &gt; 35</b>	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

*FUENTE: Adaptado de Hidrología Estadística (p. 185), por Villón Bejár.*

Finalmente, se deberá comparar el estadístico  $\Delta$ , con el valor crítico  $\Delta_0$  del Cuadro 2.8, los cuales cumplirán uno de los siguientes criterios:

- $\Delta < \Delta_0$  : El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado.
- $\Delta \geq \Delta_0$  : El ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado, siendo necesario probar con otra distribución.

### 2.2.17. Periodo de Retorno

Se define como la probabilidad de que un evento de determinada magnitud sea igualado o superado en un tiempo determinado.

La probabilidad  $p = P(X \geq x_t)$  de ocurrencia del evento  $X \geq x_t$  en cualquier observación puede relacionarse con el periodo de retorno. La probabilidad de que un evento ocurra es el inverso proporcional a su período de retorno.

#### Ecuación 23

*Probabilidad de ocurrencia de un evento.*

$$P(X \geq x_t) = \frac{1}{T}$$

Donde:

$T$ : Periodo de retorno en años

Una vez establecido la distribución de probabilidad que más se ajuste a la variable aleatoria (precipitación) y con su determinado período de retorno, es posible el diseño de una tormenta máxima probable. Esta deberá tener una distribución temporal variable, pero una distribución espacial uniforme. Como se mencionó anteriormente, el modelo hidrológico simplifica muchas de las variables influyentes.

#### 2.2.17.1. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF)

Hinojosa (1987) explica que las curvas IDF son el resultado de trabajar con intensidades media cuya característica en común es que son originadas en base a un mismo periodo de

retorno y estas se unirán en intervalos de diferente duración formando la gráfica correspondiente (p. 53); para un mejor entendimiento habrá que conocer más a detalle la definición de los 3 elementos que conforman la curva, en ese sentido, habría que entender que la Intensidad (I) no es más que la magnitud de la precipitación, en este caso de la lluvia, expresada en valores de milímetros sobre hora; el segundo término, Duración (D), hace alusión a la duración del evento total, esta comúnmente será determinada en minutos; ya en el tercer término nos encontramos con la Frecuencia (F) la cual es la probabilidad de que el evento se produzca.

#### **Ecuación 24**

*Cálculo de la intensidad.*

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Donde:

*i*: Intensidad (mm/h)

*P*: Profundidad de lluvia (mm)

*T<sub>d</sub>*: Duración, usualmente en horas

##### **2.2.17.1.1. Construcción de las Curvas IDF**

Para la construcción de las curvas como se explicó en la definición, será necesario contar con los 3 componentes, sin embargo, muchas veces no será posible por falta de instrumentación, debiendo optar por metodologías que consigan el mismo objetivo, Guevara (1991) indica que el método Dick Peschke, muy usado en la actualidad, consigue resultados muy buenos para tormentas cuya duración es menor a 1 hora o cuando no existan registros de intensidades máximas, la metodología propone que las precipitaciones máximas de 24 horas pueden relacionarse con su duración para obtener las intensidades requeridas mediante la Ecuación 25.

## Ecuación 25

*Método Dick Peschke.*

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

Donde:

$P_d$ : Precipitación total (mm)

$d$ : Duración en minutos

$P_{24h}$ : Precipitación máxima de 24 horas

Con la intensidad calculada teóricamente, Aparicio (1997) propone una metodología analítica para obtener las gráficas IDF, la cual consiste en el planteamiento de un modelo de regresión lineal que involucre las variables de intensidad, duración y frecuencia, de tal forma que los datos puedan ser extrapolados a zonas cercanas donde no existan registros de precipitación alguno; el autor planteo la Ecuación 26 para relacionar los resultados obtenidos de la regresión.

## Ecuación 26

*Intensidad de precipitación.*

$$I = \frac{kT^m}{D^n}$$

Donde:

$I$ : Intensidad de precipitación en mm/h

$T$ : Periodo de retorno en años

$D$ : Duración en minutos u horas

$k$ : Constante de regresión múltiple

$T^m$ : Constante de regresión múltiple

$D^n$ : Constante de regresión múltiple

Luego, aplicando los logaritmos a la Ecuación 26 propuesta se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple y cuyo modelo se expresa en la Ecuación 27:

### **Ecuación 27**

*Modelo de Regresión Lineal Múltiple.*

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D$$

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$$

Donde:

$$y = \log(I) \qquad a_0 = \log(k)$$

$$X_1 = \log(T) \qquad a_1 = m$$

$$X_2 = \log(D) \qquad a_2 = -n$$

#### **2.2.17.2. Hietograma de Precipitación**

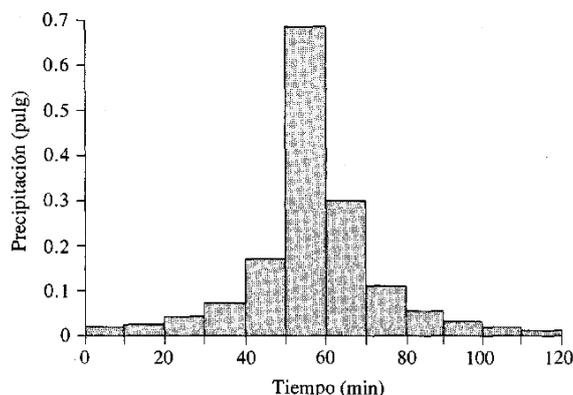
Fattorelli y Fernández (2011) explican que el hietograma es una expresión del cambio que sufre la intensidad de lluvia con relación al tiempo durante la ocurrencia de tormentas.

Además, Villón Béjar (2002) nos aclara que un Hietograma es una gráfica en forma escalonada lo cual representa la intensidad de una tormenta en milímetros, con el tiempo desde su inicio y fin de la tormenta, lo cual nos facilita obtener la máxima intensidad y el tiempo de ocurrencia.

Una forma de obtenerlo es a partir de las curvas IDF, que nos ayuda a aplicar el Método de Bloques alternos (Chow et al, 1994).

**Figura 9**

*Hietograma de diseño.*



*FUENTE:* Tomado de *Hidrología Aplicada* (p. 479), por Te Chow, V. (1994).

### **2.2.17.3. Hietograma de Bloques Alternos**

El hietograma puede obtenerse mediante pluviógrafo, sin embargo, en la práctica muchas veces es difícil conseguir esta información por la ausencia del equipo y otras causas más, ante ello, el método más usado para obtener el hietograma es el de los bloques alternos.

Esta metodología usa las curvas de intensidad – duración – frecuencia obtenidas del análisis de precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno y mediante el análisis de regresión múltiple de estos datos obtendremos la distribución de la intensidad en  $n$  intervalos de duración  $\Delta_t$  para una duración total  $T_d = n\Delta_t$ . La gráfica se forma de intercalar los valores del producto de la intensidad con la duración en la ordenada y la duración en minutos en la abscisa.

### **2.2.18. Modelamiento Hidrológico**

Los modelos buscan simular la realidad mediante una representación simplificada de todas las variables y procesos que participan en ella o son de intereses para el usuario, a través de ecuaciones o formulaciones matemáticas elaboradas específicamente para abarcar el fenómeno estudiado; en el mundo de la hidrología, estas variables son diversas, entonces debemos delimitar nuestro campo de estudio netamente a los que nos interesa, las cuencas y los eventos que se producen sobre ella, para poder acaparar solamente las variables como la

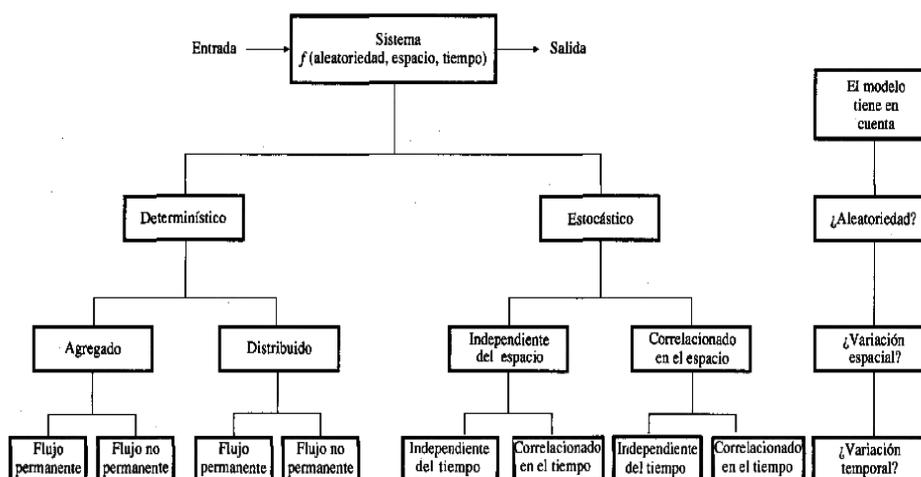
red de drenaje, cobertura vegetal, tipo de suelo, y procesos como la intensidad y duración de la precipitación, entre otros más. Para un buen modelo este deberá poder responder a 3 interrogantes que deben producirse dentro del mismo, los cuales son: ¿Existe aleatoriedad?, ¿Varían en el espacio? y ¿Varían en el tiempo?

Los procesos hidrológicos de la naturaleza tienen un comportamiento estocástico, esto quiere decir que evolucionan en el tiempo y en el espacio, pero en cierta forma son en parte predecibles y en parte aleatorios, no pudiendo realizar una cuantificación exacta de estas 2 características, ya que en algunos momentos los eventos podrían adquirir un comportamiento netamente aleatorio o netamente predecible o determinístico. Cuando tratamos con modelos estocásticos los resultados siempre estarán en función del tiempo, muy diferente cuando el modelo es determinístico ya que el resultado será consecuencia de una misma acción, dejando de lado la aleatoriedad (Chow, 1994). Esta tesis sigue un modelo hidrológico y dicho sea de paso hidráulico, de comportamiento determinístico, con flujo no permanente y permanente respectivamente.

La Figura 10 muestra los diferentes modelos hidrológicos que existen en la actualidad.

**Figura 10**

*Clasificación de modelos hidrológicos.*



*FUENTE: Tomada de Hidrología Aplicada (p. 11), por V. T. Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays, 1994, McGrawHill.*

Cuando se haya logrado dar respuesta a las 3 interrogantes, podríamos decir que tenemos un modelo adecuado que representa la realidad objetivo; dentro del modelo se presentaran ciertas situaciones o simplificaciones para su operación, por ejemplo, que la precipitación es uniforme en toda la cuenca, que los valores de cobertura vegetal, tipo de suelo, entre otros, estarán representados por un valor promedio, etc.

### Ecuación 28

*Ecuación de transformación del sistema.*

$$Q(t) = \Omega I(t)$$

Donde:

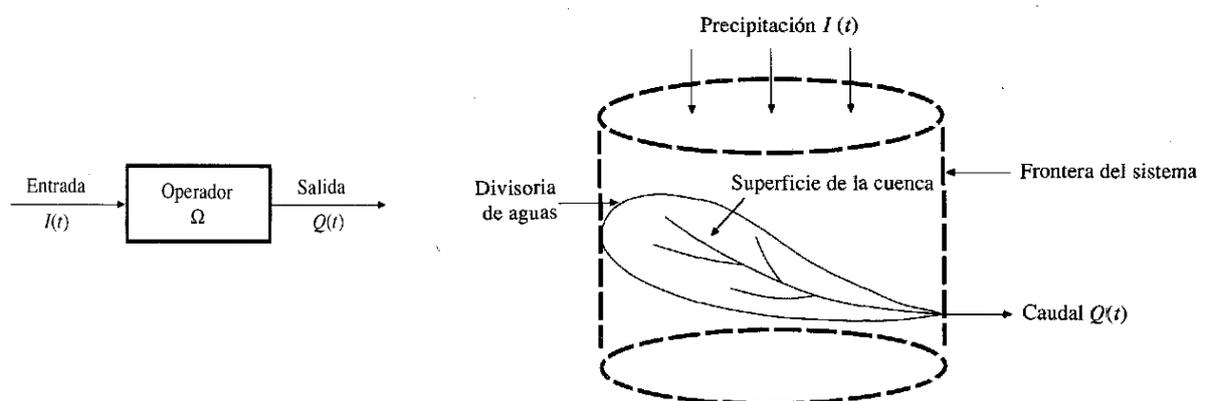
$Q$ : Salida del sistema

$\Omega$ : Operador algebraico de función de transferencia entre la entrada y la salida del sistema

$I$ : Entrada del sistema

### Figura 11

*Representación esquemática de la operación de un sistema (izquierda) y la Cuenca como un sistema hidrológico (derecha).*



*FUENTE: Tomada de Hidrología Aplicada (p. 7-8), por V. T. Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays, 1994, McGrawHill.*

En su forma gráfica, todas las variables que influyen en el proceso de transformación lluvia-escorrentía, pueden ser simplificadas.

### **2.2.18.1. Teorema de Transporte de Reynolds**

La mayoría de los modelos hidrológicos antes de iniciar cualquier operación, respetaran el principio fundamental de conservación de la masa, el cual será obtenido a partir del “Teorema de Transporte de Reynolds” o también conocido como “Ecuación de Volumen de Control”; después podrá ser aplicado a sistemas cerrados como una cuenca hidrográfica (Chow, 1994), que junto a sus propiedades físicas como el tamaño y forma, la red de drenaje y otros procesos más, podrá simular el flujo del agua

#### **2.2.18.1.1. Movimiento del Flujo**

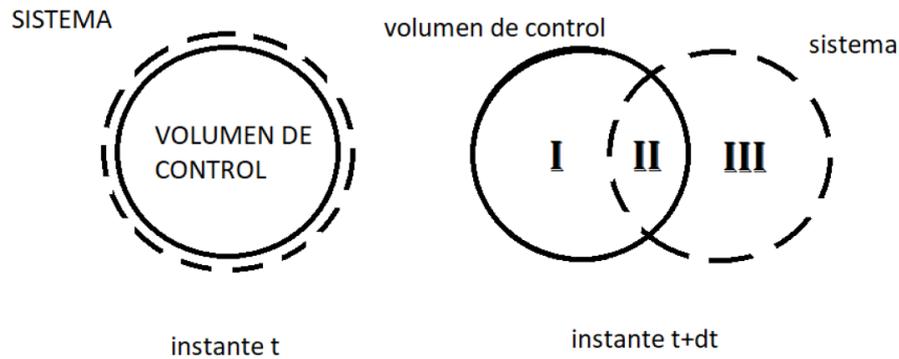
El flujo presente en un sistema hidrológico puede ser estudiado bajo 2 puntos de vista, el de Lagrange y el de Euler, en el primer caso, el estudio se basa en que para estudiar el movimiento de una partícula, debemos seguir el recorrido para saber su comportamiento, esto quiere decir que en un sistema tridimensional de ejes coordenados  $x, y, z$ , el punto de referencia siempre será móvil en la expresión que identifica el campo de velocidades  $\vec{V} = \vec{V}[(X(t), Y(t), Z(t), t)]$ , en el segundo caso, Euler propone que el estudio del movimiento de la partículas deberá ser abordado desde un punto de referencia estático, es decir, las coordenadas  $x, y, z$  deberán fijarse y desde ahí evaluar el campo de velocidades de todas las partículas que pasan por ese punto en función del tiempo  $\vec{V} = \vec{V}(x_1, y_1, z_1, t)$ .

El fluido presenta 2 propiedades que son usadas en el teorema de Reynolds, la extensiva que depende de la cantidad de masa y la intensiva que no depende de la cantidad de masa, estas podrán ser relacionadas directamente asignando un valor  $B$  y  $\beta$  a la propiedad extensiva e intensiva respectivamente y para que la relación funcione  $B$  estará expresado en función de la masa del fluido, es decir,  $\beta = dB/dm$ .

La propuesta más aceptada para analizar las partículas de un fluido consiste en envolver el fluido por una masa imaginaria y analizar las partículas que ingresan a esta masa.

### Figura 12

*Volumen de control.*



FUENTE: Tomado de *Mecánica de Fluidos* (p. 127), por F. Ugarte, 1989, San Marcos.

La ecuación que representa el teorema de Reynolds, se denota de la siguiente forma:

### Ecuación 29

*Teorema de Reynolds.*

$$\frac{dB}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_{v.c} \beta \rho dV + \iint_{s.c} \beta \rho V dA$$

El primer término se refiere a la variación que sufre la propiedad extensiva con respecto al tiempo y el segundo término expresa la variación de la dinámica interna del fluido con relación al tiempo más la diferencia del flujo de salida menos el flujo de entrada. Los datos de entrada serán negativos y los datos de salida positivo.

#### 2.2.18.2. Ecuación de Continuidad Integral

Si la masa es la propiedad extensiva a analizar, entonces  $B = m$ . Por la ley de la conservación de la masa  $dB/dt = dm/dt = 0$ , porque la masa no se crea ni se destruye, sustituyendo se tiene la Ecuación 30:

### Ecuación 30

*Ecuación de continuidad integral para un flujo no permanente de densidad variable.*

$$0 = \frac{d}{dt} \iiint_{v,c} \rho dV + \iint_{s,c} \rho V dA$$

Si el flujo tiene densidad constante, denominamos S al volumen de fluido almacenado en el Volumen de control ( $\iiint_{v,c} \rho dV$ ) y finalmente el flujo neto en la superficie de control ( $\iint_{s,c} \rho V dA$ ) lo denominamos flujo de entrada y de salida.

Entonces la ecuación de continuidad puede reescribirse como la Ecuación 31:

### Ecuación 31

*Ecuación de continuidad integral para un flujo no permanente de densidad constante.*

$$0 = \frac{dS}{dt} + Q(t) - I(t)$$

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t)$$

Donde:

$I(t)$ : Entrada del sistema

$Q(t)$ : Salida del sistema

La ecuación de continuidad puede ser aplicado a cualquiera de los 3 campos dimensionales que existen, sin embargo, su mayor uso se da en el campo tridimensional para determinar el volumen de agua que fluye en un punto durante un tiempo determinado, este es el concepto que define a los hidrogramas de diseño.

#### 2.2.18.3. Modelamiento con HEC-HMS.

Cuando se busca realizar estudios en cuencas, uno de los objetivos principales es el cálculo de los hidrogramas de salida en donde estará representado los caudales máximos junto con los tiempos pico, valores necesarios para estudios posteriores, teniendo que optar muchas veces por programas computacionales para tal misión. El HEC-HMS (Hydrologic Engineering

Centef s Hydrologic Modeling System) es una aplicación desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, cuya función principal es obtener estos hidrogramas a partir de precipitaciones, de preferencia extremas (Villón, 2007); sin embargo, estos valores de ingreso deberán estar expresados en hietogramas los cuales ayudaran a obtener los diferentes procesos que suceden dentro de la cuenca hasta la obtención final de los caudales, estos procesos ya se encuentran incorporados en el programa debiendo ser activados mediante las diferentes metodologías propuestas por los múltiples autores que se encuentran en las listas de selección.

#### 2.2.18.4. Fases de Trabajo del HEC-HMS

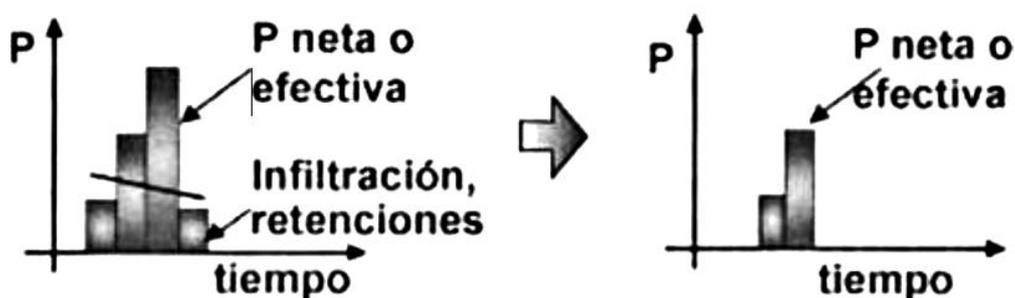
Según Villón Béjar (2007), podemos definir las siguientes fases a seguir en el programa:

##### 2.2.18.4.1. Separación de la Lluvia Neta o Efectiva (*Loss Method*)

Al precipitar la lluvia no toda llega a convertirse en escorrentía, ya que por diferentes causas parte de la lluvia queda retenida en el camino, entre las más comunes tenemos: retención por vegetación, infiltración en suelos, evaporación, etc. y la lluvia sobrante es la que llega a los canales de drenaje formando las corrientes.

#### Figura 13

*Precipitación Neta o Efectiva.*



FUENTE: Tomado de HEC-HMS (p. 26), por Villón, M. (2007).

- **Modelo del Número de Curva del SCS (SCS Curve Number)**

Para el cálculo de la precipitación neta existe variada teoría y métodos al respecto, sin embargo, una de las más práctica es la del número de curva; este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1972) quienes mencionan que el cálculo sirve para obtener las abstracciones iniciales; sin embargo, extrayendo este valor de las precipitaciones totales indirectamente se encontrara la precipitación en exceso que llega a convertirse en escorrentía directa; este parámetro empírico se encuentra definido por las propiedades del tipo de suelo, cobertura vegetal y humedad antecedente, el cual ha sido aplicado en un gran número de cuencas con el fin de poder ser calibrado y establecer sus valores actuales.

**Ecuación 32**

*Estimación de la precipitación neta en exceso  $P_e$ .*

$$P_e = \frac{[CN(P + 50.8) - 2080]^2}{CN[CN(P - 203.2) + 20320]}$$

Donde:

$P_e$ : Precipitación en exceso, en mm

$P$ : Precipitación de la tormenta, en mm

$CN$ : Número de curva

Los autores del método, para obtener la Ecuación 2.32, para datos experimentales se basaron en una relación entre  $I_a$  y  $S$ , la cual es:

**Ecuación 33**

*Relación de las Pérdidas Iniciales e Infiltración Potencial Máxima.*

$$I_a = 0.2S$$

Donde:

$I_a$ : Perdidas o sustracciones iniciales, en mm

$S$ : Infiltración potencial máxima, en mm

El SCS después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas estableció una relación para estimar S a partir del número de curva CN, mediante la siguiente ecuación:

### Ecuación 34

*Relación de la Infiltración Potencial Máxima y el Número de Curva.*

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

S: Infiltración potencial máxima, en mm

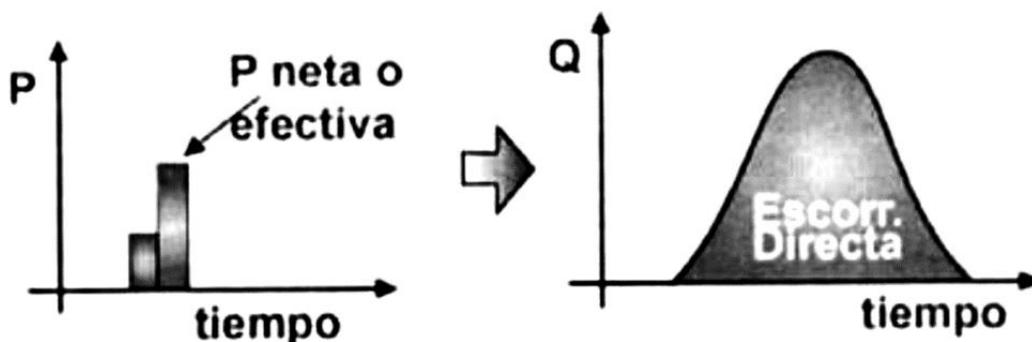
CN: Número de curva

#### 2.2.18.4.2. Transformación de Precipitación Neta a Escorrentía Directa (Transform Method)

El programa HEC-HMS entre la diversidad de funciones con las que cuenta, una muy práctica que ayuda a simplificar los procesos de cálculo es la conversión de precipitación neta a escorrentía.

### Figura 14

*Obtención de la Escorrentía directa.*



FUENTE: Tomado de HEC-HMS (p. 33), por Villón, M. (2007).

#### - Hidrograma Unitario del SCS

Los hietogramas por sí solos, se encuentran limitados solo a conocer el comportamiento de las precipitaciones en la atmosfera; sin embargo, nuestro interés va dirigido al comportamiento de las lluvias sobre el suelo de la cuenca, teniendo que realizar una serie de

transformaciones para lograr que la lluvia se convierta en caudal, la metodología con mayor uso para este fin es la del Hidrograma Unitario propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos que lo que hace es recurrir al concepto de función de transferencia del análisis de sistemas lineales aplicado a la hidrología para obtener los hidrogramas de la cuenca (Stowhas, s.f., p. 212); en esta metodología las estimaciones se realizan en base al registro histórico de precipitaciones encontradas en las estaciones meteorológicas y la información morfológica de la cuenca que se encuentra en planos topográficos o imágenes satelitales de modelos digitales de elevación.

El Hidrograma Unitario de la cuenca no es más que el hidrograma de escorrentía directa a consecuencia de una lluvia de duración efectiva  $T$  e intensidad efectiva constante  $i_{ef} = 1/T$ , de tal forma que el resultado de la precipitación efectiva total  $P_{ef} = i_{ef} \cdot T$  sea la unidad (1 mm). Si el Hidrograma Unitario  $HU(T,t)$  fuera conocido, la magnitud de la crecida provocada por una tormenta determinada de magnitud efectiva  $P_{ef}$ , será:

### **Ecuación 35**

*Magnitud de la crecida provocada por una tormenta de  $P_{ef}$ .*

$$Q(t) = P_{ef} \times HU(T, t)$$

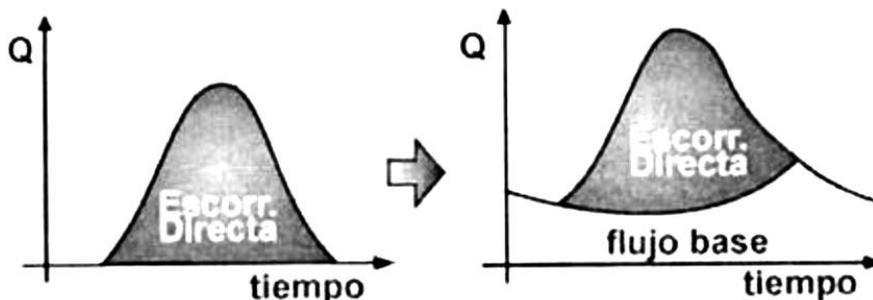
Lo que quiere decir que en el gráfico del Hidrograma Unitario, las ordenas sufrirán un aumento producido por el producto con la magnitud  $P$  de la tormenta efectiva.

#### **2.2.18.4.3. Agregar a la Escorrentía Directa la Escorrentía Base**

Cuando se realiza el modelo hidrológico deberá tenerse cuidado de no dejar de lado la escorrentía base, ya que esta podría influir mucho en los resultados que obtengamos si sus valores son de magnitud considerable, no debiendo descartarlos en ese caso.

**Figura 15**

*Consideración del Flujo Base preexistente.*



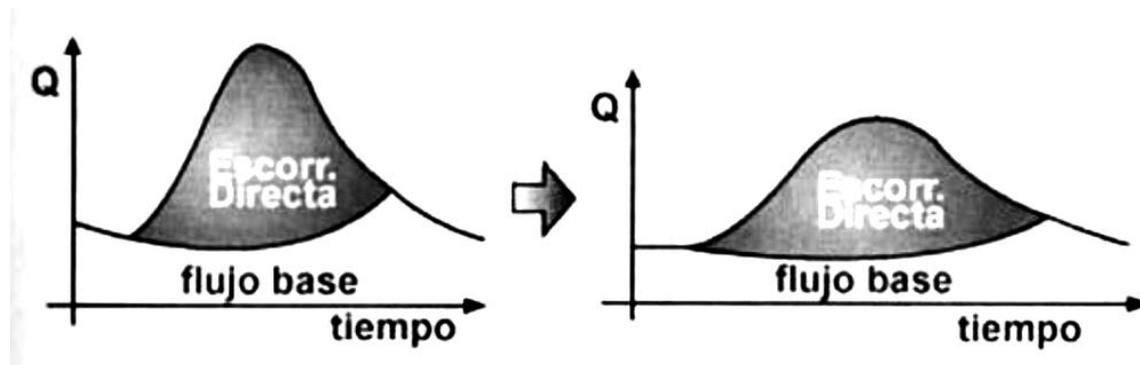
FUENTE: Tomado de HEC-HMS (p. 34), por Villón, M. (2007).

#### 2.2.18.4.4. Tránsito de Caudales

Cuando un volumen de agua sigue su curso en la naturaleza, la mayoría de veces los canales no presentan secciones uniformes con las mismas características en todo su recorrido, lo que afectara notablemente la curva graficada en los hidrogramas de diseño en cada instante, el HEC-HMS considera estos aspectos mediante el modelo de transito de caudales para evaluar la evolución del hidrograma entre 2 puntos de un canal y representar gráficamente estas variaciones.

**Figura 16**

*Tránsito de Caudales.*



FUENTE: Tomado de HEC-HMS (p. 35), por Villón, M. (2007).

#### - Modelo de Muskingum

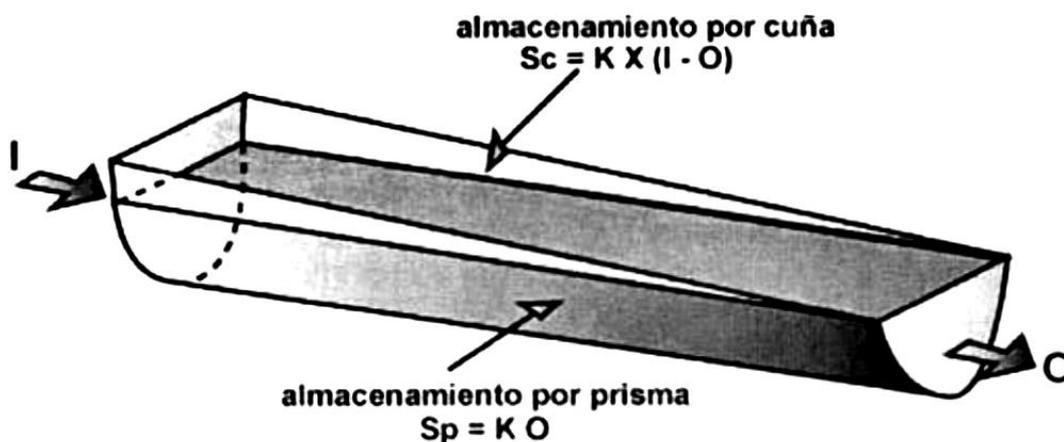
El modelo de Muskingum usado generalmente para la prevención de avenidas, en palabras de su creador McCarthy (1938), debe su nombre al lugar en donde fue desarrollado, el Servicio de Conservación del distrito de Muskingum en los Estados Unidos, cuya aplicación

no demanda mayor esfuerzo que el de conocer el tipo de almacenamiento en donde se encuentra contenido el fluido y las relaciones que existen entre ambos. A continuación, se explica los 2 tipos de almacenamiento mencionado.

- a. Almacenamiento en forma de prisma: Volumen formado por un canal de sección constante en todo el emplazamiento evaluado.
- b. Almacenamiento en forma de cuña: Volumen formado por un canal en donde la superficie libre de la sección o espejo de agua presenta una pendiente en el tramo evaluado descontando el volumen prismático; en este caso se presentará 2 subtipos: el primero formando una cuña positiva, peculiar de las avenidas en donde el flujo de entrada es mayor al de salida y el segundo formando una cuña negativa, característico de las etapas de recesión donde el flujo presenta un comportamiento inverso al primero.

**Figura 17**

*Almacenamiento por prisma y por cuña en un tramo de un cauce.*



*FUENTE: Tomado de HEC-HMS (p. 43), por Villón, M. (2007).*

- **Obtención de “K” y “X” a partir de Información de Campo**

Estos parámetros empíricos permiten el cálculo de los hidrogramas de diseño en un cauce de río; el valor K es definido como el tiempo que le toma a la onda cinemática de avenida recorrer el tramo en consideración, podría tomarse valores equivalentes al tiempo de concentración para el tramo; en el caso del valor X, este define la forma del almacenamiento,

ya que valores iguales o cercanos a 0 nos da una referencia a que nos encontramos con canales prismáticos o de tipo embalse, por el otro lado, si el valor tiende a 0.5 podremos afirmar que nos encontramos con cauces de río con comportamiento tipo cuña, un valor recomendado para X va desde 0.2 a 0.35. Si se cuenta con los hidrogramas de entrada y salida provistos por estaciones hidrometeorológicas, el cálculo de estos parámetros se volverá más sencillo ya que la metodología adoptada será, asumir valores para X y usando la información de los caudales, se obtendrá K, mediante la Ecuación 36.

### **Ecuación 36**

*Cálculo del valor de K.*

$$K = \frac{\frac{\Delta t}{2} [(I_1 + I_2) - (O_1 + O_2)]}{X(I_2 - I_1) + (1 - X)(O_2 - O_1)}$$

Donde:

$I_1$ : Caudal de entrada al comienzo en un tramo

$I_2$ : Caudal de entrada al final en un tramo

$O_1$ : Caudal de salida al comienzo en un tramo

$O_2$ : Caudal de salida al final en un tramo

La forma de aplicar la Ecuación es graficando el numerador como ordenada y el denominador como abscisa, el valor correcto de X y Y se nos mostrar cuando la gráfica se presente como un lazo que tiende a la forma recta.

#### **2.2.18.5. Componentes Principales de un Proyecto HEC-HMS**

Con los diferentes aspectos tocados hasta este punto, servirán para conformar el proyecto completo del modelo hidrológico de la cuenca. Estos se agruparán en las siguientes partes:

### 2.2.18.5.1. *Modelo de la Cuenca (Basin Model)*

Representa la cuenca física, aquí se desarrolla el modelo de la cuenca, agregando y conectando los elementos hidrológicos descritos en la Tabla 11, los cuales proponen modelos matemáticos que servirán para describir los procesos físicos que se producen en la misma.

**Tabla 11**

*Iconos de la barra “Elementos” de la Herramienta Creación.*

	<p><b>Subbasin Creation Tool</b></p> <p>La cuenca a modelar se divide en diferentes subcuencas. Para realizar la representación en el modelo de ellas se hace uso de los elementos “Subbasin”. Al hacer doble click encima de un elemento subbasin aparece un formulario donde se pueden definir los parámetros que caracterizan a éste, como por ejemplo el área.</p>
	<p><b>Reach Creation Tool</b></p> <p>Los hidrogramas resultantes a la salida de las subcuencas se propagan a través de cauces. El hecho que un hidrograma viaje por un cauce provoca cambios en el hidrograma. Para tener en cuenta este efecto se deben utilizar los elementos “Reach”. Al hacer doble click encima de ellos se puede escoger el método de propagación y rellenar los parámetros necesarios para su definición. Para el caso del trabajo, se debe escoger el método de propagación de Muskingum y proporcionar los parámetros K y X del cauce.</p>
	<p><b>Reservoir Creation Tool</b></p> <p>Para prevenir crecidas importantes en ciertos puntos de interés se deberán ubicar embalses de laminación que se modelarán mediante los elementos “Reservoir”.</p>
	<p><b>Junction Creation Tool</b></p> <p>Para representar la operación de suma de hidrogramas en un punto, HMS dispone del icono “Junction”.</p>
	<p><b>Diversion Creation Tool</b></p> <p>Existen puntos de la red donde pueden existir estructuras hidráulicas como vertederos o azudes de derivación que extraen cierta cantidad de caudal y la derivan a otros puntos. Para poder representar estas extracciones se hace uso de la herramienta “Diversion”.</p>
	<p><b>Source Creation Tool</b></p> <p>Si existe un aporte de caudal extra conocido se puede modelar mediante el elemento “Source”. Este elemento permite modelar aporte de caudal constante en el tiempo o bien en forma de hidrograma.</p>
	<p><b>Sink Creation Tool</b></p> <p>Si existen pérdidas en puntos de la red se pueden modelar haciendo uso de la herramienta “Sink”.</p>
	<p><b>Break Point Creation Tool</b></p> <p>Definir un punto en el espacio donde confluyen y desembocan todos los cauces de una zona (cuenca hidrográfica).</p>

*FUENTE: Adaptado de Manual de Utilización del Programa HEC-HMS (p. 7), por Instituto de Investigación en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica (FLUMEN).*

En este componente se informa al programa, todas las características que son parte de la cuenca, así como las subcuencas que se hayan generado. Los proyectos podrán estar

conformados por una subcuenca o varias (lo que es más común) y el programa calculará la evolución del hidrograma generado al transitar de una subcuenca a otra.

#### ***2.2.18.5.2. Modelo Meteorológico (Meteorological Model)***

En esta fase del modelo hidrológico se involucrará cada subcuenca con su respectiva información meteorológica obtenida de los equipos pluviográficos y pluviométricos (el programa HEC-HMS puede calcular el promedio para cada subcuenca cuando se tenga más de uno de estos equipos); de no contarse con información real, también se podría hacer uso de las precipitaciones teóricas o también conocidas como tormentas de diseño (Villón, 2008).

#### ***2.2.18.5.3. Especificaciones de Control (Control Specifications)***

Finalmente, Villón (2008), nos dice que en este componente se define el inicio y fin de la simulación el cual será mayor al periodo de duración de la precipitación debido a que debemos permitir que el caudal generado por esta lluvia llegue a la estación de aforo de la cuenca; asimismo, se definirá el incremento de tiempo (Time Interval) con el que se realizaran los cálculos, lo cual sirve para indicar cada cuanto tiempo se deben realizar los cálculos, con ello, obtenemos el detalle del hidrograma resultante, el HEC-HMS recomienda que este incremento no debe ser menor que el 29% del Lag Time, es decir del tiempo de retraso o retardo, entre el pico del hietograma y el pico del hidrograma.

### **Ecuación 37**

*Cálculo del Tiempo de Retraso o Lag Time.*

$$\text{Lag Time} = 0.6T_C$$

Donde:

$T_C$ : Tiempo de Concentración

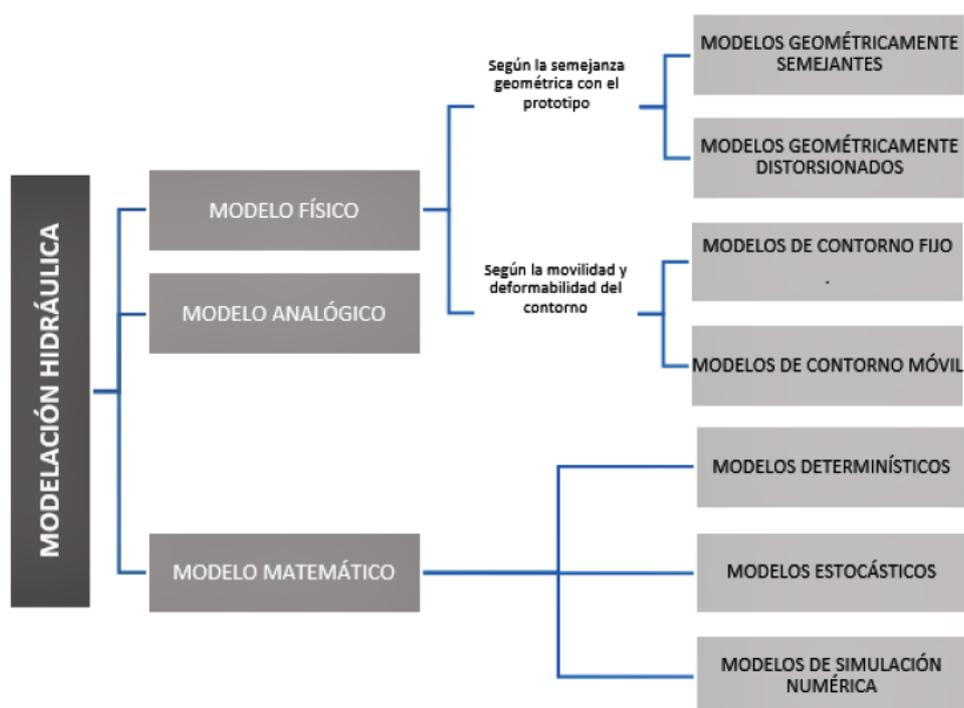
#### ***2.2.19. Modelamiento Hidráulico***

La aplicación de los modelos hidráulicos está orientada a la resolución de los problemas que se generan en los diferentes tipos de estructura hidráulica, también a los fenómenos físicos

que se da en suelos, como la infiltración, y en el agua, como transporte de sedimentos y la misma regulación de los ríos, en esta última situación es donde apuntara el mayor interés, ya que el modelamiento permite realizar el estudio de transito de avenidas, definido como la variación del caudal entre 2 secciones adyacentes. Los modelos hidráulicos podrían clasificarse en físicos, analógicos y matemáticos, cuya aplicación de uno u otro requiere cumplir ciertos requisitos (Orellana, 2021).

**Figura 18**

*Clasificación de los Modelos Hidráulicos.*



*FUENTE: Tomada de Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para un Sistema de Alerta Temprana en la Quebrada Cashahuacra, distrito de Santa Eulalia (p. 56), por Palomino, V. y Mauricio, L. (2019).*

### **2.2.19.1. Clasificación de los Modelos Hidráulicos**

#### **2.2.19.1.1. Modelo Físico**

Los modelos físicos son del tipo determinístico, o sea no presentan aleatoriedad, un dato de entrada producirá el mismo resultado de salida, este tipo de modelo los podemos clasificar en modelos en función a su geometría y en función a su movilidad y deformación del contorno,

cada tipo presentará sus propias peculiaridades y su uso estará definido por el comportamiento y complejidad de la obra a tratar.

En función a la geometría, tenemos los modelos que son geoméricamente semejantes con la realidad, que se usaran en el diseño de desarenadores, bocatomas, canales, entre otros y los modelos que son geoméricamente distorsionados de la realidad, que serán aplicados en el diseño de estructuras marítimas.

Ahora, en función a su movilidad y deformación del contorno, tenemos los modelos de contorno fijo, que podrán ser implementados en sistemas de presión, canales revestidos, entre otros y los modelos móviles, que serán destinados para obras hidráulicas y de mecánica fluvial.

#### ***2.2.19.1.2. Modelo Analógico***

La estructura que da origen a los modelos analógicos está conformada por una serie ecuaciones expresadas matemáticamente, entre ellos tenemos los modelos de flujo a través de medios permeables, flujo laminar en capas delgadas y flujo turbulento, entre otros.

#### ***2.2.19.1.3. Modelo Matemático***

En el caso del modelo matemático su base está conformada por la descripción del fenómeno mediante un conjunto de hipótesis y relación de sus variables, entre ellos tenemos:

- Modelos determinísticos: aquí podemos encontrar los modelos físicos, donde el dato de entrada generara un único dato de salida, en estos modelos no existe la incertidumbre en el proceso modelado.
- Modelos estocásticos: en este caso pasa lo contrario al modelo determinístico, ya que el dato de entrada, si puede generar múltiples datos de salida productor del azar.
- Modelos de simulación numérica: aquí se proponen los modelos basados en sistemas de ecuaciones fundamentadas en una teoría matemática, que simulan mejor la realidad, empleando los métodos más complejos que pueden abarcar varios procesos que son de

difícil resolución con el cálculo convencional; uno de los métodos es el de los elementos finitos.

### **2.2.19.2. Software HEC RAS**

El software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) es una aplicación creada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, cuya función es obtener el modelo hidráulico de un río o redes de drenaje de una cuenca, con el fin de evaluar cómo se comportan estos ante determinados caudales de diseño; el programa dentro de su algoritmo permite editar secciones y agregar los efectos que genera las estructuras hidráulicas, como puentes y diques, en el curso del flujo, el cual podrá ser analizado en un régimen permanente, mediante las ecuaciones de energía unidimensional, y no permanente gradualmente variado, aplicando las ecuaciones de conservación de momento; entre los resultados que el programa ofrece, tenemos los perfiles de flujo (altura y velocidad de lámina de agua) en una gráfica de 2 dimensiones y el grafico de inundación en una vista tridimensional. Además, en el análisis, el usuario, podrá considerar el efecto de transporte de sedimentos y evaluar la calidad de agua.

#### **2.2.19.2.1. Ecuaciones integradas al HEC-RAS**

##### **- Ecuación de Energía**

La ecuación de la energía está fundamentada en la Ley de la conservación de la energía, “La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma” (Lavoisier, s.f.).

Todo sistema hidráulico está compuesto por energía de posición, de presión y velocidad, los cuales pueden ser calculados con un correcto análisis de la ecuación de energía.

### **Ecuación 38**

*Ecuación de Energía.*

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

$Z_i$ : Elevación de la sección del cauce en el punto  $i$

$Y_i$ : Elevación del flujo en la sección del cauce en el punto  $i$

$V_i$ : Velocidad promedio en el punto  $i$

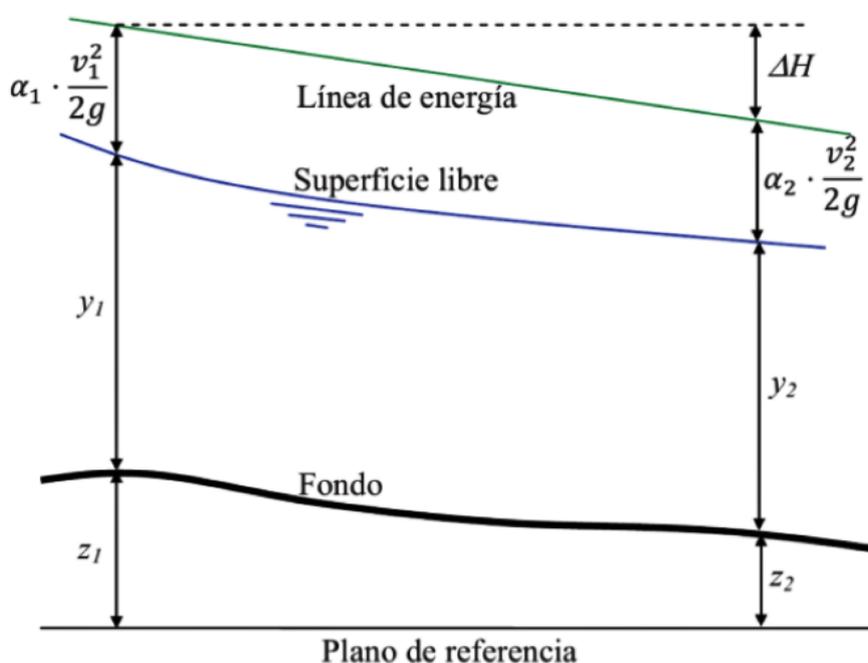
$\alpha_i$ : Coeficiente de velocidad en el punto  $i$

$g$ : Aceleración de la gravedad

$h_e$ : Perdida de energía

### Figura 19

Presentación de la ecuación de energía.



FUENTE: Tomada de *Modelación Numérica en Ríos en Régimen Permanente y Variable*, por Bladé, E., Sánchez, M., Sánchez, H., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009)

#### - Ecuación de Continuidad

Al aplicar la ley de conservación de masas a un fluido en movimiento, tendremos como resultado la ecuación de continuidad, cuya definición se basa en que la cantidad de fluido que entra y sale por las secciones de un conducto siempre será el mismo, solo si, el conducto se mantiene sellado e inalterable, lo que conoce como flujo permanente.

### **Ecuación 39**

*Ecuación de Continuidad.*

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0$$

Donde:

$x$ : Distancia a lo largo del canal

$t$ : Duración

$Q$ : Flujo del canal

$A$ : Área de la sección transversal

$S$ : Almacenamiento de porciones no transportadas

$q_1$ : Flujo de entrada lateral por unidades de distancia

#### **- Ecuación de Momento**

Esta ecuación sostiene que la tasa de cambio en el momento es igual a las fuerzas externas que actúan sobre el sistema

### **Ecuación 40**

*Ecuación de Momento.*

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Donde:

$V$ : Velocidad

$S_f$ : Pendiente de fricción

#### **2.2.19.2.2. Requerimientos para el Modelo Hidráulico en HEC-RAS**

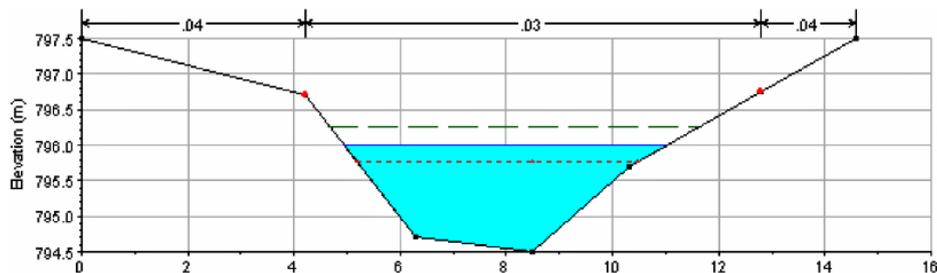
Para el modelo hidráulico, el programa HEC-RAS requerirá adicionalmente a las ecuaciones descritas, la información física siguiente:

### - Secciones Transversales

Se deberá tener el mayor conocimiento posible de la forma y altura de las secciones transversales que serán ingresadas al programa para simular el modelo.

**Figura 20**

*Sección transversal de un cauce de río.*



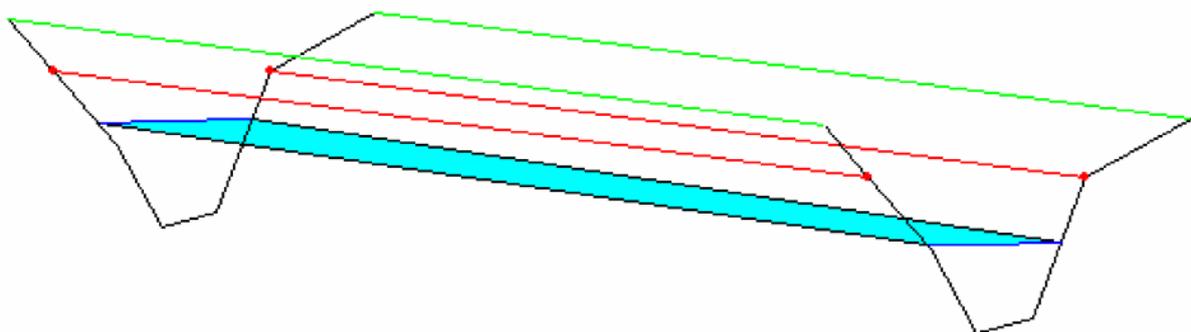
*FUENTE: Tomada de Manual Introductorio a HEC-RAS (p. 9), por Sánchez, F. (2007).*

### - Distancia entre Secciones Transversales

Al igual que se tuvo conocimiento de las secciones, se deberá conocer el recorrido y distancia del tramo de cauce a analizar desde aguas arriba hasta aguas abajo para obtener resultados precisos y con mayor exactitud que reflejen la realidad.

**Figura 21**

*Distancia longitudinal del cauce de un río.*



*FUENTE: Tomada de Manual Introductorio a HEC-RAS (p. 9), por Sánchez, F. (2007).*

### - Número de Manning

El ingeniero irlandés Robert Manning (1889) con el propósito de establecer un valor que permita determinar el grado de resistencia que ofrece un canal dado al paso del flujo, halló

un coeficiente de rugosidad  $n$  que depende de las características de forma y rugosidad del canal, el cual permite calcular el caudal mediante la Ecuación de Manning; el cálculo del valor exacto dependerá mucho de la experiencia del profesional, ya que este podría caer en un tema de iteraciones continuas por la misma falta de conocimiento (Osío, Valencia, Guevara y Cartaya, s.f.).

Un ingeniero sin experiencia puede encontrar incómodo para la estimación general de la rugosidad del canal, de tal manera que se basa en una evaluación subjetiva. Consultando tablas se encuentra desde un mínimo de  $n=0.025$  (río limpio y recto) a un máximo de  $n=0.125$  (río con maleza y serpenteante) (Martín Vide, 2003).

Según (Chow, 1994) nos dice que los cauces naturales con un coeficiente de Manning entre 0,025 y 0,033 tienen un ancho superficial inferior a 30 m, siendo estos en pozos profundos, limpios, rectos, nivelados y libres de fallas.

En el acápite 2.2.14 se presentó el método de Cowan para determinar el valor de rugosidad  $n$ .

#### **Ecuación 41**

*Fórmula de Manning.*

$$I = \frac{n^2 \cdot v^2}{R_h^{4/3}}$$

Donde:

$n$ : Coeficiente de rugosidad

$v$ : Velocidad

$R_h$ : Radio hidráulico

#### **- Caudal de Diseño o Hidrogramas**

Los hidrogramas muestran la variación del caudal con respecto al tiempo en un determinado punto de control de un canal; sin embargo, si se ve de una manera más integral,

los hidrogramas podrían llegar a considerarse como el resultado final de combinar la información fisiográfica del cauce con la información climática del lugar (Chow, 1959).

#### - **Condiciones de Borde**

En este aspecto se deberá evaluar si nos encontramos con la presencia de un flujo subcrítico, crítico o supercrítico, esta se podrá definir mediante el número de Froude, definido como la relación entre la velocidad media  $u$  y la celeridad relativa de la onda dinámica  $c_{rd}$ :

#### **Ecuación 42**

*Número de Froude.*

$$F = \frac{u}{c_{rd}} = \frac{u}{(gd)^{1/2}}$$

Donde:

$F$ : Número de Froude

$u$ : Velocidad media

$c_{rd}$ : Celeridad relativa de la onda dinámica

$d$ : Profundidad de flujo

$g$ : Aceleración de la gravedad

Ponce, V. (1979) nos explica que en los flujos se puede presentar 3 condiciones de borde distintas, el primer caso es una condición subcrítica, representada por un número de Froude menor a 1, en donde las perturbaciones superficiales se presentan aguas arriba y aguas abajo; en el segundo caso tenemos la condición crítica, en donde los valores de Froude son iguales a 1, que se refiere a la estacionariedad presente en las ondas dinámicas secundarias; finalmente, tenemos en el tercer caso con una condición supercrítica, con valor de Froude mayor a 1, en donde las perturbaciones superficiales solo se dan aguas abajo debido a la incapacidad de propagación que tiene las ondas dinámicas secundarias aguas arriba.

### **2.2.19.2.3. Aplicación de la Tecnología SIG en el Modelamiento**

La unión de estas 2 herramientas permite realizar una buena gestión del riesgo de inundaciones, ya que estaríamos implementando en un modelo hidráulico toda la información contenida en los Sistemas de Información Geográfica (Cervantes, 2012), esta fusión de disciplinas permite obtener modelos más precisos en donde se puede analizar el comportamiento real de la red de drenaje ante precipitaciones y obtener puntos críticos donde puede presentarse desbordes.

### **2.2.20. Sistema de Alerta Temprana (SAT)**

#### **2.2.20.1. Definición**

Un SAT es un conjunto de procedimientos articulados a través de los cuales se recolecta y procesa información sobre amenazas previsibles, a fin de alertar a tiempo a la población ante un evento o fenómeno natural que pueda causar desastres, mejora la respuesta a emergencias para minimizar daños e impactos sociales, ayudando así a reducir o mitigar la vulnerabilidad presente en la población (ITDG y Comunidad Europea, 2008).

Los SAT buscan satisfacer una necesidad de seguridad en la población para eso las Naciones Unidas (2004) hace mención que estos sistemas deberán cumplir requisitos de integridad y participación de todos los actores desde una fase inicial, además de contar con la participación de las autoridades, de la comunidad científica y técnica a fin de dar soporte a su implementación y la población en general; para tener un buen SAT los canales de comunicación deben ser claros, precisos, pertinentes y confiables, además de estar incluido dentro del sistema nacional del estado.

La población deberá contar con capacitación básica para su operación y los servicios de profesionales que permitan su implementación, finalmente el SAT no podrá ponerse en funcionamiento sin los recursos necesarios.

### **2.2.20.2. Propósito**

Según CEPREDENAC (2002) podemos definir que un SAT cuenta con los siguientes propósitos:

- Monitorear y dar seguimiento permanente a los fenómenos monitoreados;
- Emitir oportunamente avisos de recomendación de alerta;
- Sugerir medidas de prevención;
- Facilitar la toma de decisiones de los organismos políticos;
- Crear y fortalecer una estructura que permita la inserción de los diferentes sectores, quienes elaboraran planes de acción específicos.

### **2.2.20.3. Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SAT-COM)**

Como el propio nombre lo hace deducir, estamos ante un sistema que busca alertar a la población de una situación de forma anticipada, y como tal, por ser sistema está conformado por un conjunto de procesos debidamente estructurados, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2015) menciona que el SAT-COM se encuentra respaldado por el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), para lo cual ha dotado de mecanismos de gradualidad y subsidiariedad para su funcionamiento, volviendo independiente a la población y autoridades locales respecto a la toma de decisiones propias, ya que su participación de los primeros es voluntaria; por ser comunitario su aplicación es a nivel local y de fácil ejecución, no siendo necesario personal especializado e instrumentación moderna para su puesta en marcha.

### **2.2.20.4. Componentes de Diseño e Implementación del SAT-COM**

#### **2.2.20.4.1. Conocimiento del Riesgo**

Percibir y conocer el riesgo constituye una fuente vital de información, debido que mucho de los peligros, se originan por los fenómenos naturales y estos pueden o son

recurrentes. Esta información, en lo posible, deberá ser complementada con aquella generada por las instituciones técnico-científicas.

Para la determinación del riesgo será necesario conocer el peligro e identificar sus factores de vulnerabilidad. CENEPRED en su glosario de términos nos da una definición de peligro, vulnerabilidad y riesgo, para mejor entendimiento y manejo del tema.

**- Peligro**

Se conoce como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno físico, que puede ser potencialmente dañino, de procedencia natural o inducido por el hombre, el cual se caracteriza por tener cierta intensidad y periodo de retorno y frecuencia definidos.

**- Vulnerabilidad**

Es el nivel de susceptibilidad de las personas, las estructuras o la actividad socioeconómica, a sufrir mayor o menor daño, a causa de un peligro o amenaza.

**- Riesgo**

Es la probabilidad de que las personas y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro.

**Figura 22**

*Niveles de riesgo para la toma de decisiones e implementación del SAT-COM.*

Nivel	Color
Muy Alto	Rojo
Alto	Naranja
Medio	Amarillo
Bajo	Verde

*FUENTE: Tomada de Guía Técnica para la Implementación del SAT-COM (p. 15), por INDECI (2018).*

Los niveles de peligro y vulnerabilidad, nos permiten establecer el nivel de riesgo, lo cual se refleja en acciones a realizar para la reducción del riesgo obtenido a través de la

preparación para la respuesta ante el peligro inminente. En la Figura 2.23 se ejemplifica la evaluación del riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad.

**Figura 23**

*Matriz de cálculo del riesgo.*

Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
P V	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

FUENTE: Tomada de *Guía Técnica para la Implementación del SAT-COM* (p. 15), por INDECI (2018).

#### 2.2.20.4.2. Servicio de Seguimiento y Alerta

Los servicios de vigilancia y alerta incluyen el seguimiento continuo de las amenazas y sus exposiciones, mediante una base científica y técnica, dotado de un sistema de previsión y alerta, que funcione las 24 horas del día y se ejecutará mediante el Módulo de Monitoreo y Análisis de los Centros de Operaciones de Emergencia – COE (Canales y Córdova, 2023)

Los servicios de alerta y seguimiento para diferentes peligros tienen que tomar en cuenta las experiencias comunales, entidades, Técnico científicas e INDECI y de los Gobiernos Regionales y Locales.

Para determinar este componente, se necesitan de vigías que realicen determinadas actividades:

- **Observación Directa**

Se refiere a la visualización directa y continua de la evolución de un fenómeno natural en el tiempo; por ejemplo, en el caso de un río podríamos poner énfasis en la observación del caudal, nivel de agua, ruidos, etc., cuyas variaciones anómalas son indicativos de acciones a realizar.

- **Medición con Instrumentos**

No solo la observación puede ser directa, también podremos valernos de la tecnología, mediante equipos elaborados para tal fin, cuyas mediciones deberán ser registradas; en este caso podríamos poner como ejemplo, el uso de los pluviómetros y limnómetros.

**Figura 24**

*Registro de precipitaciones.*

Hora	Número de Horas	Lectura P1 (mm)	Lectura P2 (mm)	Lectura P3 (mm)	Promedio $X=(P1+P2+P3)/3$	Promedio Acumulado
10:00 a.m.	0	48	55	60	54.33	54.33
11:30 a.m.	0.5	58	62	64	61.33	115.67
12:00 a.m.	1.5					
12:30 a.m.	2					

*FUENTE: Tomada de Guía Técnica para la Implementación del SAT-COM (p. 19), por INDECI (2018).*

- **Determinación de Umbrales**

Con la información de eventos pasados o históricos y de las instituciones técnico-científicas, se deberá determinar los umbrales o niveles máximos en donde podamos definir que nos encontramos ante una situación o evento de magnitud considerable, que puede afectar a la población, recursos y actividades socioeconómicas, a fin de poder emitir la Alerta o Alarma correspondiente, según sea necesario, y poder hacer frente con la respuesta más adecuada y óptima a ejecutar.

**Figura 25**

Umbrales establecidos para cada nivel de Alerta o Alarma.

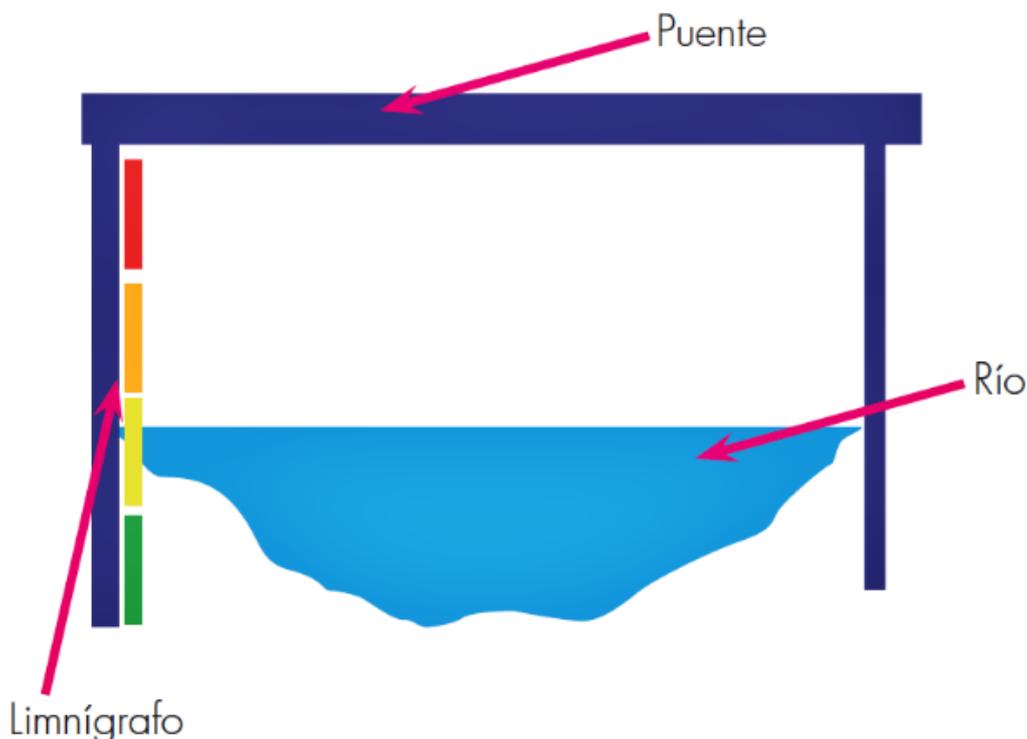
DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN														
RIO	DISTRITOS O CENTROS POBLADOS	PELIGRO IDENTIFICADO	UMBRALES			COLOR DE LA ALERTA/ALARMA				FORMA DE DIFUSIÓN			RESPONSABLE DE LA ALERTA	RESPONSABLE DE LA ALARMA
			AVISO	ALERTA	ALARMA	VERDE	AMARILLA	NARANJA	ROJA	AVISO	ALERTA	ALARMA		
			165 mm	175 mm	185 mm	160	170	175	190					

FUENTE: Tomada de *Guía Técnica para la Implementación del SAT-COM* (p. 20), por INDECI (2018).

Los umbrales serán implementados de tal manera que el fenomeno pueda ser medido por los vigias o equipo tecnologico.

**Figura 26**

Implementación de Limnímetro y niveles o umbrales establecidos.



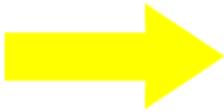
FUENTE: Tomada de *Guía Técnica para la Implementación del SAT-COM* (p. 22), por INDECI (2018).

- **Niveles de Alerta y Umbral**

De acuerdo al umbral podemos establecer ciertas acciones.

**Figura 27**

*Umbrales establecidos para cada nivel de Alerta o Alarma.*

NIVEL DE MANIFESTACIÓN DEL PELIGRO	CONDICIÓN DE ALERTA	ACCIÓN
Situación normal 	Condiciones normales del nivel de río. (Ejemplo: promedio acumulado para el periodo 150 mm).	No se realiza ninguna acción puesto que el nivel de peligro es bajo.
Condiciones aviso 	Condición de alerta, se debe continuar el monitoreo con mayor frecuencia ante una probabilidad de alcanzar el umbral. (Ejemplo: promedio acumulado se encuentra en 160 mm, siendo el umbral 170 mm).	Se debe dar aviso a la población ubicada en zonas de alto y muy alto riesgo para que tomen las precauciones ante una posible evacuación. Los equipos de primera respuesta se preparan.
Condiciones críticas 	Nivel del río alcanza el umbral establecido para generar desborde (Ejemplo: promedio acumulado sobrepasa los 175 mm).	Las autoridades deben implementar acciones para la evacuación. La población ubicada aguas abajo o en zonas de Alto y Muy Alto Riesgo, deberá realizar la evacuación. Se debe poner en práctica el plan de Contingencia.
Impacto o desastre 	Nivel del río sobrepasa por mucho el umbral establecido (ejemplo: promedio acumulado sobrepase los 185 mm en la primera hora o 190 mm en la segunda hora).	La población ubicada aguas abajo ya ha realizado la evacuación. Se ejecuta el Plan de Operaciones de Emergencia.

FUENTE: Tomada de *Guía Técnica para la Implementación del SAT-COM* (p. 21), por INDECI (2018).

**2.2.20.4.3. Difusión y Comunicación**

Estos sistemas tienen como objetivo alertar a la población, con tiempo suficiente a fin de evacuar y adoptar las medidas necesarias para responder satisfactoriamente a una emergencia o desastre.

Se puede emplear los siguientes instrumentos como medios de difusión: Radio local, Campana de iglesia, megáfonos, parlantes, sirena y/o, silbato.

#### 2.2.20.4.4. Capacidad de Respuesta

La capacidad de respuesta resulta producto de la práctica o la implementación de simulacros o simulaciones, que promueven la actuación automática de todos los actores, por ende, una respuesta más rápida, ya que, podrán identificar rutas de evacuación, zonas seguras o puntos de concentración, albergues temporales. Es una buena práctica contar con un Plan Familiar de Emergencia.

##### - Plan de Contingencia

Consiste en establecer procedimientos específicos para prevenir el peligro de un escenario dado.

### Figura 28

*Relación del SAT y los Planes de Contingencia.*

Componente del Plan	Variable	Componente del SAT-COM
1. Escenario definido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Población potencialmente afectada</li> <li>• Viviendas potencialmente afectadas</li> <li>• Elementos vitales expuestos</li> <li>• Infraestructura productiva expuesta</li> </ul>	Conocimiento del riesgo
2. Procedimiento de coordinación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Participación de entidades del estado</li> <li>• Participación de entidades privadas</li> </ul>	
3. Procedimiento de Alerta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protocolo de registro de indicadores</li> <li>• Protocolo de comunicación y alerta</li> </ul>	Seguimiento y monitoreo
4. Procedimiento de movilización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rutas de evacuación</li> <li>• Zonas seguras</li> <li>• Implementación de señaléticas</li> </ul>	
5. Procedimiento de respuesta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EDAN</li> <li>• Bienes de ayuda humanitaria</li> <li>• Rehabilitación</li> </ul>	Capacidad de respuesta.

*FUENTE: Tomada de Guía para la Implementación del SAT-COM (p. 26), por INDECI (2018).*

## - Señalización

Todos los lugares y espacios seguros o de evacuación deberán encontrarse correctamente señalizados para poder ser identificados de inmediato.

### Figura 29

*Zonas de peligro por inundación y zonas de peligro por huayco.*



*FUENTE: Tomada de Guía para la Implementación del SAT-COM (p. 27), por INDECI (2018).*

## - Simulacros

Una correcta actuación de los actores es sinónimo de simulaciones y simulacros ejecutados de manera recurrente, a fin de familiarizarse con la actuación ante una situación de emergencia.



# **CAPÍTULO III**

# **MATERIALES Y**

# **MÉTODOS**

## **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. MATERIALES**

Como materiales de la investigación se utilizó la información característica de la Quebrada Pedregal, proporcionada por las diferentes entidades administradoras y supervisoras de los recursos hídricos de la zona, así como su información hidrometeorológica; además, se manejó diferentes mapas que ilustran las situación y condición del terreno; finalmente el estudio no podría haberse llevado a cabo sin los Modelos Digitales de Elevación de la cuenca proporcionado a través de imágenes satelitales que permitieron su delimitación y obtener todos sus parámetros morfométricos y fisiográficos.

#### **3.1.1. Información Característica de la Cuenca**

##### **3.1.1.1. Hidrografía**

La cuenca Huarmey cuenta con una extensión de 2,245.00 km<sup>2</sup>, esta se encuentra conformada por 9 unidades hidrográficas bien delimitadas, dentro de las cuales, está incluida la cuenca de la Quebrada Pedregal, con un área de 312.40 km<sup>2</sup>, próxima al distrito de Huarmey, cuyos límites se encuentran comprendido entre las cotas 115 y 3,447 m.s.n.m.

Durante el año, el comportamiento de la cuenca Huarmey es muy variada, el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRENA, 2007) refiere en su inventario de fuentes de agua superficial, que la cuenca se abastece de las precipitaciones que ocurren en su parte alta; durante las épocas de avenida, las más altas concentraciones de caudal tienen una duración de 4 meses, empezando en enero y no terminando hasta el mes de abril, además nos dice que durante este tiempo, el río podría llegar a descargar hasta el 90% del flujo total captado; por otra parte, la cuenca sufre de una fuerte época de estiaje, ya que la estación hidrométrica Puente Carretera ha llegado a registrar que este periodo cubre los meses de junio, julio, agosto, setiembre, octubre y hasta noviembre, en donde el caudal desciende hasta alcanzar un punto en donde el cauce queda totalmente seco, condición representada por el 44% del tiempo, situación que

alerta a los pobladores de la zona, ya que dificulta el normal desarrollo de su principal medio de vida, la agricultura, al no contar con la dotación de agua suficiente. En el estudio INRENA (2007) ha llegado a determinar que el cauce natural de la cuenca Huarmey presenta un régimen irregular de descargas, de carácter torrencioso y sus parámetros extremos son bien marcados, muy parecido a la mayoría de los ríos que se ubican en la costa del Perú (p. 12-14).

### **3.1.1.2. Climatología**

En la zona costera o baja de la cuenca Huarmey, podemos percibir un clima que se encuentra dentro de un rango cálido y muy seco, bordeando los 18°C; en las zonas altas este clima se vuelve perhúmedo-frío (alta presencia de humedad y precipitaciones) alcanzando niveles inferiores a los 3°C; ya dirigiéndonos a la zona centro o media, podemos encontrar climas semicálido, templado-subhúmedo y frío templado, producto del contraste de los 2 climas extremos (INRENA, 2007, p. 20).

### **3.1.1.3. Precipitación**

Las estaciones de la zona informan que la cuenca recibe precipitaciones anuales que van desde un valor mínimo de 3.29 mm hasta un valor máximo de 953.77 mm.

Las estaciones consideradas en el análisis pluviométrico se caracterizan por estar ubicadas dentro de los límites de la cuenca Huarmey a excepción de la estación Punta Culebras y Quian, en razón que, dentro de nuestra área de estudio, como es la cuenca de la Quebrada Pedregal, no contamos con estaciones de ningún tipo, las estaciones restantes que fueron seleccionadas son: San Diego y Huayan.

#### ***3.1.1.3.1. Precipitación por Zonas***

La Tabla 12 ilustra cómo se distribuye las precipitaciones en las diferentes unidades hidrográficas (UH) de la cuenca Huarmey, en donde se aprecia que la UH Alto Huarmey registra la precipitación máxima con un valor de 617.70 mm y en el extremo contrario tenemos varias UH que coinciden en la precipitación, las cuales son Bajo Huarmey, Medio Huarmey y Quebrada Gargar, con un valor mínimo de 25.00 mm.

**Tabla 12**

*Precipitación por unidades hidrográficas.*

Unidad Hidrográfica (N6/N7)	Precipitación (mm)	Unidad Hidrográfica (N6/N7)	Precipitación (mm)
Bajo Huarmey	25.00	Rio Malvas	442.40
Quebrada Pedregal	35.60	Medio Alto Huarmey	269.00
Medio Bajo Huarmey	25.00	Rio Allma	590.10
Quebrada Gargar	25.00	Alto Huarmey	617.70
Medio Huarmey	43.50	<b>Cuenca (N6)</b>	270.50

*FUENTE:* Tomada de *Evaluación de los Recursos Hídricos en las cuencas de los ríos Casma, Culebras y Huarmey. (2007). INRENA.*

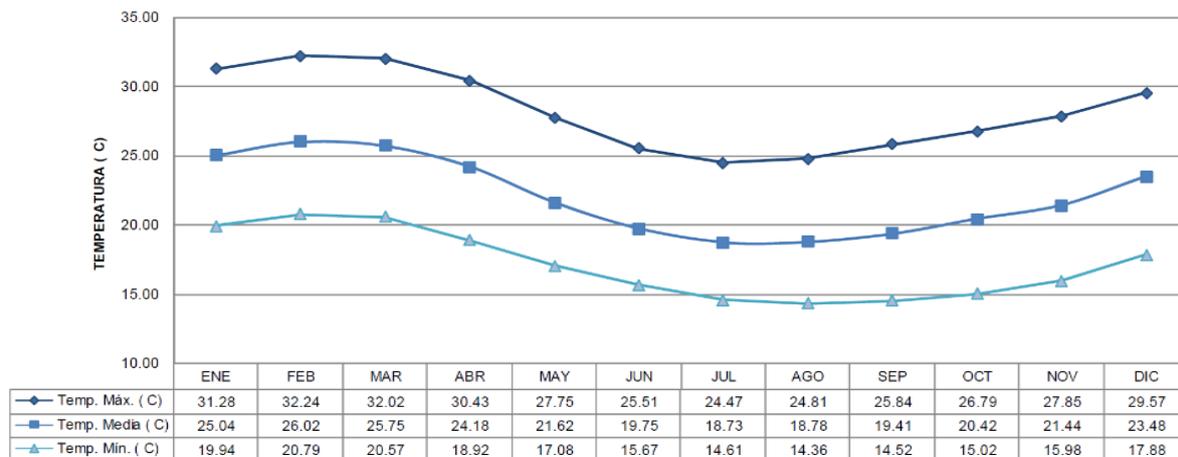
#### **3.1.1.4. Temperatura**

La temperatura en la cuenca Huarmey es inversamente proporcional a su altitud, lo que se conoce como gradiente inverso, es decir que en las zonas más altas tendremos una sensación de frío y en las zonas más bajas de calor, manteniéndose esta condición casi inalterable salvo por la presencia del Fenómeno del Niño, generando el aumento considerable de la temperatura en la zona costera.

La Tabla 13 muestra la variación de la temperatura mes a mes; de estos datos podemos destacar que la media anual es de 22.05°C aproximadamente, pudiendo alcanzar valores de 32.24°C en verano y 14.36°C en invierno.

**Tabla 13**

*Distribución de temperatura en la parte baja de la cuenca.*

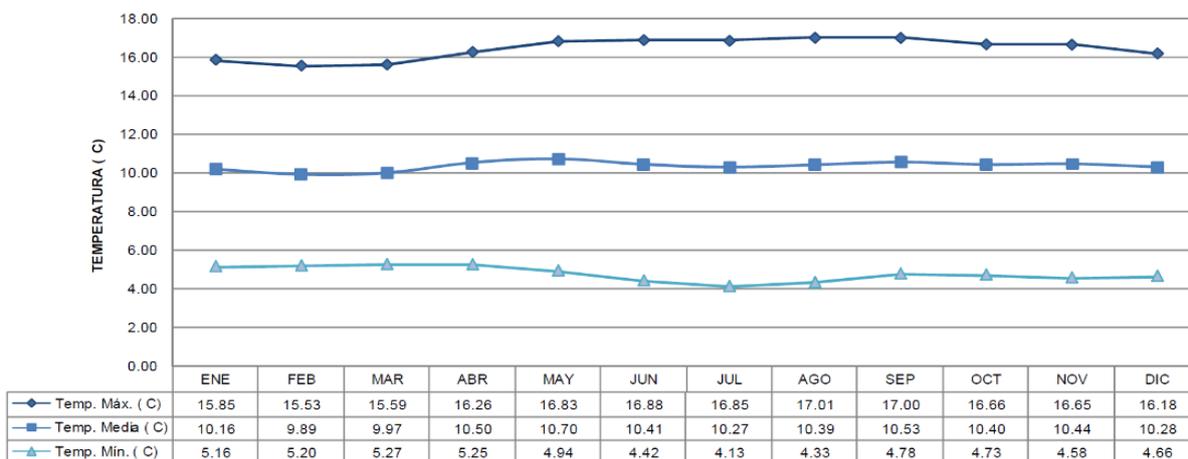


*FUENTE: Tomada de Evaluación de los Recursos Hídricos en las cuencas de los ríos Casma, Culebras y Huarney. (2007). INRENA.*

Por otro lado, en el Cuadro 3.4 se muestra las temperaturas de la parte media y alta de la cuenca, en donde se aprecia que la media anual es de 10.33°C aproximadamente, con valores máximos que alcanzan los 17.01°C en verano y mínimos de 4.13°C en invierno.

**Tabla 14**

*Distribución de temperatura en la parte media y alta de la cuenca.*



*FUENTE: Tomada de Evaluación de los Recursos Hídricos en las cuencas de los ríos Casma, Culebras y Huarney. (2007). INRENA.*

### 3.1.1.5. Límites

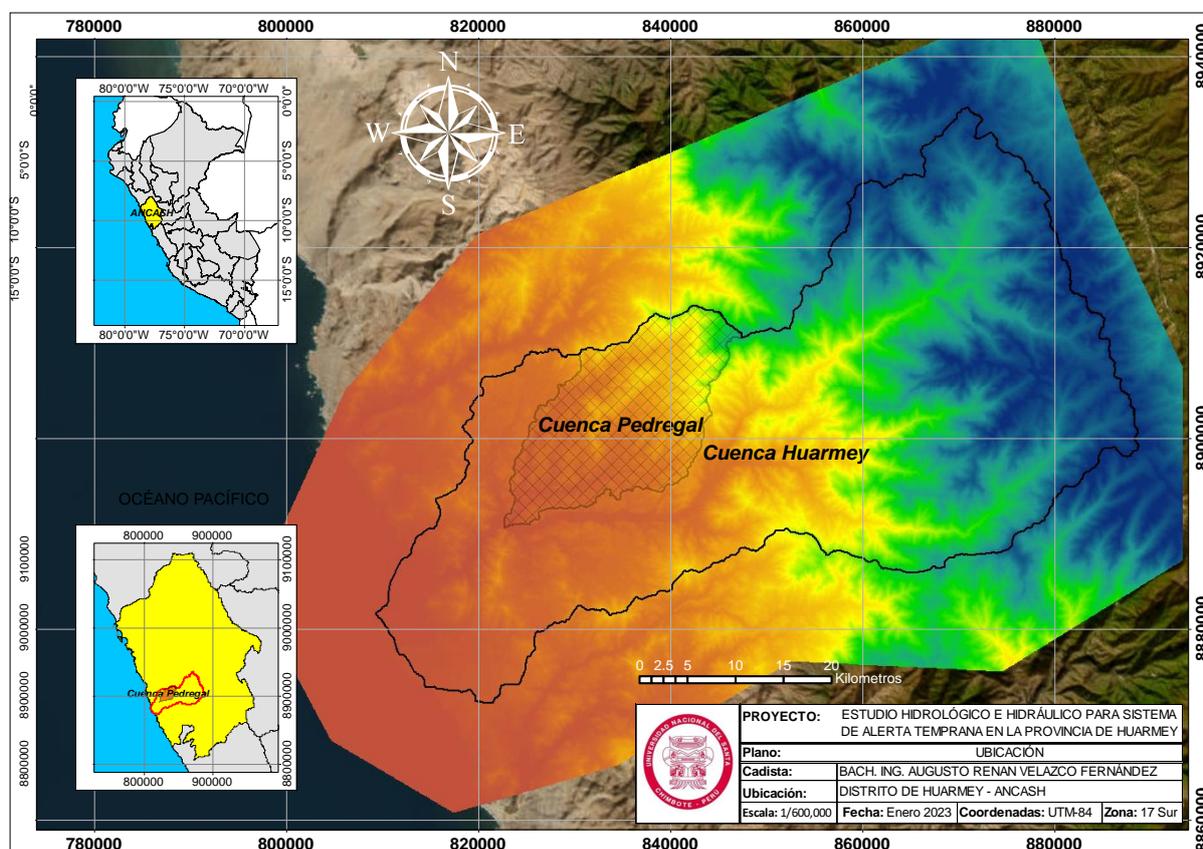
La quebrada Pedregal se encuentra limitada por el norte: Cuenca Culebras; sur: Cuenca Gargar y Medio Huarmey; este: Medio y Alto Huarmey y oeste: Bajo Huarmey.

### 3.1.2. Modelo Digital de Elevación para Delimitar la Cuenca

La delimitación de la Cuenca Pedregal se realizó con la ayuda de un modelo digital de elevación (MDE) de alta resolución, proporcionado por el satélite ALOS PALSAR, de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial, con tamaño de celda de 12.5 x 12.5m, que permite una mejor visualización de la superficie terrestre y brinda datos físicos más exactos. En la parte derecha en colores azules de diferentes tonalidades se representa las zonas montañosas o más altas de la sierra y hacia el lado izquierdo color naranja el terreno más llano y con menor elevación. La zona en cuadrícula delimitada corresponde a la Quebrada Pedregal.

**Figura 30**

*Modelo de Elevación Digital para delimitación de la Cuenca Pedregal, elaborado en ArcMap 10.8.2.*



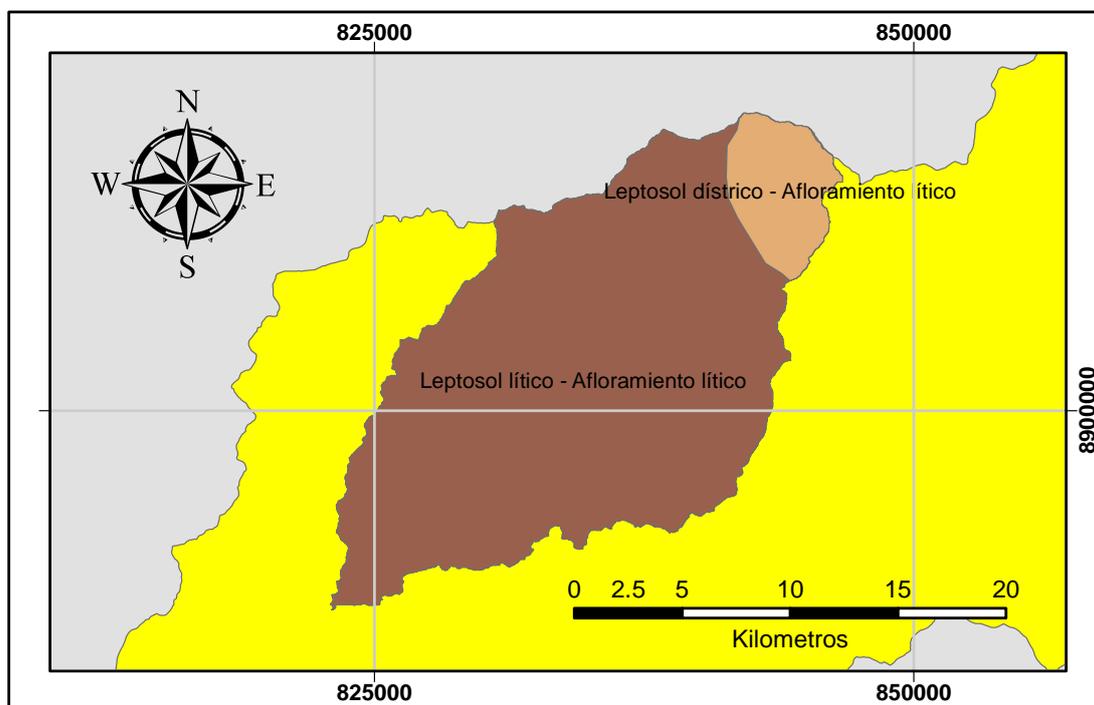
### 3.1.3. Información de Suelos y Cobertura Vegetal

#### 3.1.3.1. Información de Suelos

Esta información fue obtenida del mapa temático de suelos desarrollado por el SIGMINAM del Ministerio del Ambiente (2010), el cual nos brindó la información necesaria de las características de los tipos de suelo que conforman nuestra cuenca y en específico, de las subcuencas que fueron generadas adrede para una mejor descripción del terreno, apreciando que el 91 % de área de nuestra cuenca está conformado por Leptosol Lítico - Afloramiento Lítico y el área faltante que corresponde al 9 % en la zona más alta, está conformado por Leptosol Dístico - Afloramiento Lítico, dichos datos nos permiten clasificar nuestro suelo según un grupo hidrológico previsto, en nuestro caso obtuvimos un tipo B, dicha distribución podemos visualizar en la Figura 3.17.

**Figura 31**

*Mapa de Suelos formulado por el Ministerio del Ambiente, elaborado en ArcMap 10.8.2.*



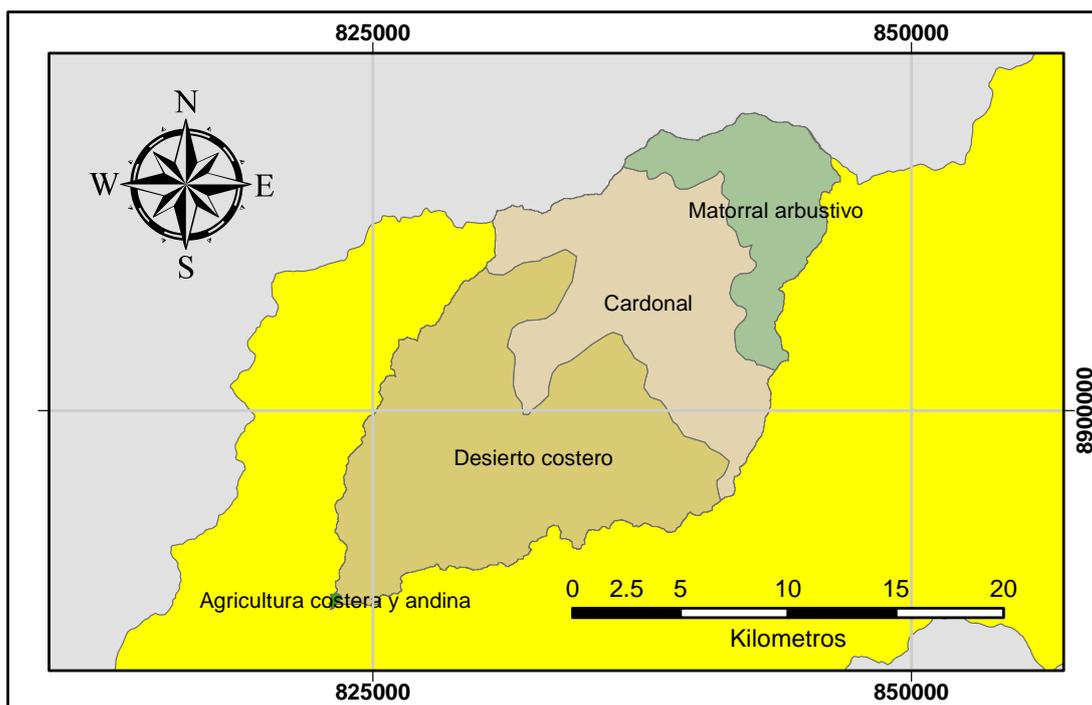
#### 3.1.3.2. Cobertura Vegetal

Este mapa de la misma manera fue elaborado por los profesionales del Ministerio del Ambiente (2013), el cual contiene toda la información sobre la distribución espacial de la

cobertura vegetal en nuestra cuenca, donde nos indica que nuestro espacio de trabajo, está conformado por 4 áreas parciales, cuyas áreas se distribuyen de la siguiente manera: el área con mayor tamaño son desiertos costeros, representando el 51.8% de la cuenca, un valor mayor a la mitad, seguido tenemos zonas de cardonales, con un área 32.9% de la cuenca, en tercer lugar, se tiene matorral arbustivo, ocupando el 15.2% del área total y finalmente en cuarto lugar, en una cantidad muy pequeña, en la zona más baja, agricultura costera y andina, en un tamaño del 0.1%; toda esta información nos proporciona un valor de curva número según el tipo de cobertura vegetal e información de suelo. Esta información a detalle se puede visualizar en la Figura 3.18.

**Figura 32**

*Mapa de Cobertura Vegetal formulado por el MINAM, elaborado en ArcMap 10.8.2.*



**3.1.4. Sistema de Estaciones Pluviométricas**

De acuerdo a la información obtenida de las estaciones pluviométricas que administra el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y la Autoridad Nacional del Agua, se cuenta con un total de 30 estaciones (Anexo 2) distribuidas en todo el departamento de Ancash; en su mayoría ubicadas en la zona media hacia la zona alta de la región norandina

peruana debido a las intensas precipitaciones que se producen en esta zona; pese a la cantidad de equipos de medición, se encontró que las estaciones más próximas a nuestra zona de estudio son pocas, y presentaban diferentes problemas que redujeron la capacidad de obtención de datos; entre ellos, tenemos que las estaciones por diferentes motivos, sean a la naturaleza agreste que existe en el área, falta de mantenimiento o inadecuada operatividad de los equipos, entre otros, se encuentran inoperativas contando con poco registro; en otros casos, contamos con estaciones nuevas, pero con poca información histórica y finalmente, las estaciones que podrían ser útiles, se encuentran en menor número cerca a nuestra cuenca, lo que dio como resultado, contar con poca información de precipitaciones máximas de 24 horas anuales, teniendo el déficit de que algunas se encuentran incompletas, pese a que en la Tabla 15 donde se presentan las estaciones seleccionadas para el análisis de nuestra cuenca, nos indica que la información disponible es adecuada o extensa, a excepción de la Estación San Diego.

**Tabla 15**

*Información de Estaciones Pluviométricas.*

Nº	Estación	Cuenca	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Información disponible
1	Huayan	Huarmey	9°52'60" S	77°43'0" O	2706	1964 - 1972
2	Punta Culebras	Intercuenca 1375951	9° 59' 51.77" S	78° 10' 54.4" O	20	1966 - 1996
3	Quian	Culebras	9° 46' 0" S	77° 57' 0" O	876	1965 - 1996
4	San Diego	Huarmey	10° 5' 60" S	78° 5' 60" O	80	- - -

*FUENTE:* Adaptado de los datos del SENAMHI y SNIRH.

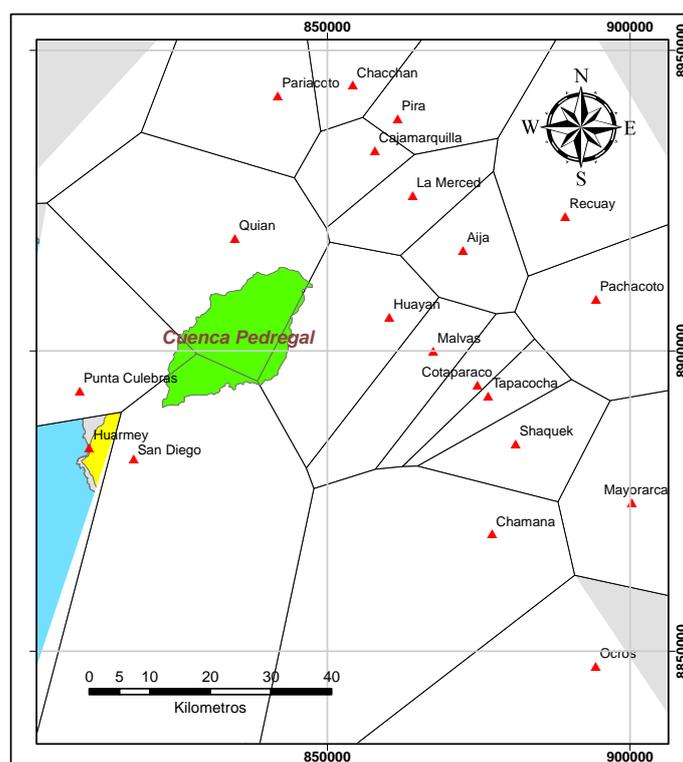
<https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/mapadepesta1.php?dp=ancash>

Como se expuso, del análisis de todas las estaciones indicadas, y teniendo en cuenta que la información de precipitaciones debe mostrar representatividad, calidad, extensión y consistencia en los datos, mediante el polígono de Thiessen se filtró las estaciones que se encuentran en la periferia de nuestra área de trabajo, de tal manera que nos permitió visualizar y obtener espacialmente, la influencia que tiene cada una de ellas y cuales podrán ser tomadas

en cuenta por la utilidad que representan a nuestra cuenca para las posteriores evaluaciones, obteniendo la representación de nuestras estaciones en la Figura 3.20.

### Figura 33

*Polígono de Thiessen de las Estaciones del Departamento de Ancash, elaborado en ArcMap 10.8.2.*



Pese a que nuestro departamento cuenta con un buen número de estaciones distribuidas en todo su espacio geográfico, en la zona donde se encuentra nuestra cuenca, existen un número reducido; más aún, nuestro Polígono de Thiessen nos indica que solo 4 estaciones influyen en nuestra cuenca y podrán ser de utilidad, los cuales son: Estación Huayan, Estación Punta Culebras, Estación Quian y Estación San Diego, cuyas áreas de influencia dentro de nuestra cuenca son: 22.72 km<sup>2</sup>, 12 km<sup>2</sup>, 213.35 km<sup>2</sup> y 64.37 km<sup>2</sup> respectivamente.

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, toda vez que realiza la medición del fenómeno o evento estudiado, en este caso la precipitación - escorrentía sobre la Quebrada

pedregal, acota intencionalmente la información que esta pueda proporcionarnos para luego ser procesada.

### **3.2.2. Alcance de la Investigación**

Es de naturaleza descriptiva, debido a que realizo la descripción del proceso mediante el cual la precipitación se convierte en escorrentía, así como sus características y propiedades, a través de la información administrada por las autoridades competentes, lo cual contribuyo al modelo hidrológico e hidráulico, a formular una mejor representación de la realidad, proporcionando como resultado los diferentes escenarios que pudieran presentarse en el tiempo, y las consecuencias devastadoras que traerían consigo.

Asimismo, se describió la realidad geomorfológica e hidrológica del área perteneciente a la Quebrada Pedregal de la Cuenca Huarmey, así como a sus alrededores, con la finalidad de evaluar en qué manera el comportamiento inusual de la cuenca podría afectar a estas zonas externas donde yace terrenos agrícolas y a una mayor distancia, poblaciones, y así poder realizar predicciones del comportamiento a futuro que permitan tomar decisiones adecuadas con relación al Sistemas de Alerta Temprana a implementar, lo cual será de gran beneficio para estas localidades de la provincia de Huarmey, quienes podrán implementarla por intermedio de la gestión con sus autoridades.

### **3.2.3. Nivel de Análisis**

Es del tipo aplicada, ya que, su formulación consistió en obtener, tanto el modelo hidrológico, como el hidráulico de la cuenca, de tal manera que nos permita realizar la simulación del proceso natural del fenómeno observado, en el cual la precipitación cae sobre la superficie de la cuenca, esta se convierte en escorrentía y finalmente en caudal; y así poder plantear un Sistema de Alerta Temprana que ayude a prevenir y/o mitigar las consecuencias de los desbordes e inundaciones.

#### **3.2.4. Unidad de Análisis**

Está se encuentra conformada por el área de la Subcuenca Pedregal de la Cuenca Huarmey, en dónde se realizó el modelo hidrológico e hidráulico con fines de implementación de un Sistema de Alerta Temprana frente a desbordes e inundaciones, que afectan a las localidades del Distrito de Huarmey, Provincia de Huarmey, Departamento de Ancash.

#### **3.2.5. Población y Muestra**

##### **3.2.5.1. Población**

Esta se encuentra conformada por el área que encierra la Quebrada Pedregal cuya ubicación la coloca entre una de las subcuencas de la Cuenca Huarmey, con mayor proximidad a la población y zonas agropecuarias de la provincia Huarmey, las cuales son afectadas constantemente por precipitaciones, cuando la capacidad hidráulica de la red fluvial se ve superada. Se realizó una evaluación in situ del emplazamiento natural del cauce principal de la quebrada, recogiendo toda la información necesaria, hasta el punto donde vierte sus aguas en el río Huarmey.

##### **3.2.5.2. Muestra**

Será del tipo no probabilístico e intencional, toda vez que, para la selección de la muestra a trabajar, se tomó como criterios, la cercanía del área de trabajo a los centros poblados, su extensión dentro de la cuenca, tamaño de las redes fluviales y las zonas inundables que afecten a las poblaciones cercanas de la provincia de Huarmey.

#### **3.2.6. Variables**

##### **3.2.6.1. Definición Conceptual**

##### **3.2.6.1.1. Variable Independiente**

El Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, Ancash - 2021.

### ***3.2.6.1.2. Variable Dependiente***

Sistema de Alerta Temprana en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarmey, provincia Huarmey, Ancash - 2021.

### **3.2.6.2. Definición Operacional**

#### ***3.2.6.2.1. Variable Independiente***

El Modelamiento Hidrológico se realizará con HEC-HMS con el cual se obtendrá el caudal máximo en la Quebrada Pedregal en un periodo de retorno determinado. Seguido con HEC-RAS se obtendrá el modelo hidráulico en donde se simulará el comportamiento de la quebrada a diferentes escenarios con caudales máximo extraordinario a un periodo de retorno dado en la Quebrada Pedregal.

#### ***3.2.6.2.2. Variable dependiente***

Un Sistema de Alerta Temprana tiene por objetivo evitar que las amenazas se conviertan en desastre, sobre todo en pérdida de vidas humanas; evitar que los pobladores de Tayca se vean amenazados a causa de los desbordes e inundaciones de la Quebrada Pedregal y actuar con tiempo suficiente con el propósito de poner a salvo a todos los involucrados.

### **3.2.6.3. Dimensión**

#### ***3.2.6.3.1. Variable Independiente***

- Análisis de precipitaciones en la cuenca
- Modelamiento Hidrológico
- Modelamiento Hidráulico

#### ***3.2.6.3.2. Variable dependiente***

- Sistemas automatizados
- Sistemas comunitarios

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

#### **3.2.7.1. Técnicas de Recolección de Datos**

Se recolecto toda la información hidrometeorológica necesaria de las entidades supervisoras y administradoras de los recursos hídricos, como son : Autoridad Nacional del Agua (ANA), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Sistema Nacional de Información Hídrica (SNIRH), Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), las cuales sirven de base y dan sustento el desarrollo de este trabajo; finalmente, la información no podría estar completa sin contar con las imágenes satelitales del terreno proporcionada por el satélite Alos Palsar.

#### **3.2.7.2. Instrumentos**

En este aspecto, se tomó en cuenta los siguientes instrumentos:

- Los formatos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (ANEXO 5, 6, 7 Y 8) cuyo contenido guarda el registro de precipitaciones de las estaciones meteorológicas próximas a la Quebrada Pedregal, tomadas 2 veces al día (07:00 y 19:00) para diferentes años.
- El Modelo Hidrológico de la Quebrada Pedregal donde fue aplicada la información de precipitaciones, el cual se obtuvo mediante el procesamiento de los Modelos Digitales de Elevación y los parámetros morfométricos.
- El Modelo Hidráulico de la Quebrada Pedregal donde se aplicó los caudales máximos calculados en el modelo hidrológico, el cual se obtuvo mediante el procesamiento de las imágenes satelitales y datos recogidos de campo.
- El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, el cual rige en el territorio peruano y brinda las consideraciones mínimas a seguir durante el diseño hidrológico e hidráulico

### ***3.2.8. Procedimiento y Técnicas de Análisis de Datos***

Con la información disponible de las entidades administradoras de los recursos hídricos, así como de las observadas en campo y las satelitales; se pudo estructurar todo el proceso secuencial que conlleva a la formulación del modelamiento de la cuenca, organizando todo el procedimiento en 5 etapas: Procesamiento geoespacial de la cuenca, Información Hidrometeorológica, Modelamiento hidrológico, Modelamiento hidráulico e Implementación del Sistema de Alerta Temprana.

La primera etapa consistió en recopilar la información in situ de la zona donde se ubica la Quebrada Pedregal, registrando las dimensiones del cauce principal, tales como ancho y profundidad por tramos, también se identificó rugosidades en todo su emplazamiento, en base a los parámetros establecidos en el Método de Cowan, se observó la obertura vegetal y tipo de suelo actual que fueron contrastados con la información que proporciona el MINAM, para la formulación del método de número de curva adoptado para esta investigación, así también fue de gran utilidad las imágenes de los Modelos Digital de Elevación, que permitieron realizar una mejor definición de las características físicas, las cuales fueron procesadas en los programas ArcGIS 10.4.1, ArcGIS 10.8 y ArcGIS PRO 3.0.2.

En la segunda etapa, se abarcó a la recopilación de la información histórica disponible de precipitaciones máximas de 24 horas, esta información fue obtenida de las fuentes web de las diferentes entidades administradoras de los recursos hídricos, la cual se registra en las estaciones ubicadas en el área interior o lo más cercana posible a nuestra cuenca; asimismo se trabajó con la información disponible del observatorio climatológico e hidrológico del SENAMHI, la cual se le conoce como PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), que proporciona un registro de precipitaciones, en una cantidad aceptable para poder realizar el análisis en base a las distribuciones de probabilidades teóricas, previa prueba de datos dudosos para descartar

cualquier información que no siga la tendencia de la muestra, y se concluyó obteniendo la lluvia de diseño para distintos tiempos de retorno.

Siguiendo en la tercera etapa, se delimito el área correspondiente a la Cuenca Pedregal con ayuda del Modelo Digital de Elevación, así como, subdividirla en una serie de subcuencas, con la finalidad de poder caracterizar de mejor manera el terreno; estructurado el modelo hidrológico en el programa HEC-HMS 4.10, pudimos obtener nuestros hidrogramas de avenida para diferentes periodos de retorno, por intermedio de los hietogramas de precipitación calculados.

Esta cuarta etapa, recibe la información de las tres etapas anteriormente explicadas, con el propósito de poder ser implementadas en el programa HEC-RAS 6.4.1, con la finalidad de poder definir el cauce principal y las diferentes rugosidades que presenta el recorrido del flujo en la Cuenca Pedregal en el tramo que desemboca al Rio Huarmey.

Finalmente, la cuarta etapa consiste en la implementación del Sistema de Alerta Temprana SAT-COM frente a inundaciones en la Cuenca Pedregal con la finalidad de proveer las acciones necesarias a la población para una actuación rápida e inmediata frente a desastres.

### ***3.2.9. Aspectos Éticos***

El desarrollo de la presente investigación se realizó cumpliendo las regulaciones establecidas en el Código de Ética de la Universidad Nacional el Santa, velando en el rigor, honestidad y responsabilidad de su contenido, lo cual redundara en una solución adecuada a los problemas de desbordes que viene aquejando a la comunidad de Tayca.



# **CAPÍTULO IV**

# **RESULTADOS Y**

# **DISCUSIÓN**

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

#### 4.1.1. *Procesamiento Geoespacial de la Cuenca*

En esta etapa, nos centraremos en conocer todos los parámetros fisiográficos de la Cuenca Pedregal, con ayuda de la información obtenida en campo, así como de los Modelos Digital de Elevación proporcionado por los satélites, que servirán de base para la implementación de nuestro modelo hidrológico en el programa HEC-HMS.

##### 4.1.1.1. Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Provincia de Huarney del Departamento de Ancash, específicamente en el Distrito del mismo nombre, debido a las constantes inundaciones o desbordes del río principal (Río Huarney) que afectan a su población, el cual es alimentado por las 9 unidades hidrográficas que la conforman, como se muestra en la Tabla 16, de las cuales podemos apreciar que la Cuenca Huarney ocupa un nivel superior a nuestra cuenca de estudio, a la cual se le asignó un nivel 7 siguiendo la metodología Pfafstetter adoptada por el Perú para promover el ordenamiento territorial e introducir mejoras en su gestión (ANA, 2012).

**Tabla 16**

*Unidades hidrográficas principales.*

Unidad Hidrográfica (N6)	Unidad Hidrográfica (N7)	Código	Superficie (km <sup>2</sup> )	%
Huarney	Bajo Huarney	1375941	320.30	14.27
	Quebrada Pedregal	1375942	312.40	13.92
	Medio Bajo Huarney	1375943	2.80	0.12
	Quebrada Gargar	1375944	129.50	5.77
	Medio Huarney	1375945	162.30	7.23
	Río Malvas	1375946	604.00	26.90
	Medio Alto Huarney	1375947	364.30	16.23
	Río Allma	1375948	120.40	5.36
	Alto Huarney	1375949	229.00	10.20
Total			2245.00	100.00

*FUENTE: Tomada de Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los ríos Casma, Culebras y Huarney. (2007). INRENA.*

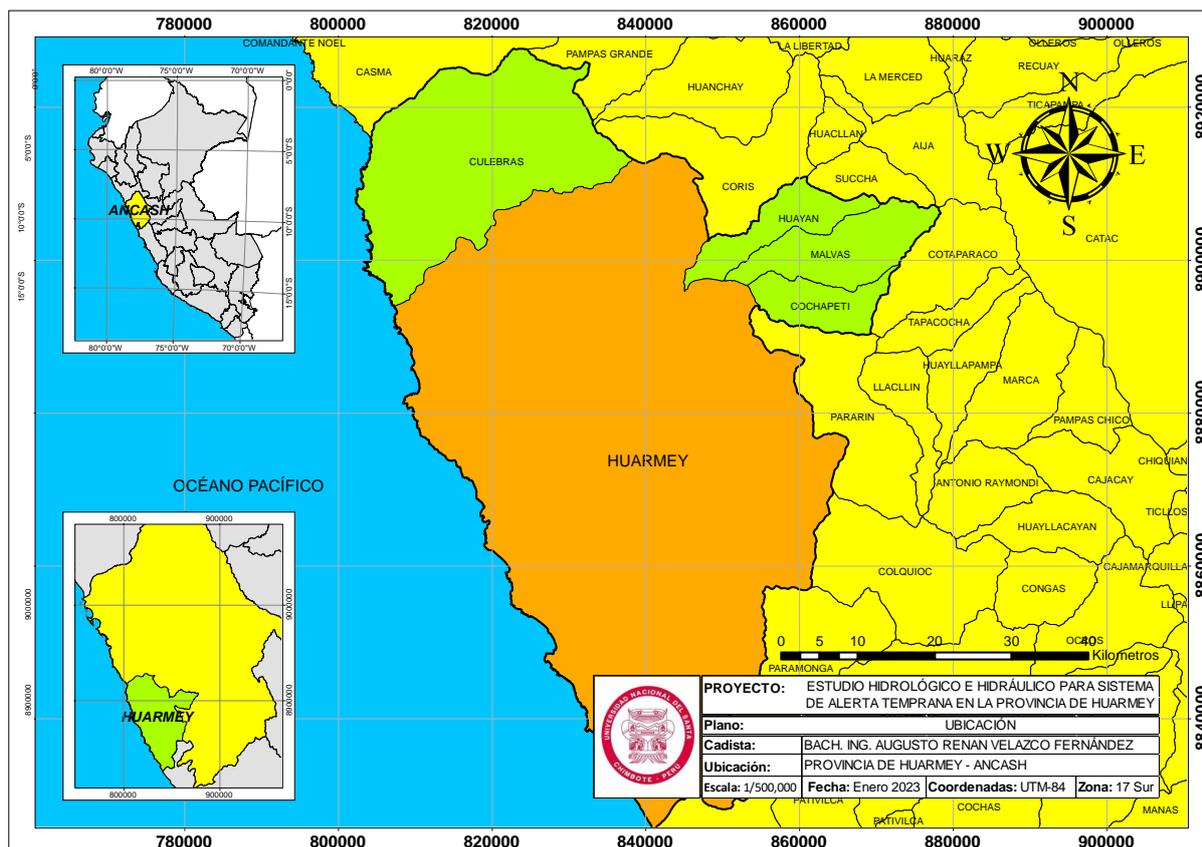
#### 4.1.1.2. Quebrada Pedregal

##### 4.1.1.2.1. Ubicación Política y Geográfica

El distrito de Huarney (zona costa) se encuentra ubicado en la costa central del Perú, en la zona 17L, coordenadas: 811275.77 m E y 8885652.20 m S, cuenta con una extensión geográfica de 2899.76 km<sup>2</sup>, equivalente al 0.23% de todo el territorio nacional; asimismo, en la provincia que se encuentra ubicada, cuenta con otros distritos, como son: Culebras y Huarney en la zona costa; Huayán, Malvas y Cochapeti en la zona sierra, como se ilustra en la Figura 34.

**Figura 34**

*Mapa de ubicación política del Distrito de Huarney, elaborado en ArcMap 10.8.2.*

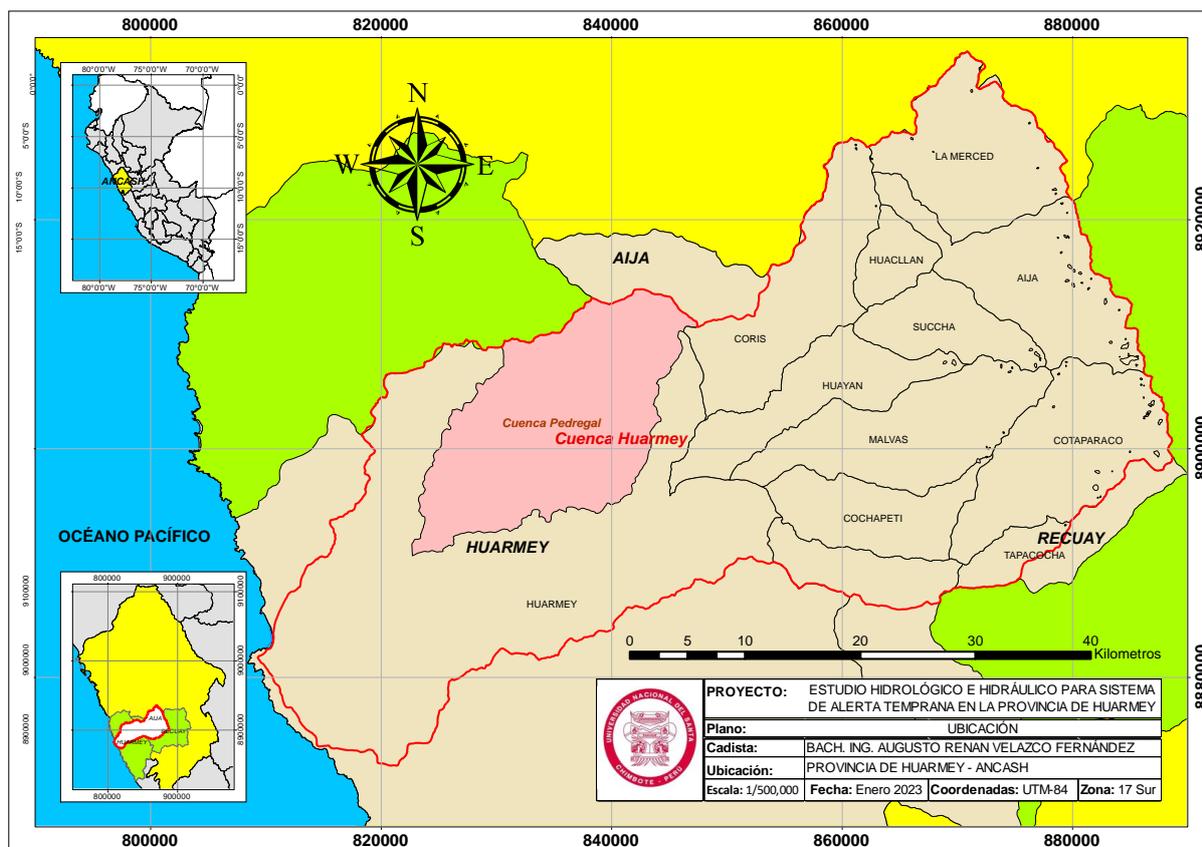


La Cuenca Huarney se encuentra circunscrita dentro de las provincias de Huarney, Aija y Recuay, todos pertenecientes al Departamento de Ancash, de las cuales, la provincia de Huarney es la que cuenta con mayor extensión dentro de la cuenca, como se aprecia en el mapa de ubicación política y geográfica de la Quebrada Pedregal en la Figura 3.2, donde se visualiza

la conformación de la cuenca dentro de los territorios mencionados; asimismo, del mapa sabemos que la quebrada en estudio, se encuentra dentro y únicamente en el distrito de Huarমেয়, concluyendo que la población afectada por las crecidas en el cauce principal serían las poblaciones que se asientan en esta zona.

**Figura 35**

*Mapa de ubicación política y geográfica de la Quebrada Pedregal, elaborado en ArcMap 10.8.2.*



**4.1.1.3. Procesamiento Geoespacial de la Cuenca con HEC-HMS**

Con la aplicación del programa HEC-HMS 4.10 logamos simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas, como es el caso de nuestra cuenca de estudio; el software incluye diferentes procesos, entre ellos: infiltración de eventos, hidrogramas unitarios, enrutamiento hidrológico, etc. (US Army Corps of Engineers, 2023)

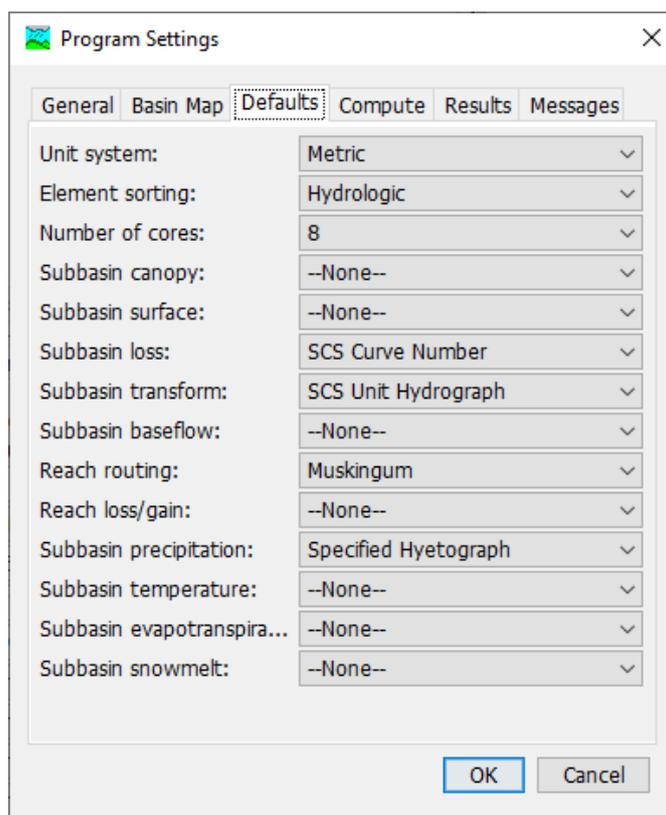
Asimismo, nos facilitara el trabajo de obtener los parámetros fisiográficos de la cuenca, que son necesarios para los cálculos de los diferentes parámetros que exige el programa.

#### 4.1.1.3.1. Configuración del Proyecto

Antes de poder realizar cualquier acción dentro del programa HEC-HMS, debemos definir los métodos que se emplearán más adelante, para el cálculo de los diferentes parámetros que se requieran para el modelo; si bien es cierto, la configuración inicial no repercute en la obtención de las características morfométricas, es una buena práctica definir inicialmente los métodos a emplear, para realizar un trabajo ordenado y sistematizado.

### Figura 36

Configuración del Programa HEC-HMS.



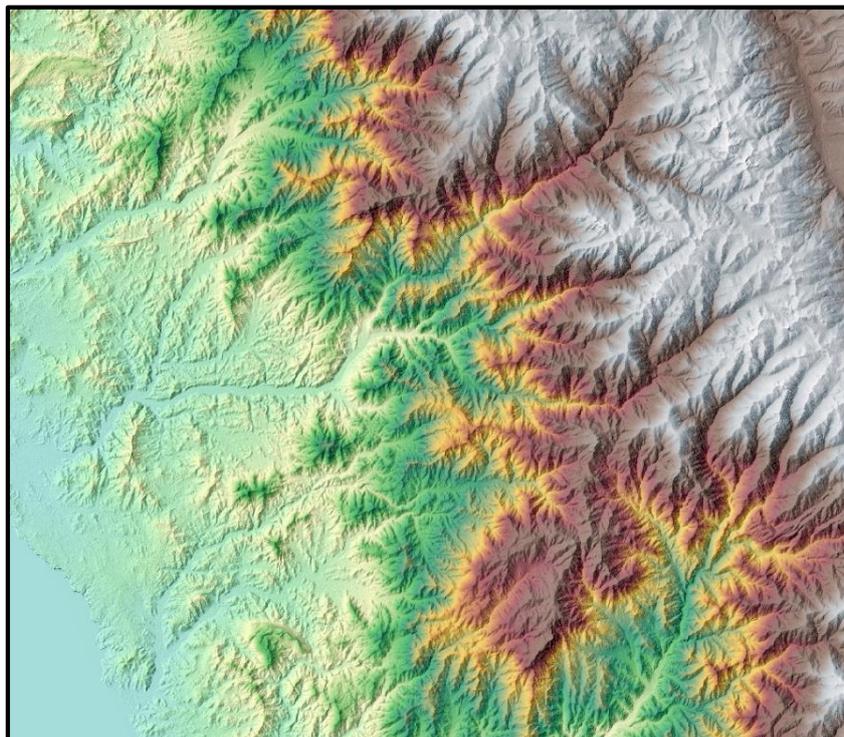
#### 4.1.1.3.2. Modelo de la Cuenca

Para poder modelar toda la extensión geográfica de la cuenca, usamos la opción *Basin Model* de la lista de componentes del programa, el cual se complementa con la opción *Terrain Data*, incluida en las últimas versiones del programa, cuya función es incorporar las imágenes

satelitales (ráster) que contienen los valores de altura de la superficie de la cuenca, con esto obtenemos el terreno donde se ubica la Quebrada Pedregal.

### Figura 37

*Modelo de Elevación Digital de la Cuenca Pedregal, elaborado en HEC-HMS 4.10.*



#### 4.1.1.3.3. Georreferenciación

La implementación del *Terrain Data* es factible gracias a la incorporación de un procesador GIS (Sistema de Información Geográfica) el cual permite el ingreso del Modelo Digital de Elevación (MDE) al programa; asimismo, si el MDE contiene su ubicación geográfica, el programa podrá extraerlo sin inconveniente, en otros casos este no cuenta con coordenadas, lo que nos lleva a contar con la opción *Coordinate System* de la lista GIS para georreferenciar nuestra área de trabajo, asignándole la UTM zona 17, hemisferio sur y datum WGS84.

#### 4.1.1.3.4. Delimitación de la Cuenca Pedregal

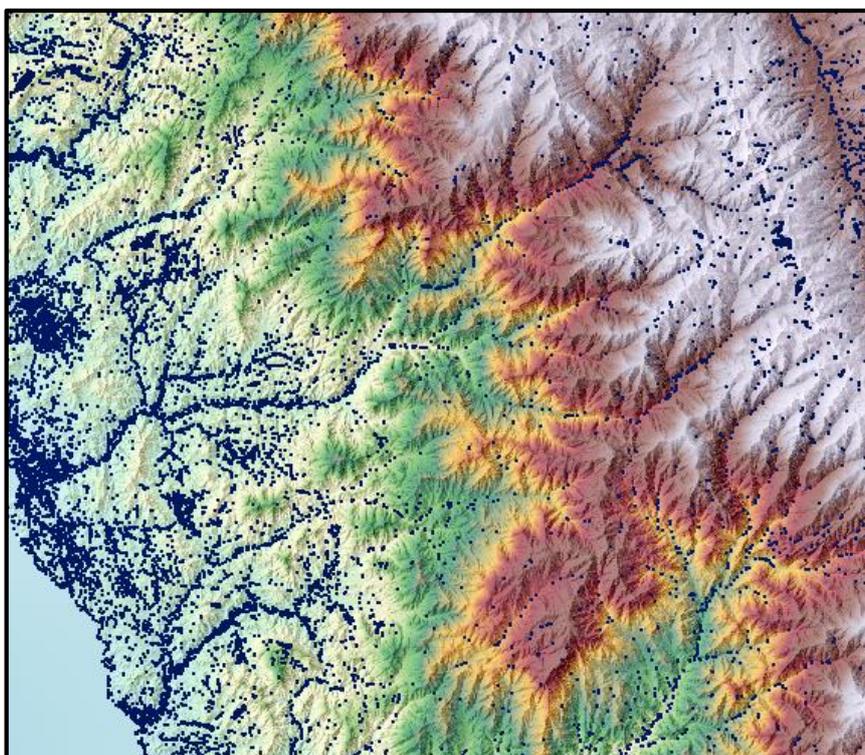
En este punto, el programa viene preparado con los comandos para realizar la delimitación de la cuenca, mediante la obtención de la línea divisoria de agua o *divortium aquarum*, para lo cual necesita el MDE y encontrarse georreferenciado.

##### - Preprocess Sinks (Preproceso de Sumideros)

el Modelo Digital de Elevación no fue trabajado de manera directa, debido a los errores que trae consigo, como son: depresiones o protuberancias inexistentes, como se observa en puntos y manchas de color azul en la Figura 3.6, generadas por causas naturales o de procesamiento, los cuales fueron corregidos antes de realizar cualquier otro trabajo de procesamiento de la cuenca; con la herramienta *Preprocess Sinks* de la lista GIS implementada en el programa, se realizó la rectificación de los errores descritos, obteniendo un imagen ráster corregida y preparada para los siguientes procesos que abarcan el modelo hidrológico de la cuenca hidrográfica.

#### Figura 38

*Corrección del Modelo Digital de Elevación, elaborado en HEC-HMS 4.10*

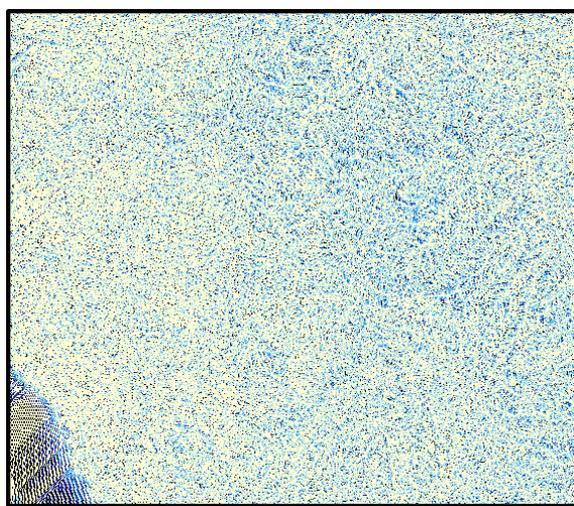
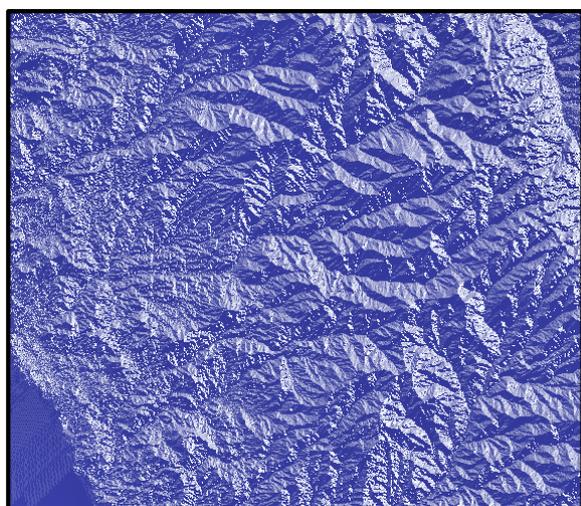


### - Preprocess Drainage (Preproceso de Drenaje)

El siguiente proceso a la corrección del MED consistió en identificar por medio de la geografía que presenta la cuenca, la dirección hacia donde fluiría las posibles precipitaciones (lluvia), lo cual el programa lo determina con la opción *Preprocess Drainage* de la lista GIS, entregándonos una imagen en escala de colores personalizable el cual clasifica la dirección del fluido, cuyo proceso luego sirve para realizar una acumulación de todas estas direcciones, y así establecer las zonas hacia donde existe un mayor recorrido de flujo, dicha información va siendo registrada en las celdas que componen el ráster para una mejor organización y disponibilidad de todos los datos y procesos que se vendrán ejecutando; la Figura 39 representa la dirección de flujo en la imagen del lado izquierdo, el cual fue establecido en una escala de tonos azules, que van desde tonos claros hacia tonos oscuros, que representan la dirección hacia dónde va el flujo; asimismo en la imagen del lado derecho podemos observar la acumulación del flujo de nuestra área de trabajo, que se puede visualizar como pequeñas manchas distribuidas en todo el espacio, lo cual se interpreta como a mayor tonalidad de color azul, mayor acumulación del flujo, así el programa puede ir trazando el cauce principal de nuestra cuenca.

### Figura 39

*Dirección del Flujo (Izquierdo) y Acumulación del Flujo (Derecho) en el MDE, elaborado en HEC-HMS 4.10.*

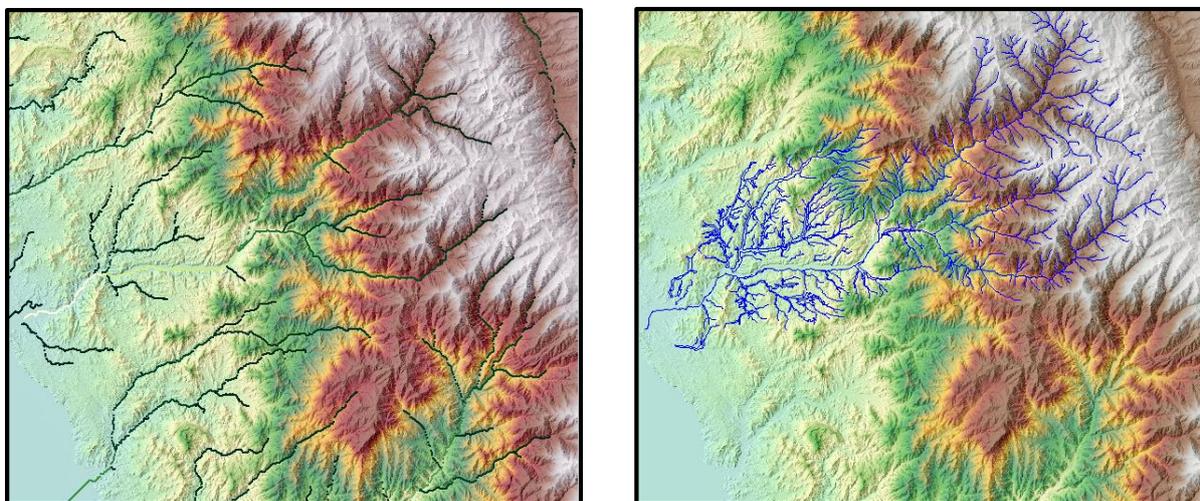


- **Identify Streams (Identificación de la Red de Drenaje)**

Una vez que el HEC-HMS ha identificado la acumulación del flujo en todo el MED, podremos determinar la red de drenaje en función de estas acumulaciones, que definen por donde el fluido circula en menor o mayor cantidad, trazando todos los cauces que pudiesen existir en el ráster, como se observa en el lado izquierdo de la Figura 3.8, donde en una escala de tonalidades verdosas, se puede seguir el recorrido de la red, cuyos trazos en verde oscuro se interpreta como menor cantidad de fluido recogido, por el contrario verdes más claros, se entenderán como mayor flujo captado; se tendrá en cuenta que las escalas de colores podrán personalizarse según las diferentes necesidades, habiéndose adoptado una configuración que permita un mejor entendimiento de los resultados; además se empleó parte de la Red Nacional Hidrográfica del Ministerio del Ambiente, en color azul, como se expone en la lado derecho de la misma imagen, correspondiente a la Cuenca Huarmey, con el propósito de verificar si la red de drenaje calculada por el programa, coincide con la red natural, comprobando que de la superposición de ambas gráficas el recorrido resulta siendo el mismo, dando por validado lo presentado por el HEC-HMS.

**Figura 40**

*Identificación de la Red de Drenaje del Modelo de Elevación Digital, elaborado en HEC-HMS 4.10.*

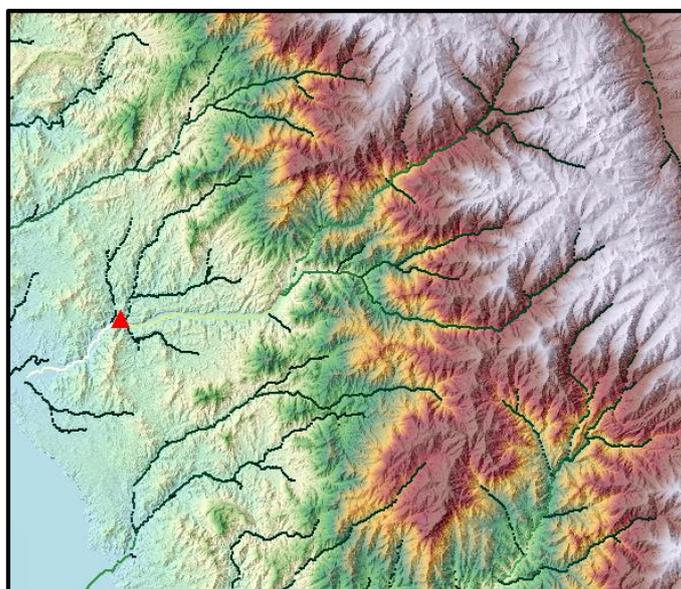


- **Break Point Creation Tools (Herramientas de Creación de Puntos de Ruptura)**

Con toda la información hidrográfica obtenida hasta el momento, ya podemos identificar el área de la Cuenca Pedregal ingresando un punto de aforo, el cual se determinó en campo, en las coordenadas geográficas:  $-10.021834^{\circ}$  (latitud),  $-78.053958^{\circ}$  (longitud), que coincide con un punto cercano a la intersección del cauce principal de nuestra cuenca de trabajo y el río Huarmey, donde desemboca todo el flujo captado, en la Figura 3.9, asignamos la estación con una forma triangular en color rojo.

**Figura 41**

*Estación de Aforo en la Cuenca Pedregal, elaborado en HEC-HMS 4.10.*



- **Delineate Elements (Delinear Elementos)**

Con la opción *Delineate Elements* y nuestra estación de aforo pudimos obtener la delimitación de nuestra cuenca; asimismo con la misma opción, más adelante, será necesario generar una serie de subcuencas que permitirán realizar un mejor detalle de los parámetros a considerar para el modelamiento hidrológico, toda vez que debemos entender que las características del suelo no son las mismas de un espacio a otro; el modelo hidrológico inicial de la cuenca se muestra en la Figura 42.

## Figura 42

*Modelo Hidrológico de la Cuenca Pedregal, elaborado en HEC-HMS 4.10.*



### 4.1.1.4. Parámetros Morfométricos y Fisiográficos de la Cuenca Pedregal

Con el modelamiento hidrológico de la cuenca, el programa nos da la posibilidad de obtener todos los parámetros morfométricos y fisiográficos de nuestra cuenca desde la lista *Parameters* en la opción *Characteristics* donde nos proporciona datos de la cuenca en sí y de los cauces principales y a partir de estos obtener parámetros de forma, relieve y de la red hídrica, según se describe:

#### 4.1.1.4.1. Parámetros de Forma

Los parámetros de forma fueron obtenidos en base a las características físicas que presenta la cuenca.

- **Área**

La Cuenca Pedregal cuenta con una extensión de 312.4 km<sup>2</sup>.

- **Perímetro**

Con relación al perímetro, se exportó el polígono conformado por la delimitación de la cuenca obtenida en el HC-HMS al programa ArcGIS en formato shapefile y con la opción *Open Attribute Table* pudimos obtener un valor de 89.20 km.

- **Longitud de la Cuenca**

Esta se obtuvo del archivo shapefile exportado al ArcGIS, con un resultado de 43.01 km para el cauce principal de la cuenca y 30.95 km para la longitud axial.

- **Ancho Promedio de la Cuenca**

De igual manera se obtuvo de forma directa del shapefile, con un valor de 7.25 km.

- **Desnivel Altitudinal**

En el ArcGIS se procesó el Modelo Digital de Elevación obteniendo como cota mínima una elevación de 115 m.s.n.m. y una elevación de cota máxima de 3447 m.s.n.m., resultando un desnivel de 3,332.00 m.

- **Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelious ( $K_c$ )**

Aplicando la Ecuación 2, se obtuvo:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0.28 \frac{89.2}{\sqrt{312.4}} = 1.42$$

- **Factor de Forma**

Aplicando la Ecuación 3, se obtuvo:

$$F = \frac{A}{L_a^2} = \frac{312.4}{30.95^2} = 0.32$$

- **Índice o Coeficiente de Circularidad de Miller ( $I_c$ )**

Aplicando la Ecuación 4, se obtuvo:

$$I_c = \frac{4\pi A}{P^2} = \frac{4\pi(312.4)}{89.20^2} = 0.49$$

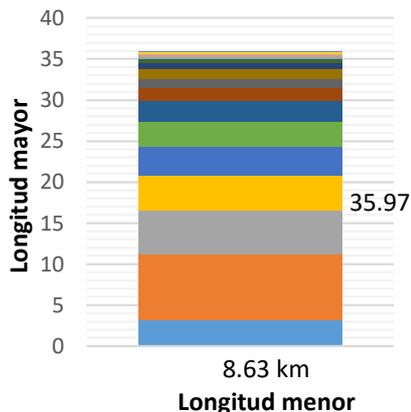
- **Rectángulo Equivalente**

$$L_{mayor} = \frac{K_c \times \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right] = 35.97 \text{ km}$$

$$L_{menor} = \frac{K_c \times \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right] = 8.63 \text{ km}$$

**Figura 43**

*Rectángulo equivalente de la Cuenca Pedregal.*



- **Relación de Elongación ( $R_e$ )**

Aplicando la Ecuación 6, se obtuvo:

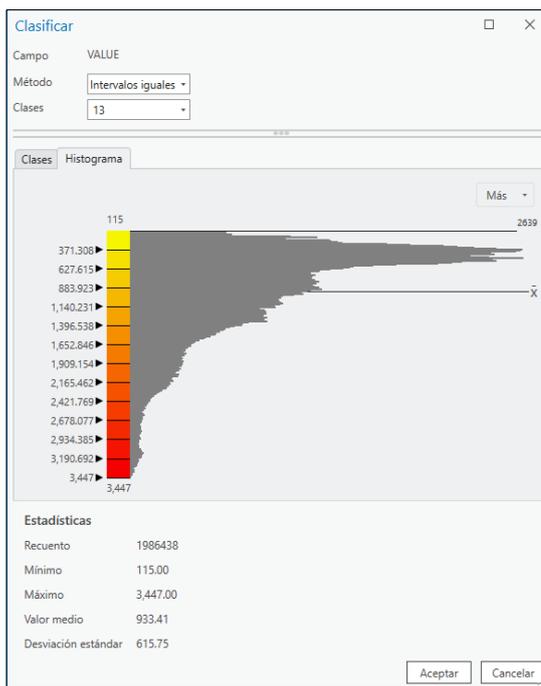
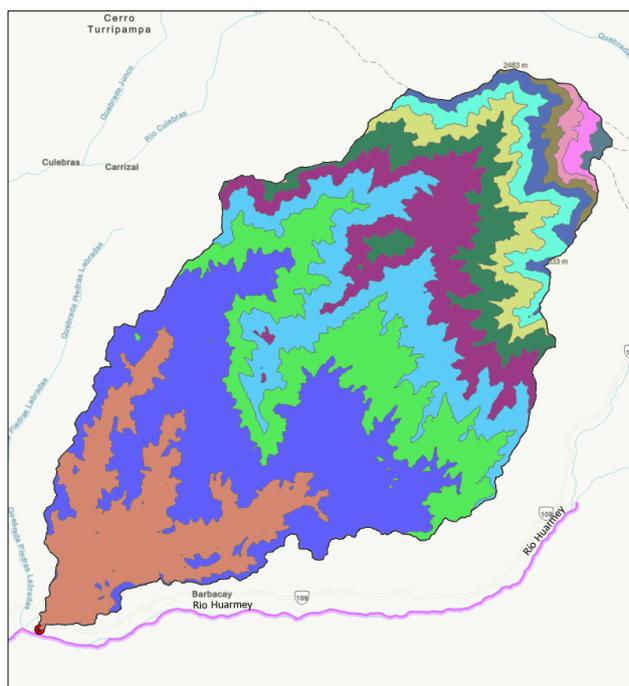
$$R_e = 1.1284 \frac{\sqrt{A}}{L} = 1.129 \frac{\sqrt{312.4}}{43.01} = 0.462$$

**4.1.1.4.2. Parámetros de Relieve**

En el ArcGIS se procesó la cuenca, sectorizándola en 13 aéreas parciales usando como criterio la elevación en intervalos iguales a fin de obtener nuestros parámetros de relieve.

**Figura 44**

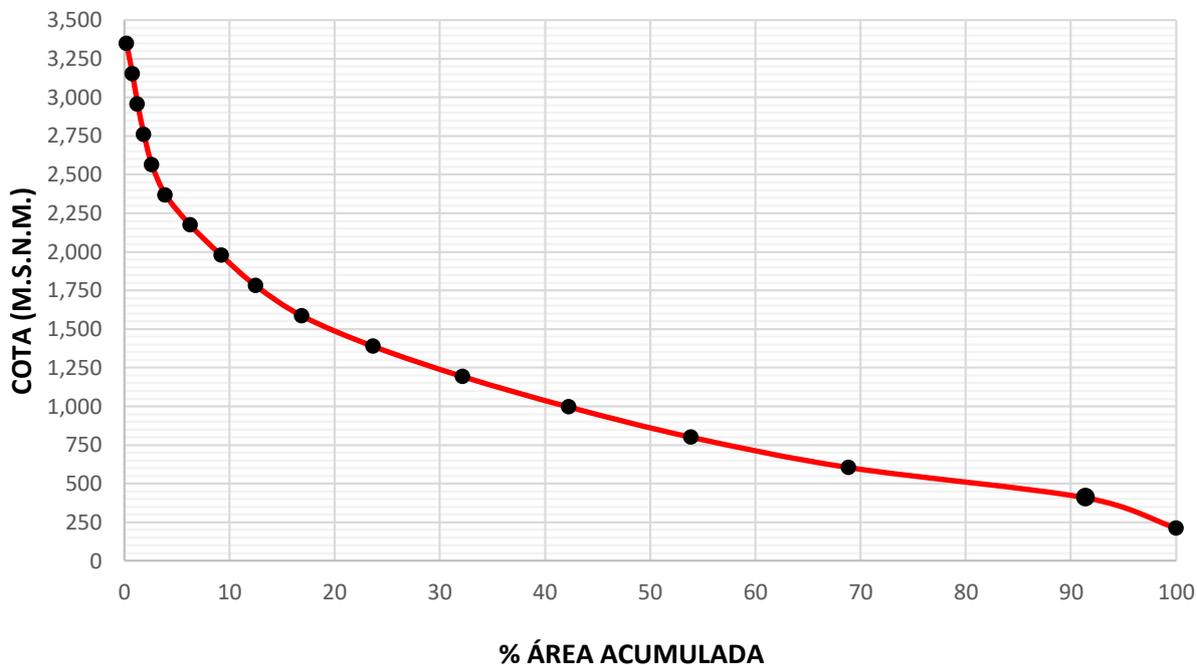
*Áreas parciales para la obtención de los parámetros de relieve, elaborado en ArcMap 10.8.2.*



- Curva Hipsométrica

**Figura 45**

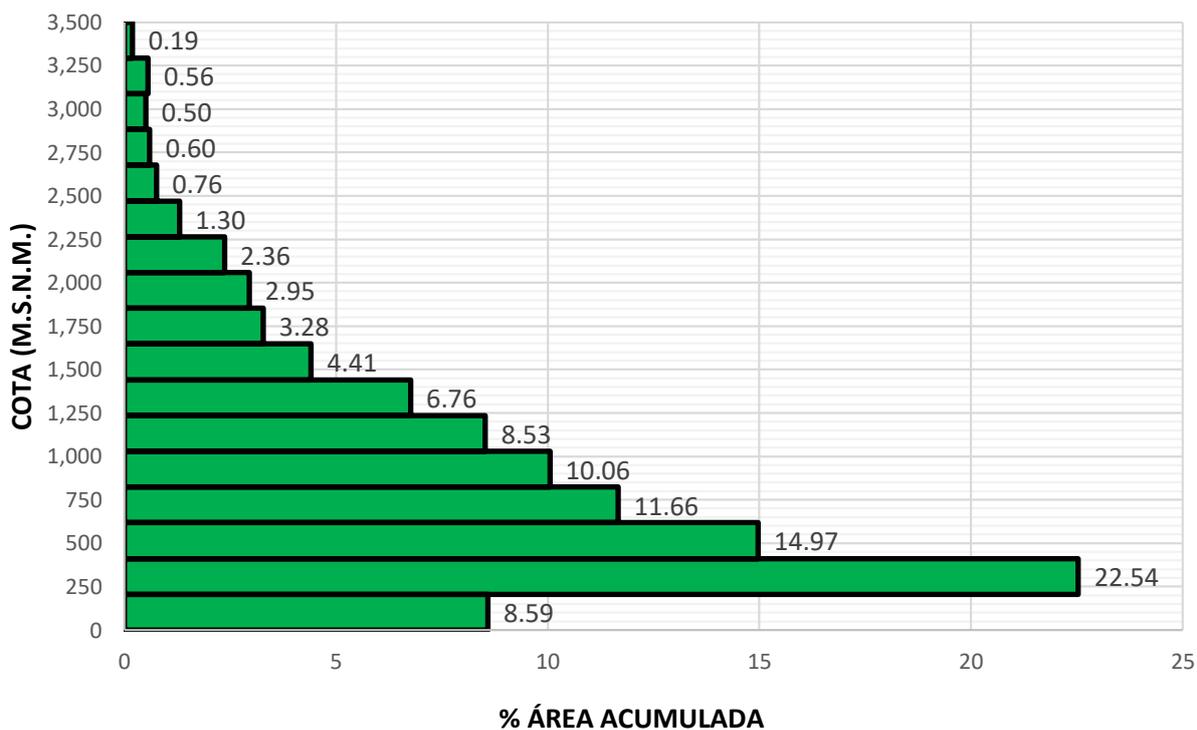
*Curva Hipsométrica de la Cuenca Pedregal.*



- Polígono de Frecuencia

**Figura 46**

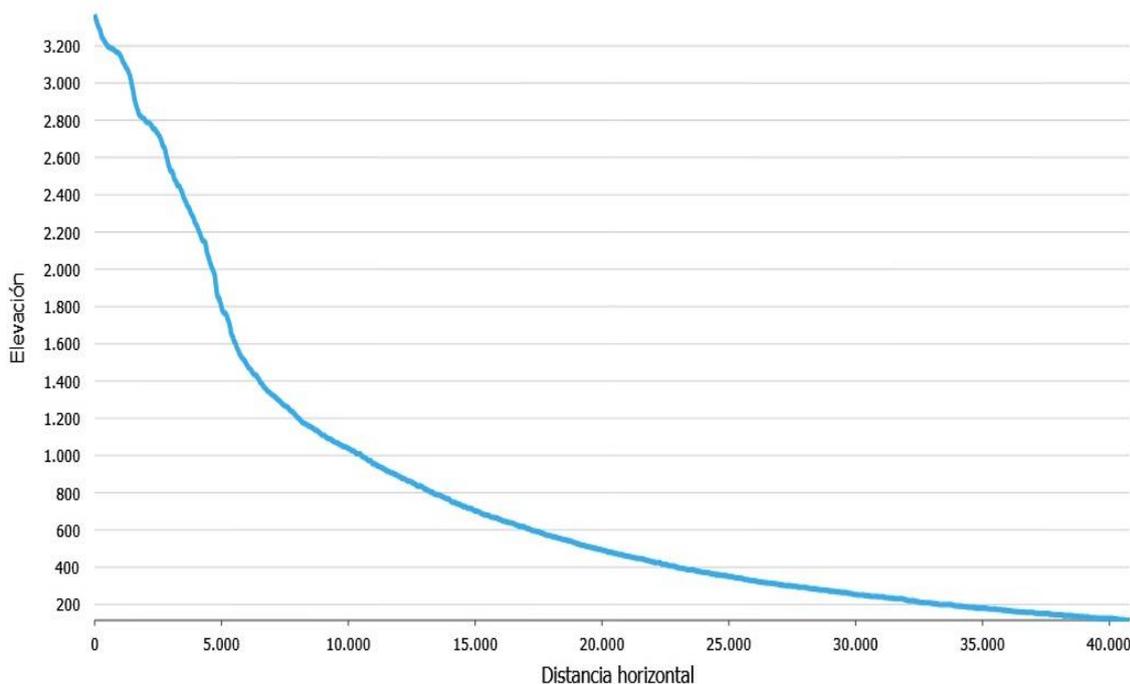
*Polígono de Frecuencia.*



- **Perfil Longitudinal**

**Figura 47**

*Perfil Longitudinal de la Cuenca Pedregal.*



- **Pendiente Promedio**

Se determinó un valor promedio de 40.48% para la superficie de la cuenca y un valor de 12.68% para la red hídrica.

- **Altitud Media de la Cuenca**

Se obtuvo un valor de 875 m.s.n.m.

- **Altitud más Frecuente**

Con ayuda del Polígono de Frecuencias se determinó un valor de 409 m.s.n.m.

**4.1.1.4.3. Parámetros de la Red Hídrica**

- **Orden de Ríos**

Aplicando el método de Horton-Strahler nuestra cuenca tiene un orden de 5.

- **Razón de Bifurcación**

De acuerdo a la Tabla 17 sabemos que nuestra cuenca tiene una razón de bifurcación de 3.49 y un total de 385.3847 km de ríos de diferente orden.

**Tabla 17**

*Información de los Cauces de la Cuenca Pedregal.*

u	N <sub>u</sub>	Longitud [km]	R <sub>b</sub>	L <sub>u</sub> [km]
1	221	201.5769	2.30	0.912
2	96	86.62409	1.81	0.902
3	53	51.42685	0.84	0.970
4	63	41.24456	9.00	0.655
5	7	4.512264		0.645
<b>Total</b>		385.3847		
<b>Promedio</b>			3.49	

- **Densidad de Drenaje**

Aplicando la Ecuación 7, se obtuvo:

$$D_d = \frac{L_c}{A} = \frac{385.3847}{321.4} 1.24$$

- **Pendiente del Cauce Principal**

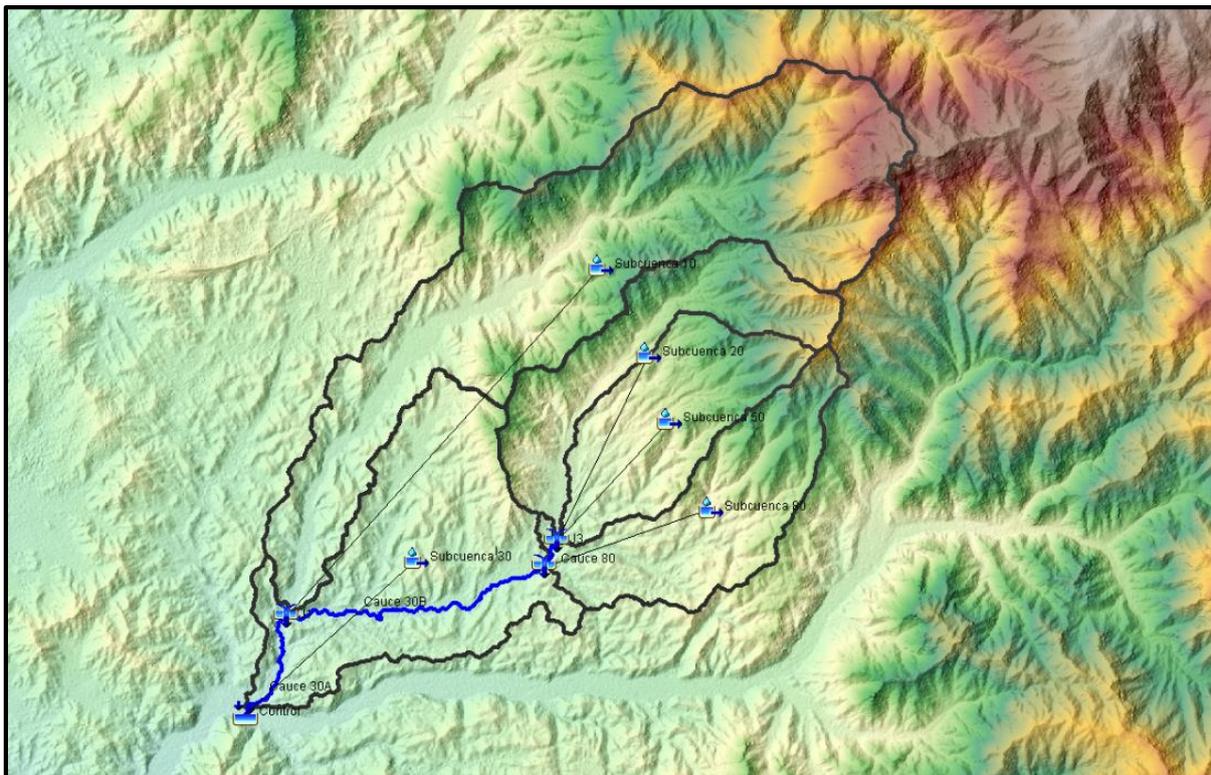
Se determinó un valor de 9.01% para el cauce principal.

**4.1.1.5. Creación de Subcuencas**

Como se indicó en el punto **3.8.1.4.4.5 Delineate Elements (Delinear Elementos)** en donde se realizó la delimitación de la Cuenca Pedregal, con las mismas herramientas se hizo la división de la cuenca en áreas de menor tamaño (subcuencas) usando como criterio un área mínima de 25 km<sup>2</sup> correspondiente a una cuenca pequeña según Campos (1998), obteniendo como resultado final, un nuevo modelo hidrológico conformado por 7 subcuencas; sin embargo, una se delimitó con un área de 0.9727 km<sup>2</sup> menor a 1 km<sup>2</sup>, por lo que se utilizó la opción *Merge Elements* de lista *GIS* con la finalidad de acoplar esta subcuenca a otra que cumpla con el criterio establecido para el tamaño mínimo; asimismo, 2 subcuencas generadas, poseían las mismas características de suelo, y se encontraban contiguas, optando de igual manera por acoplarlas, obteniendo el modelo final de 5 subcuencas (Figura 48).

**Figura 48**

*Modelo Hidrológico Final de la Cuenca Pedregal, elaborado en ArcMap 10.8.2.*



Asimismo, se muestra un resumen de las características físicas obtenidas en el programa HEC-HMS, que ayudaron a la obtención de los parámetros requeridos para el modelo hidrológico.

**Tabla 18**

*Características físicas de las subcuencas.*

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Cota Mínima (m)	Cota Máxima (m)	Longitud más larga del flujo (km)	Pendiente del Flujo más largo (m/m)	Longitud del Flujo al Centroide (km)	Pendiente del Flujo al Centroide (m/m)	Pendiente de la Cuenca (m/m)
Subbasin-10	130.79	163.00	3,447.30	38.11	0.08618	22.34	0.02412	0.45756
Subbasin-20	35.758	356.17	2,365.92	18.71	0.10746	8.80	0.04718	0.42204
Subbasin-30	67.766	115.00	1,180.67	21.42	0.04971	10.65	0.01258	0.30734
Subbasin-50	35.997	356.50	2,171.50	14.56	0.12455	7.75	0.05087	0.35591
Subbasin-80	40.061	327.00	2,215.25	17.17	0.11003	7.90	0.03366	0.37923

**Tabla 19**

*Características físicas de los cauces.*

Cauce	Longitud (km)	Pendiente (m/m)
Cauce 80	1.21532	0.02386
Cauce 30B	12.01966	0.01373
Cauce 30A	4.88308	0.00983

#### **4.1.1.6. Parámetros adoptados en HEC-HMS**

En este apartado se sustenta el cálculo de los diferentes parámetros necesarios para decidir qué método implementar en el HEC-HMS y así, obtener un modelo hidrológico más preciso y coherente a la realidad.

##### **4.1.1.6.1. Método de Perdida (Loss Method)**

El método de perdida adoptado calcula la precipitación neta que genera escorrentía directa, restando del total, la precipitación que es absorbida por las plantas o vegetación, también la que en su recorrido se infiltra en los suelos o queda almacenada en las depresiones del mismo, finalmente en estos 2 procesos parte del agua termina evapotranspirándose (Villon, 2007, p. 26). Para nuestro modelo se implementó la metodología del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelo (SCS), por su fácil aplicación y porque es el método con mayor uso dentro de la hidrología, el cual se selecciona desde la pestaña Parameters en la opción Loss, donde podemos encontrar una serie de métodos para buscar el mismo fin, cuya función es calcular el exceso de precipitación, en función de los datos de precipitación y el número de curva.

##### **- Pérdidas Iniciales o Abstracciones Iniciales (Initial Abstraction)**

Las abstracciones iniciales fueron consideradas de manera directa en el programa HEC-HMS, el cual hace el cálculo al dejar en blanco la celda de *Initial Abstraction (mm)* en la pestaña

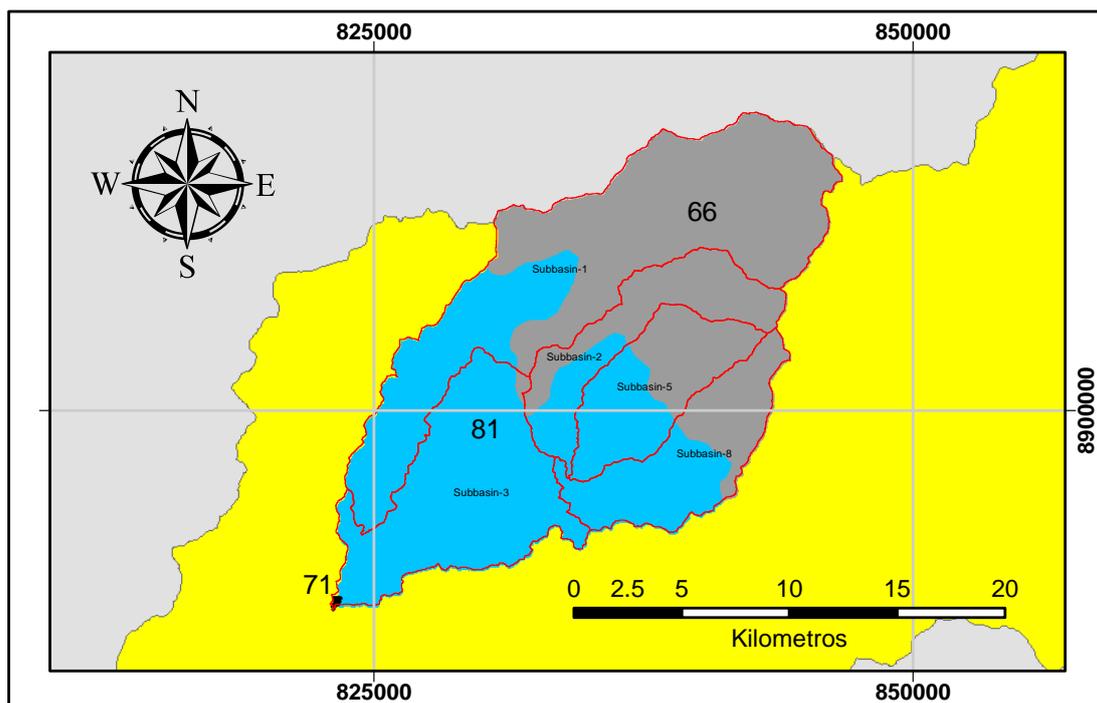
Loss de cada subcuenca, el cual es calculado como el 20% de la Retención Potencial Máxima (S).

#### 4.1.1.6.2. Mapa Temático de Curva Número (CN)

Para obtener este mapa, fue necesario contar con los mapas de suelo y cobertura vegetal mencionado en las Figuras 3.17 y 3.18, así como el Modelo Digital de Elevación de nuestra cuenca el cual ya fue obtenido inicialmente para la delimitación; asimismo se consideró como condiciones anteriores de humedad un tipo II, parámetro que permitirá calcular las abstracciones iniciales en el modelo hidrológico. Toda esta información fue consolidada en un solo mapa temático con ayuda de la extensión HEC-GeoHMS del programa ArcGIS, entregando como producto final un archivo ráster con valores de curva número que van desde 66 hasta el 81, según corresponda, para ser usado en el método de perdida y los métodos que más adelante se aplicaran para la obtención de nuestros hidrogramas en la estación de aforo de nuestra cuenca, la Figura 49 ilustra el mapa obtenido, cuyos polígonos en color rojo representan las subcuencas y los números indican un valor general de curva número.

**Figura 49**

*Mapa Temático de Curva Número, elaborado en HEC-HMS 4.10.*



Sin embargo, se aprecia que la cuenca pedregal, se encuentra dividido en 3 espacios bien definidos con diferente número de curva, los cuales no corresponden con la división de subcuencas que se adoptó para tener una mejor definición y precisión en los parámetros que se adoptaron para aproximar el modelo a la realidad, lo que amerita analizar el grado de participación de cada número de curva dentro de cada subcuenca, obteniendo la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Número de Curva en cada subcuenca.*

Nº	Subcuenca	Mínimo	Máximo	CN Promedio
1	Subbasin-10	66	81	70.835226
2	Subbasin-20	66	81	70.504896
3	Subbasin-30	66	81	80.797915
4	Subbasin-50	66	81	73.540693
5	Subbasin-80	66	81	74.617864

#### **4.1.1.6.3. Método de Transformación (Transform Method)**

Continuando con los criterios del SCS, se adoptó el método del Hidrograma Unitario de la misma entidad, el cual se implementó desde la pestaña *Parameters* en la opción *Transform*, el cual usa la precipitación neta calculada en el método de pérdida y la convierte en escorrentía directa.

Asimismo, en este método fue necesario calcular el tiempo de concentración de las diferentes subcuencas que conforman nuestra cuenca, seleccionando el método del SCS porque trabaja con el parámetro de Numero de Curva que además incluye las características de suelo y cobertura vegetal en el cálculo, a diferencia del resto de métodos que solo considera características de forma.

**Tabla 21**

*Tiempo de Concentración ( $T_c$ ) de las subcuencas.*

Método	Subcuenca 10	Subcuenca 20	Subcuenca 30	Subcuenca 50	Subcuenca 80
Témez	456.161	254.795	326.907	204.773	237.566
SCS	291.710	173.513	167.829	142.169	152.370
California	168.770	89.658	133.870	69.836	83.139
Kirpich	168.572	89.553	133.717	69.755	83.042

Calculado el tiempo de concentración ( $T_c$ ), obtuvimos el tiempo de retraso o *Lag Time* como se detalla en la Tabla 22, multiplicando el  $T_c \times 0.6$ , a excepción del método de Témez que se usó un factor de 0.35, los cuales fueron ingresados en la pestaña *Transform* de cada subcuenca en la opción *Lag Time (MIN)*.

**Tabla 22**

*Tiempo de Retraso (Lag Time) de las subcuencas.*

Método	Subcuenca 10	Subcuenca 20	Subcuenca 30	Subcuenca 50	Subcuenca 80
Témez	159.657	89.178	114.417	71.671	83.148
SCS	175.026	104.108	100.698	85.301	91.422
California	101.262	53.795	80.322	41.902	49.883
Kirpich	101.143	53.732	80.230	41.853	49.825

#### **4.1.1.6.4. Flujo Base (Baseflow Method)**

Con la visita realizada a la Cuenca Pedregal se percibió que el cauce cuenta con fluido mínimo o casi despreciable, durante la ausencia de precipitaciones, por ende, presenta una red de drenaje seca; lo que se consideró *None* en la opción *Baseflow Method* de cada subcuenca.

#### **4.1.1.6.5. Tránsito de Caudales**

Para nuestra cuenca, el cauce se agrupo en 3 tramos, según sus características y por practicidad se adoptó el modelo de Muskingum que hace uso de 2 parámetros, el primero fue el parámetro “X” que dependió de la forma de almacenamiento en cuña del canal, aquí se

consideró un valor de 0.2 por recomendación del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2008, p. 62); con relación al segundo parámetro “K” este fue calculado en función de la fórmula de Témez y del SCS. Los parámetros se muestran en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Parámetros “X” y “K”.*

Tramos	K (horas)	X
Cauce 30A	0.98333	0.20
Cauce 30B	1.86667	0.20
Cauce 80	0.30000	0.20

Estos valores son ingresados al HEC-HMS desde la pestaña *Parameters* opción *Routing*, en este espacio se visualiza los diferentes métodos de enrutamiento que cuenta el programa

#### **4.1.2. Información Hidrometeorológica**

##### **4.1.2.1. Precipitaciones Máximas de 24 Horas**

Identificado nuestras estaciones, se obtuvo los datos pluviométricos que se presentan en la Tabla 24, donde las series donde no se cuenta con datos o falta al menos uno, se usó la denominación S/D que indica “sin datos”.

**Tabla 24**

*Precipitaciones Máximas de 24 horas Anuales (mm).*

Año	Huayan	Punta Culebras	Quian	San Diego
1964	S/D	S/D	S/D	S/D
1965	17.7	S/D	S/D	S/D
1966	S/D	S/D	S/D	S/D
1967	41.5	1.6	S/D	S/D
1968	10.5	0.6	3.6	S/D
1969	S/D	0.2	1.8	S/D
1970	S/D	7	16.5	S/D
1971	25.7	3.6	3.6	S/D
1972	S/D	1	8.8	S/D
1973	S/D	4	10	S/D
1974	S/D	S/D	S/D	S/D
1975	S/D	S/D	S/D	S/D
1976	S/D	S/D	S/D	S/D
1977	S/D	0	7	S/D
1978	S/D	S/D	S/D	S/D
1979	S/D	S/D	S/D	S/D
1980	S/D	S/D	S/D	S/D
1981	S/D	S/D	S/D	S/D
1982	S/D	S/D	S/D	S/D
1983	S/D	S/D	S/D	S/D
1984	S/D	S/D	S/D	S/D
1985	S/D	S/D	S/D	S/D
1986	S/D	S/D	S/D	S/D
1987	S/D	S/D	S/D	S/D
1988	S/D	S/D	S/D	S/D
1989	S/D	S/D	S/D	S/D
1990	S/D	S/D	S/D	S/D
1991	S/D	S/D	S/D	S/D
1992	S/D	S/D	S/D	S/D
1993	S/D	S/D	S/D	S/D
1994	S/D	5	S/D	S/D
1995	S/D	0	S/D	S/D
1996	S/D	S/D	S/D	S/D
N° Datos	4	10	7	0

*FUENTE:* Tomada de los datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

<https://snirh.ana.gob.pe/snirh/>

Asimismo, para filtrar las estaciones que serán de mayor utilidad al estudio de nuestra cuenca se siguió lo plasmado en el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2008) dirigido al diseño de infraestructura vial, de donde se obtuvo las pautas y

recomendaciones para seleccionar adecuadamente nuestras estaciones, con esta base, los criterios adoptados buscaron que la información sea representativa, de calidad, suficiente (mínimo 25 años de registro) y sólida, a fin de poder garantizar que los resultados obtenidos durante los análisis sean confiables (p. 22); el criterio de cantidad propuesto por el MTC (2008), también lo podemos ver en el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales (2016) donde nos habla que este valor puede ser de hasta 20 años como mínimo (p. 2), ósea, haciendo la comparación entre los 2 documentos, que son de carácter normativo, tenemos una holgura menor de 5 años en el reglamento de fajas marginales, sin embargo, siempre se buscó tener la mayor cantidad de registros; este último criterio nos llevó a descartar toda la información pluviométrica observada en las estaciones de la Tabla 23, ya que vienen registrando información que carece de continuidad en sus registros y a la vez son muy limitadas, lo cual hace oportuno el uso de precipitaciones estimadas por satélite como datos de entrada para los modelos hidrológicos a implementar, optando por la base de datos PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), implementada por SENAMHI, para el presente estudio.

#### **4.1.2.2. Producto Grillado PISCO**

En vista que nos encontramos forzados a descartar la data de precipitación recogida, se optó por implementar la información diaria proveniente de la plataforma PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations), en su versión V2p1, cuya extensión de registros abarca desde el 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre del 2016; esta información está distribuida en un engrillado o maya cuadrículada con resolución de 5.5 x 5.5 km, cada espacio o cuadrado guarda la información sintetizada de estaciones terrenas y climatológicas (Aybar et al, 2017, p. 5); al superponer esta malla cuadrículada sobre nuestra área de trabajo podemos obtener la información de precipitación de

cada una de las zonas que conforman nuestra cuenca y trabajar con una data de extensión adecuada.

#### 4.1.2.3. Precipitación Máxima de 24 Horas del Producto Grillado PISCO

De las recomendaciones brindadas por las entidades, el producto PISCO cuenta con una data histórica de 36 años de registros, lo que la hace factible de aplicación en nuestro estudio, cuya información es otorgada en formato NetCDF (idóneo para almacenar datos de precipitación y otros) y con el tratamiento de la extensión “Value Tool” incorporado al software libre QGIS, se pudo obtener las precipitaciones que inciden en el área de influencia de nuestras 4 estaciones; asimismo, se verifico que la Estación Huayan es la que cuenta con mayor precipitación máxima de 24 horas por encontrarse a mayor altura que el resto, de acuerdo a la Tabla 25, pero no podemos tomarla como referencia para toda nuestra cuenca debido a que su área de influencia dentro de la cuenca es de solo el 7.27% y la Estación Quian es del 68.29%.

**Tabla 25**

*Precipitación Mínimas y Máxima de 24 horas obtenida de PISCO.*

	PP <sub>máx24hr</sub> (mm)			
	E. Huayan	E. Punta Culebras	E. Quian	E. San Diego
<i>Mínimo</i>	4.78	0.01	0.74	0.21
<i>Máximo</i>	28.27	5.03	5.10	9.21

Teniendo en consideración lo indicado, para contar con un registro más realista y representativo de la distribución espacial de nuestras precipitaciones, consideramos evaluar las estaciones de acuerdo a su peso relativo dentro de la cuenca, obteniendo nuestra precipitación máxima promedio de 24 horas.

#### 4.1.2.4. Prueba de Datos Dudosos

Con la información de precipitación promedio máxima de 24 horas obtenida para un periodo de 36 años, se sometió a la prueba de datos dudosos, siguiendo la metodología del

Water Resources Council (1981), el cual descarta los datos que se alejan significativamente de la tendencia de los datos restantes, denominándolos “DATOS DUDOSOS”, cuyo coeficiente de sesgo nos arrojó 0.77 mayor a 0.4, por lo que debemos considerar evaluar datos dudosos altos.

**Tabla 26**

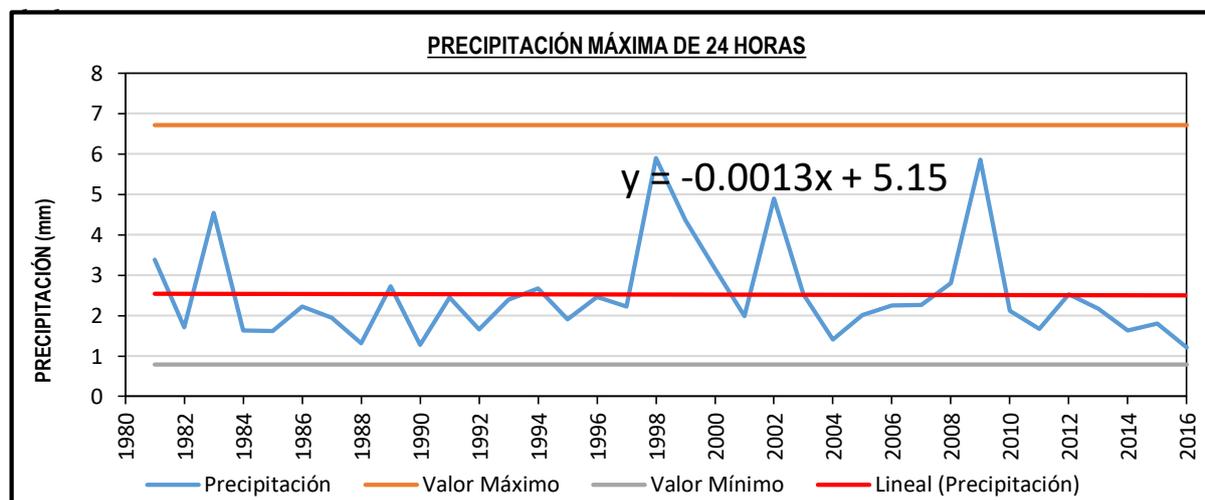
*Parámetros Estadísticos para Prueba de Datos Dudosos.*

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	PP <sub>máx24hr</sub>	Log (PP <sub>máx24hr</sub> )
Número de datos (N)	36	36
Sumatoria	90.66	13.08
Valor Máximo	5.90	0.77
Valor Mínimo	1.21	0.08
Media:	2.52	0.36
Varianza:	1.42	0.03
Desviación Estándar:	1.19	0.18
Coficiente Variación:	0.47	0.48
Coficiente de Sesgo:	1.64	0.77
Se considera:	Detectar datos dudosos altos	

Asimismo, la Figura 50, nos grafica el comportamiento de la información histórica, la cual presenta una tendencia lineal con una ligera pendiente del -0.13% y se encuentra dentro de umbrales de precipitación mínima (0.79 mm) y máxima (6.71) calculadas con la metodología que propone el método.

**Figura 50**

*Precipitación máxima de 24 horas y umbrales mínimo y máximo de la prueba de datos*



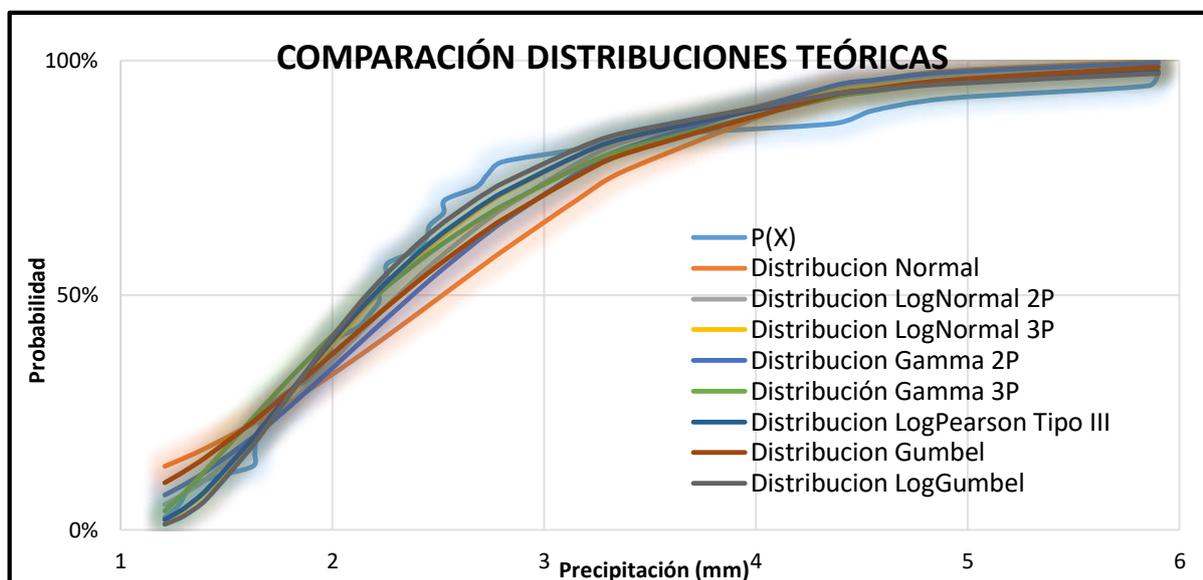
Los resultados obtenidos nos permiten aplicar la información de precipitación conforme fue obtenida de PISCO.

#### 4.1.2.5. Funciones de Probabilidad que mejor se ajustan a la Precipitación Histórica

Para analizar nuestras precipitaciones se utilizó un enfoque probabilístico, mediante el cual se ajustó nuestros datos a una curva a fin de describir la probabilidad de ocurrencia futura de cualquier evento, cuyas curvas fueron definidas por nuestras funciones de distribución de probabilidad teórica; recomendándose utilizar las siguientes funciones: Normal, Log Normal 2 Parámetros, Log Normal 3 Parámetros, Gamma 2 Parámetros, Gamma 3 Parámetros o Pearson Tipo III, Gumbel y Log Gumbel. MTC (2008, p. 25). En la Figura 51, se presenta una comparación de las distribuciones teóricas usadas.

**Figura 51**

*Comparación de las Distribuciones Teóricas aplicadas a nuestra serie de datos de precipitación en la Cuenca Pedregal.*



#### 4.1.2.6. Prueba de Bondad de Ajuste

De las distribuciones de probabilidad teóricas obtenidas, mediante la prueba de Kolmogorov - Smirnov se evaluó que distribución se ajusta mejor a nuestros datos, obteniendo el Cuadro 3.16, que nos indica que la Distribución de Log Gumbel presenta un  $\Delta$  teórico menor

al resto de distribuciones y menor al  $\Delta$  tabular, siendo el más adecuado a nuestra serie de datos; sin embargo, es factible indicar que todas las distribuciones pueden ser usados en razón que presentan  $\Delta$  teórico menor al  $\Delta$  tabular.

**Tabla 27**

*Prueba de Kolmogorov - Smirnov para distribuciones de probabilidad teórica.*

$\Delta$ Tabular	$\Delta$ TEÓRICO DE LAS DISTRIBUCIONES							
	Normal	Log Normal 2 Parámetros	Log Normal 3 Parámetros	Gamma 2 Parámetros	Gamma 3 Parámetros	Log Pearson Tipo III	Gumbel	Log Gumbel
0.2267	0.1989	0.1132	0.0726	0.1437	0.1013	0.0666	0.1285	0.0630
$\Delta$ Teórico Mínimo	<b>0.0630</b>							
	<b>DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL</b>							

Los cálculos de las distribuciones de probabilidad teórica se muestran en el Anexo 3.

#### 4.1.2.7. Precipitaciones Máximas de 24 Horas para diferentes Periodos de Retorno

Con la distribución de probabilidad teórica de Log Gumbel se calculó los valores de precipitación máxima de 24 horas según los periodos de retorno establecidos como se muestra en la Tabla 28.

**Tabla 28**

*Precipitaciones Máximas para diferentes periodos de retorno.*

T (años)	Probabilidad de Excedencia	PP <sub>máx</sub> 24h
2	0.500	2.16
5	0.200	3.09
10	0.100	3.91
25	0.040	5.28
50	0.020	6.58
100	0.010	8.21
200	0.005	10.22
500	0.002	13.65
1000	0.001	16.98
$\Delta$	<b>0.2267</b>	<b>0.0630</b>

Los datos de precipitación de 24 horas obtenidos de las estaciones son susceptibles de sufrir errores durante su medición, Kohler et al (1977) explica que La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha tomado en cuenta este tipo de error, y lo ha corregido aplicando un factor de corrección que se encuentra en función al número de observaciones que ha sido necesario realizar para obtenerlo (p. 297); según fuentes de SENAMHI las estaciones descartadas estaban programadas para realizar la medición máxima al finalizar el día, lo que sería considerado como una observación diaria, lo que nos llevó a aplicar un factor de 1.13 sobre la medición obtenida del producto meteorológico PISCO.

**Tabla 29**

*Precipitaciones Máximas de 24 horas corregidas.*

T (años)	PP <sub>máx</sub> 24h	PP <sub>máx</sub> 24h (corregido)
2	2.16	2.44
5	3.09	3.49
10	3.91	4.42
25	5.28	5.96
50	6.58	7.44
100	8.21	9.27
200	10.22	11.55
500	13.65	15.42
1000	16.98	19.19

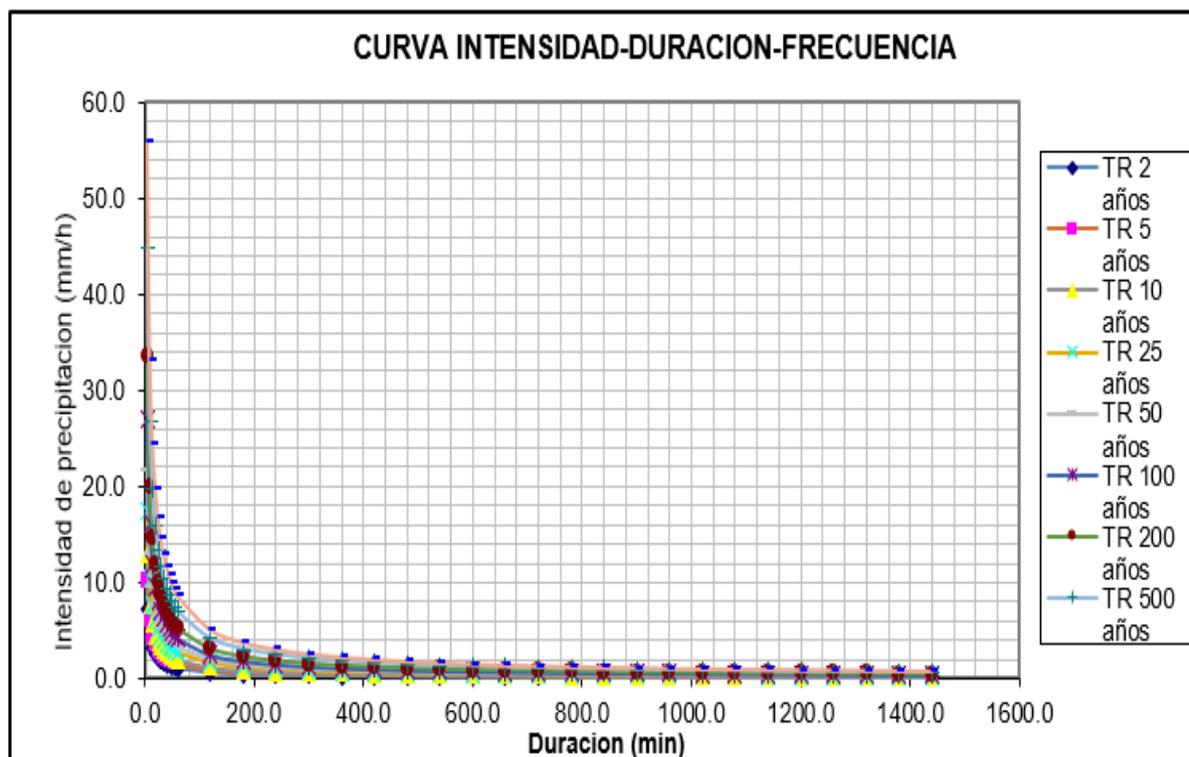
#### **4.1.2.8. Curvas IDF o Intensidad – Duración - Frecuencia**

Obtenida la precipitación máxima corregida para cada periodo retorno, y como en nuestro caso no se contaba con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas fueron calculadas mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991), para lo cual primero se obtuvo la segregación de las precipitaciones en periodos de duración de minutos durante un día completo y segundo, se consiguió calcular la intensidad de precipitación en periodos de duración de horas durante el mismo día, con esta información se elaboró las curvas que relacionan la Intensidad – Duración – Frecuencia (Figura 52) para los

diferentes periodo de retorno propuestos por las normativas, los cuales cuantifican la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de cierta intensidad y duración.

**Figura 52**

*Curva IDF para las precipitaciones máximas de 24 horas.*



**4.1.2.9. Tormenta de Diseño para distintos Periodos de Retorno**

Con los datos obtenidos de las Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia y mediante un Análisis de Regresión Múltiple, se obtuvo los valores de  $m$  (0.3273),  $n$  (-0.7502) y  $k$  (19.8715) necesarios para el cálculo, de la relación propuesta por Sherman, de las tormentas de diseño que funcionan como datos de entrada al sistema, estas tormentas fueron expresadas en hietogramas sintéticos de diseño presentados en el Cuadro 3.19, cuyas gráficas se presentan a mayor detalle en el Anexo 5, los cuales fueron obtenidos siguiendo la metodología del Método de los Bloques Alternos, que nos calcula la profundidad de precipitación ocurrida en el tiempo de retorno seleccionado, en el cual percibimos que, cuando existe un mayor periodo de retorno, también existe un incremento ligero de la precipitación, en ese sentido. Cuando tenemos un periodo de retorno de 2 años obtenemos una precipitación de 1.156 mm y para un periodo de

retorno de 1000 años se tendrá un valor de precipitación de 8.835 mm, estos valores de periodo de retorno son los limites inferior y superior seleccionados para nuestro estudio.

**Tabla 30**

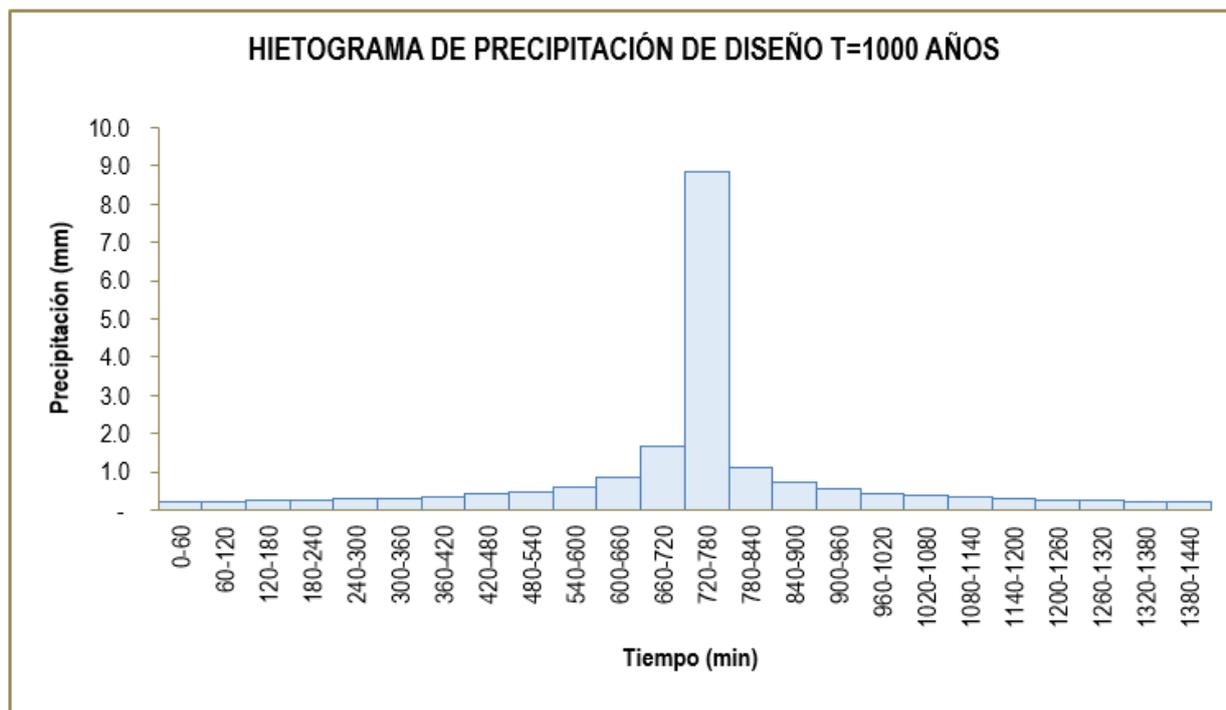
*Tormentas de diseño para diferentes periodos de retorno.*

<b>Hietogramas - Modelo Dyck - Peschke</b>									
<b>Duración</b>	<b>Tiempo de Retorno</b>								
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>
60	0.027	0.036	0.046	0.062	0.078	0.097	0.122	0.165	0.207
120	0.029	0.039	0.049	0.066	0.083	0.104	0.130	0.176	0.221
180	0.031	0.042	0.053	0.071	0.089	0.112	0.140	0.189	0.238
240	0.034	0.046	0.057	0.077	0.097	0.121	0.152	0.206	0.258
300	0.037	0.050	0.063	0.084	0.106	0.133	0.167	0.225	0.282
360	0.041	0.055	0.069	0.094	0.118	0.147	0.185	0.250	0.313
420	0.046	0.062	0.078	0.106	0.133	0.166	0.209	0.282	0.353
480	0.053	0.072	0.090	0.122	0.153	0.192	0.241	0.325	0.408
540	0.064	0.086	0.108	0.146	0.183	0.229	0.288	0.388	0.487
600	0.080	0.109	0.136	0.184	0.231	0.290	0.363	0.491	0.615
660	0.113	0.153	0.192	0.259	0.325	0.408	0.511	0.690	0.866
720	0.218	0.295	0.370	0.499	0.626	0.786	0.986	1.331	1.670
780	1.156	1.560	1.957	2.641	3.314	4.158	5.217	7.042	8.835
840	0.146	0.198	0.248	0.335	0.420	0.527	0.661	0.892	1.120
900	0.094	0.126	0.159	0.214	0.269	0.337	0.423	0.571	0.716
960	0.071	0.096	0.120	0.162	0.204	0.255	0.320	0.433	0.543
1020	0.058	0.078	0.098	0.133	0.166	0.209	0.262	0.353	0.443
1080	0.049	0.067	0.084	0.113	0.142	0.178	0.223	0.302	0.378
1140	0.043	0.059	0.074	0.099	0.125	0.156	0.196	0.265	0.332
1200	0.039	0.052	0.066	0.089	0.111	0.140	0.175	0.237	0.297
1260	0.035	0.048	0.060	0.081	0.101	0.127	0.159	0.215	0.269
1320	0.032	0.044	0.055	0.074	0.093	0.116	0.146	0.197	0.247
1380	0.030	0.040	0.051	0.068	0.086	0.108	0.135	0.182	0.229
1440	0.028	0.038	0.047	0.064	0.080	0.100	0.126	0.170	0.214

En la Figura 53 se muestra uno de los hietogramas calculados para una precipitación con una probabilidad de ocurrencia de 1000 años, cuyos datos se encuentran detallados en la Tabla 30 del mismo acápite.

**Figura 53**

*Hietograma de precipitación de diseño para un periodo de retorno de 1000 años en la Cuenca Pedregal.*



**4.1.3. Modelamiento Hidrológico en HEC-HMS 4.10**

**4.1.3.1. Modelo de la Cuenca**

En los pasos previos que se fue desarrollando, los resultados fueron ingresados dentro del HEC-HMS, a fin de complementar los métodos adoptados, entre estos datos tenemos, para cada una de las subcuencas generadas: las abstracciones iniciales y el número de curva para el Método de Perdida de la Curva Número del SCS y el tiempo de retraso o Lag Time para el Método de Transformación del Hidrograma Unitario del SCS; y para cada uno de los cauces: los factores K y X del método de Muskingum para el tránsito de avenidas.

En la Figura 54 se muestra el modelo final de la Cuenca Pedregal adoptado.

**Figura 54**

*Modelo Hidrológico HEC-HMS de la Cuenca Pedregal.*



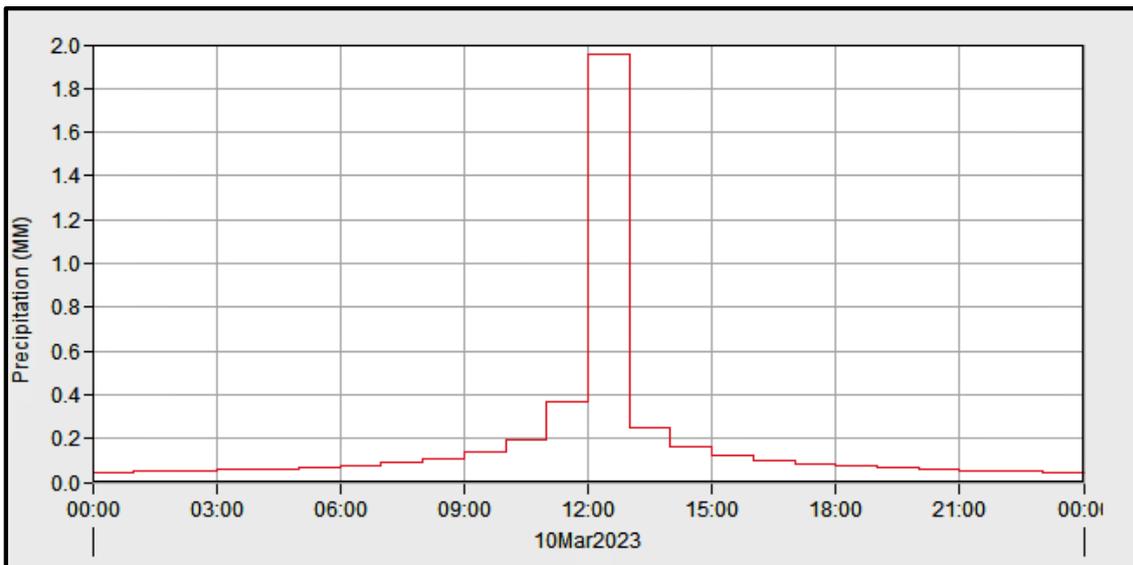
El modelo se encuentra conformado por 5 áreas de color verde encerradas por polígonos de línea gruesa color negro que representan las subcuencas generadas adrede para una mejor repartición de los parámetros, en línea negra delgada, se detalla el recorrido de los cauces principales de cada subcuenca los cuales son lo que tienen mayor distancia y por ende mayor tiempo de concentración, las líneas rectas color azul, establecen el modelo del cauce principal de toda la cuenca; asimismo en el lado izquierdo del nombre de cada subcuenca se muestra una pequeña imagen que indica su centroide geométrico y en la parte más baja se encuentra la estación de aforo o control en donde se hallaran los hidrogramas de avenidas.

#### **4.1.3.2. Modelo Meteorológico**

En esta etapa se ingresó los hietogramas sintéticos calculados para precipitaciones de 24 horas para diferentes periodos de retorno, seleccionando un día arbitrario donde se podría generar la tormenta y el inicio y fin de la misma.

**Figura 55**

*Hietograma para precipitación de diseño, elaborado en HEC-HMS 4.10.*



#### 4.1.3.3. Especificaciones de Control

Seguido del modelo meteorológico, se definió el tiempo de inicio y fin del cálculo del Hidrograma de Avenidas, empezando a las 00:00 horas del 10 de marzo del 2023 y terminando a las 10:00 horas del siguiente día, aquí se tuvo en consideración asignar un tiempo adicional al tiempo de duración debido a que una vez terminada la tormenta esta aun escurre por la cuenca hasta desocuparla en su totalidad; asimismo, se definió el intervalo de tiempo con que se debe realizar cada calculo y optimizar el diseño.

**Figura 56**

*Especificaciones de Control para la Cuenca Pedregal, elaborado en HEC-HMS 4.10.*

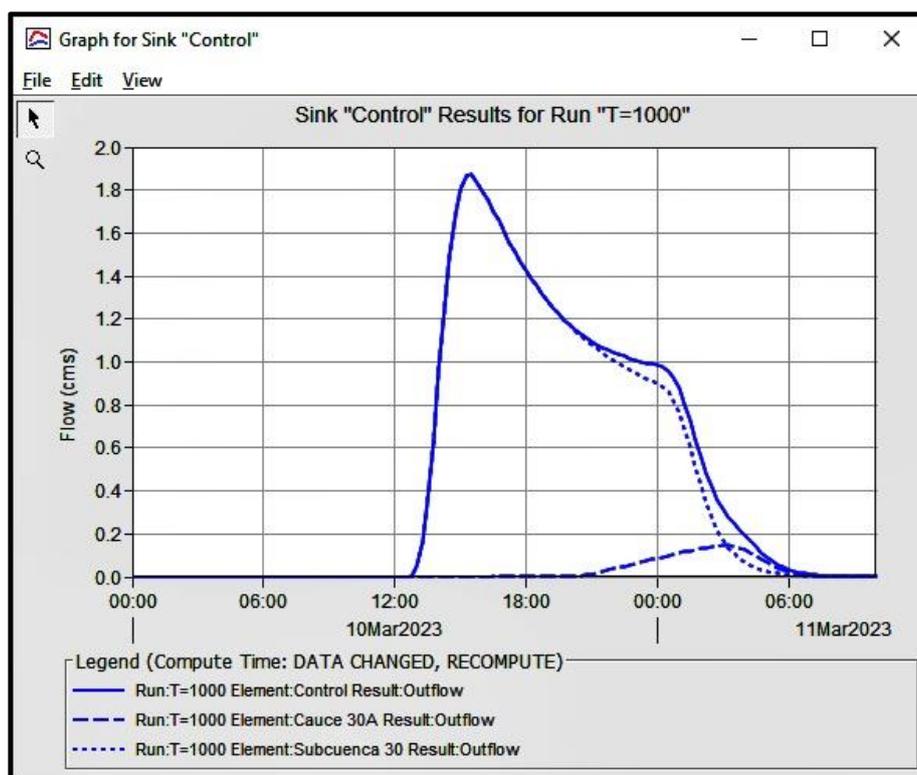
Name: Control1000	
Description:	T=1000
*Start Date (ddMMMYYYY)	10mar.2023
*Start Time (HH:mm)	00:00
*End Date (ddMMMYYYY)	11mar.2023
*End Time (HH:mm)	10:00
Time Interval:	15 Minutes

#### 4.1.3.4. Simulación del Modelo y Resultados

Completado los datos del modelo hidrológico en el HEC-HMS, realizamos la ejecución de la simulación para cada periodo de retorno propuesto, lo que resulto, en la generación de los hidrogramas de avenida, como información de salida.

**Figura 57**

*Hidrograma de avenidas para un periodo de retorno de 1000 años, elaborado en HEC-HMS 4.10.*



#### 4.1.4. Modelamiento Hidráulico

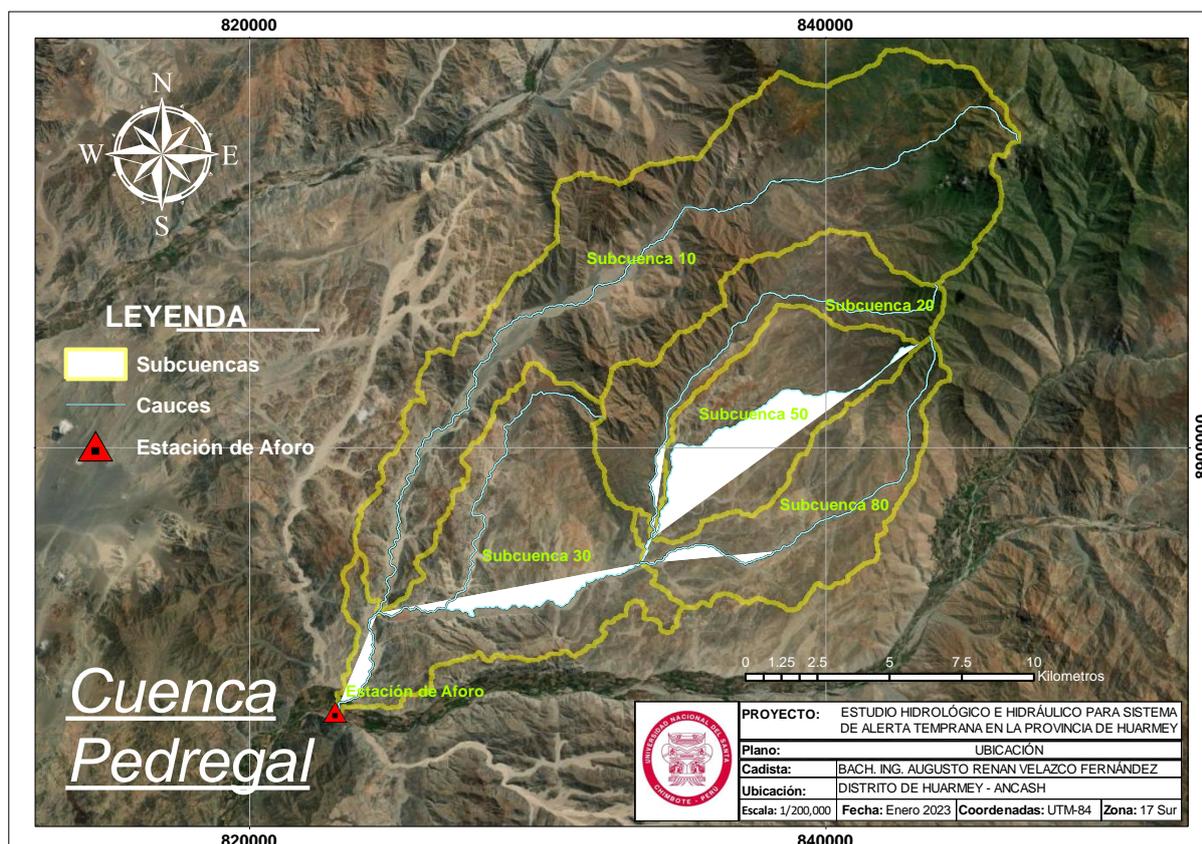
##### 4.1.4.1. Tramo en Estudio

El siguiente paso al modelamiento hidrológico consiste en el modelamiento hidráulico, para lo cual se seleccionó el tramo denominado 30A cuyo criterio para su selección fue que la escorrentía generada por las diferentes subcuencas creadas para la cuenca Pedregal terminaban vertiendo el agua producto de las precipitaciones en esta sección del cauce principal, siendo el canal con mayor exigencia hidráulica de toda la red, cuya longitud aproximada es de 5 kilómetros, empezando a un nivel de 163.00 m.s.n.m. (donde termina el cauce de la subcuenca

10) y finalizando su recorrido en la intersección con el río Huarney a un nivel de 115.00 m.s.n.m., donde se colocó la Estación de Aforo para obtener el hidrograma de la cuenca (Ver Figura 58).

### Figura 58

*Subcuencas y cauces de la Cuenca Pedregal obtenido en el HEC-HMS.*

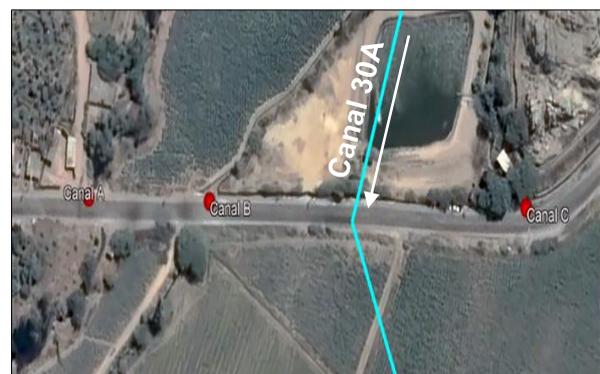
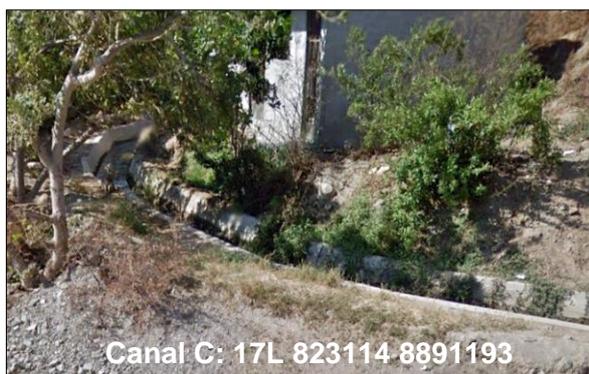


El tramo en estudio consiste en el recorrido natural de la escorrentía hasta su salida en el río Huarney, la cual atraviesa el Pueblo Viejo de Tayca, donde se accede vía terrestre por la carretera Huarney (Nevera CV200) a 15 minutos aproximadamente del distrito de Huarney, donde existen extensas áreas de terrenos agrícolas.

Cerca de la intersección del tramo en estudio y la carretera de acceso, se encontró 3 canales artificiales que evacuan el agua de lluvia a terrenos agrícolas de la zona para su aprovechamiento, cuya ubicación es a 80 y 140 m al norte y 82 m al sur (Ver Figura 59), las que fueron obviadas para estimar el comportamiento del flujo ante el colapso de estos canales.

**Figura 59**

*Sistema de canales en la Cuenca Pedregal.*



El tramo seleccionado cuenta con un ancho promedio de 2.70 m y una profundidad promedio de 0.245 m, con forma cóncava o de arco abierto.

**Figura 60**

*Ubicación del punto de la Estación de Aforo y toma de datos.*



## Figura 61

*Medición de la sección del tramo natural seleccionado.*



La información obtenida permitió analizar el tramo modelado y obtener los puntos de ocurrencia de inundaciones o desbordes.

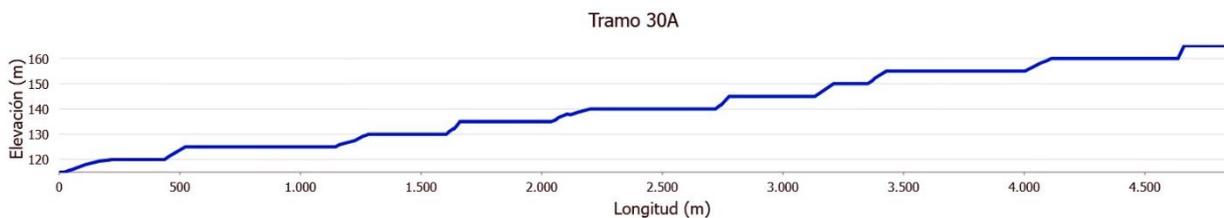
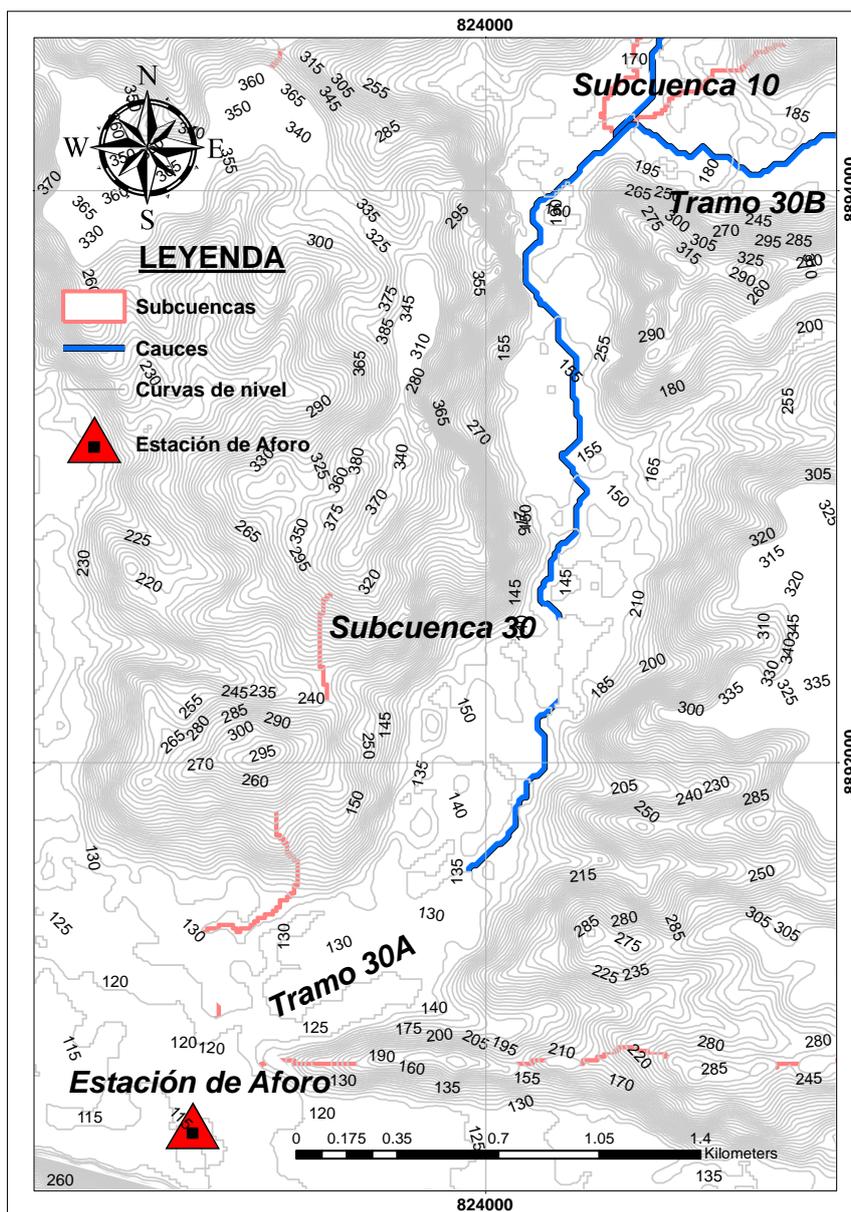
### **4.1.4.2. Información Topográfica**

La topografía del lugar se trabajó y gestionó en el programa ArcGIS Pro en el sistema de proyección UTM 17S y Datum WSG1984, con la información proporcionada por el Google Earth Pro, la cual fue contrastada con las imágenes satelitales del Modelo Digital de Elevación y verificado en campo mediante una inspección física del lugar con equipo de posicionamiento

global GPS, que nos ayudó a trazar las curvas de nivel de la cuenca Pedregal, así como el trazo del cauce natural y niveles del tramo 30A, desde su nacimiento hasta su desembocadura en la Estación de Aforo, como se detalla en la Figura 62.

**Figura 62**

*Perfil horizontal y vertical del Tramo 30A, elaborado en HEC-HMS 4.10.*



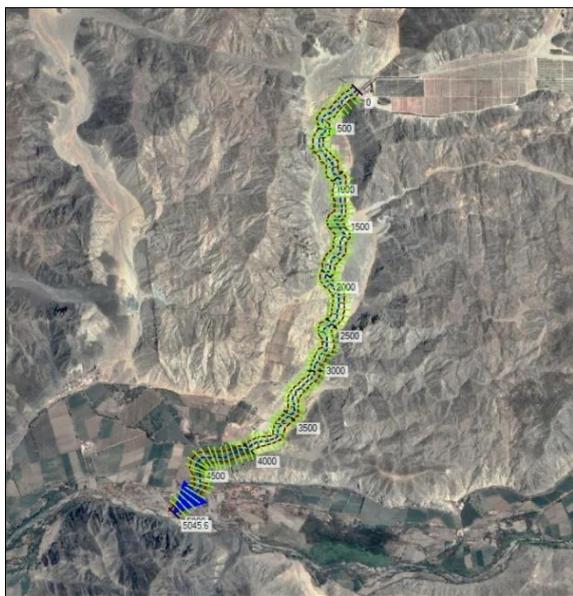
El tramo 30A estudiado para la modelación hidráulica presenta una pendiente casi uniforme en todo su emplazamiento del 1.48%

#### **4.1.4.3. Procesamiento de las Secciones Geométricas**

Con la herramienta Ras Mapper del HEC-RAS, se realizó la importación del archivo shapefile del tramo 30A generado en el ArcGIS Pro, junto con la información topográfica y las imágenes satelitales del Modelo Digital de Elevación, cuya información en conjunto permitió realizar el trazo del tramo estudiado, las delimitaciones transversales y la sección inundable, consiguiendo secciones transversales de 200 m espaciadas en todo el eje principal cada 50 m (Ver Figura 63).

#### **Figura 63**

*Perfil horizontal del tramo 30A (izquierda) y vista ampliada de la cabeza de flecha de dirección aguas abajo (derecha), elaborado en HEC-RAS 6.4.1.*



#### **4.1.4.4. Coeficiente de Rugosidad de Manning**

Para estimar el coeficiente de rugosidad se usó el Método de Cowan (Tabla 8), cuya metodología se basa en las características físicas del cauce del río; para lo cual el tramo 30A en estudio se dividió en 3 partes, la primera consistió desde el km 0+000 aguas arriba hasta el km 4+000, este espacio se encuentra conformado en su mayoría por gravas finas, luego desde

el km 4+000 hasta el km 4+650, nos encontramos con zonas de terrenos agrícolas y finalmente la tercera parte del km 4+650 hasta el km 5+045 aguas abajo, nos topamos con zonas de gravas gruesas y poca vegetación.

**Tabla 31**

*Valores de rugosidad “n” calculados con el Método de Cowan.*

	Del km 0+000 al 4+000	Del km 4+000 al 4+650	Del km 4+650 al 5+045
$n_0$	0.024	0.020	0.028
$n_1$	0.010	0	0.005
$n_2$	0.005	0	0
$n_3$	0	0	0.010
$n_4$	0.005	0.025	0.005
$m_5$	1	1	1
<b>n</b>	<b>0.044</b>	<b>0.045</b>	<b>0.048</b>

#### 4.1.4.5. Coeficiente de Contracción y Expansión

Este coeficiente considera los cambios que existe entre secciones adyacentes a lo largo del canal, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (2016) da una mejor explicación sobre este coeficiente, afirmando que los cambios entre secciones generan contracciones o expansiones en el fluido por ende perdidas de energía; además, presenta un rango de valores para estas variaciones en la sección, asignado un valor 0.1 y 0.3 para cambios insignificantes y 0.3 y 0.5 para cambios considerables. De esta forma, los coeficientes de contracción y dilatación se configuran analizando las posibles diferencias entre secciones contiguas y asignando los valores correspondientes; el programa HEC-RAS, en su opción Cross Section para definir las secciones del cauce, de forma predeterminada incluyo estos coeficientes como una variación insignificante de secciones contiguas, las cuales fueron usadas como tal para el tramo 30A obviando cambios abruptos ya que no se cuenta con puentes o estructuras que se comporten de tal manera.

#### 4.1.4.6. Condiciones de Flujo

La Cuenca Pedregal presente un cauce natural en flujo no permanente debido a que los caudales varían en función del tiempo o estación. Para nuestro modelo se adoptó las máximas

avenidas de los diferentes periodos de retorno, analizados para un comportamiento en flujo permanente en todo el tramo estudiado, ya que nuestro mayor interés recayó en el comportamiento del canal natural ante esta situación crítica. El flujo en la modelación se analizó inicialmente en un estado crítico por la pendiente elevada de 0.983%

#### 4.1.4.7. Simulación de Escenarios

En este estudio se simuló los escenarios para los siguientes periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, de los cuales se empleó el máximo caudal obtenido en la modelación hidrológica. Es oportuno mencionar que se empleó periodos de retorno altos debido a la gran capacidad de infiltración con la que cuenta el área de estudio, haciendo difícil la generación de escorrentías en los periodos de retorno bajo.

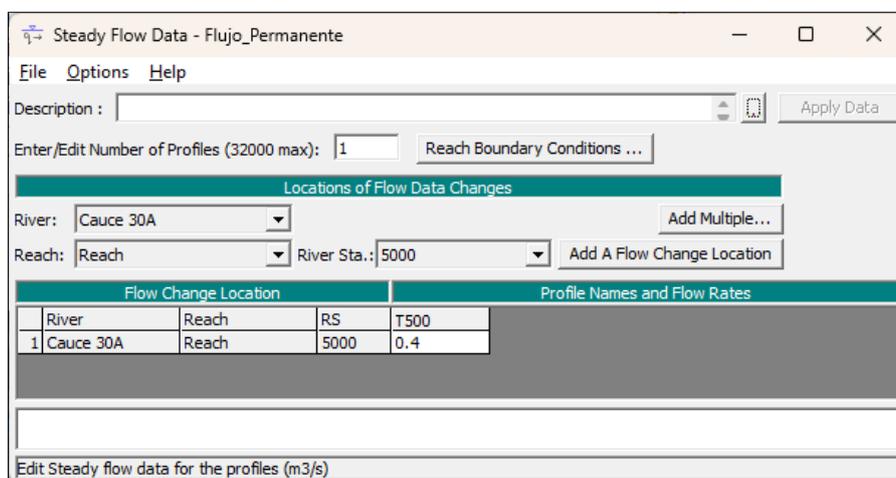
**Tabla 32**

*Caudal Máximo según Periodo de Retorno.*

Periodo de Retorno	Caudal Máximo m <sup>3</sup> /s
T = 2 años	0
T = 5 años	0
T = 10 años	0
T = 25 años	0
T = 50 años	0
T = 100 años	0
T = 200 años	0
T = 500 años	0.4
T = 1000 años	1.9

**Figura 64**

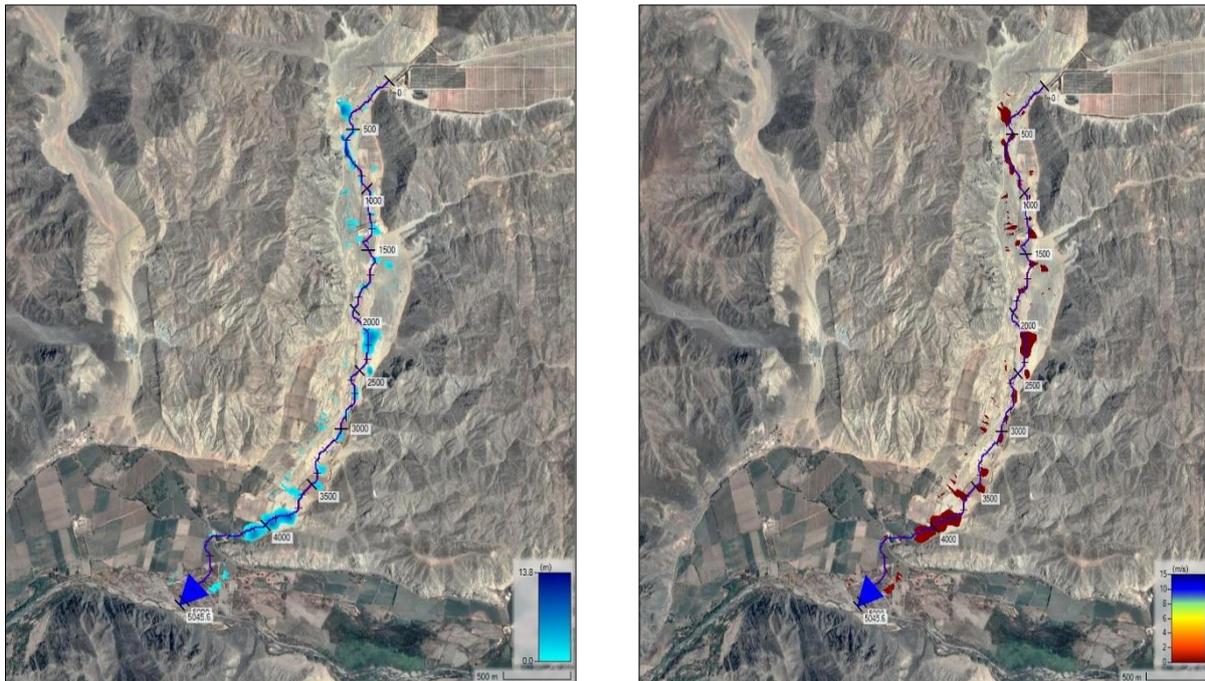
*Configuración del periodo de retorno de 500 años.*



*FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.*

**Figura 65**

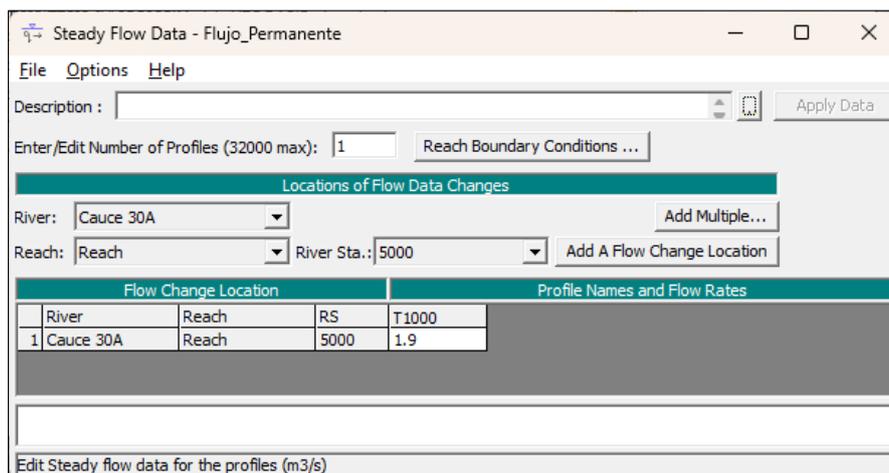
*Simulación de profundidad (izquierda) y velocidad (derecha) para un periodo de retorno de 500 años, elaborado en HEC-RAS 6.4.1.*



En la Figura 65 y 67 se presenta la simulación hidráulica del cauce natural 30A para periodos de retorno de 500 y 1000 años respectivamente.

**Figura 66:**

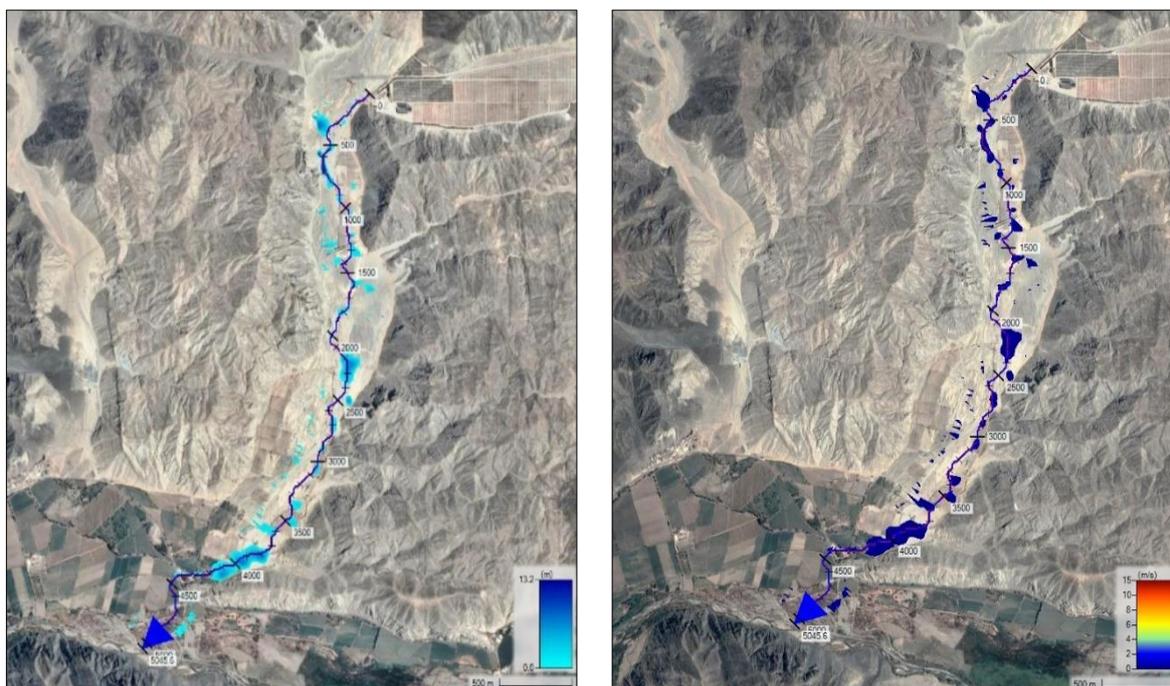
*Configuración del periodo de retorno de 1000 años.*



*FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.*

**Figura 67**

*Simulación de profundidad (izquierda) y velocidad (derecha) para un periodo de retorno de 1000 años.*



*FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.*

#### **4.1.5. Sistema de Alerta Temprana SAT-COM**

Con los resultados del modelamiento hidrológico e hidráulico, se planteó un Sistema de Alerta Temprana (SAT) frente a inundaciones en la cuenca pedregal. El sistema propuesto sigue la metodología de la *Guía Técnica para la Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SAT-COM)* del Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú, por su sencillez y practica aplicación la cual no requiere de personal especializado en su operación, adaptándose fácilmente a la cuenca de estudio. Se realizó los siguientes pasos para la implementación.

##### **4.1.5.1. Conocimiento del Riesgo**

Para determinar el nivel de riesgo (Ver Figura 23), se realizó la identificación de los peligros y vulnerabilidades existentes en la zona de estudio, que se detallan a continuación:

#### ***4.1.5.1.1. Determinación del Peligro***

Se identificó zonas propensas al peligro de forma recurrente producto de deslizamientos o inundaciones.

#### ***4.1.5.1.2. Análisis de Vulnerabilidad***

Se recabo información física del lugar, así como ambiental, social y económica, con el propósito de evaluar los factores de vulnerabilidad tales como: fragilidad, exposición y resiliencia

##### **- Exposición**

Dentro del área de extensión de la cuenca Pedregal se encuentra el Centro Poblado de Tayca, cuyo medio principal de vida de los pobladores es la agricultura

#### **Figura 68**

*Centro Poblado de Tayca.*



*FUENTE: Toma fotográfica en la visita realizada.*

#### **Figura 69**

*Áreas agrícolas del Centro Poblado de Tayca.*



*FUENTE: Toma fotográfica en la visita realizada.*

- **Fragilidad**

Cerca al cauce natural (tramo 30A) considerado para el estudio se identificó viviendas construidas de adobe y esteras.

**Figura 70**

*Viviendas construidas de adobe y esteras, contiguas al cauce natural de la cuenca Pedregal.*



*FUENTE: Toma fotográfica en la visita realizada.*

- **Resiliencia**

La población de la zona no cuenta con planes de emergencia ante posibles escenarios de desbordes, siendo necesario la capacitación sobre la aplicación del SAT-COM.

**Figura 71**

*Mapa de zonas inundables, elaborado en HEC-RAS 6.4.1.*

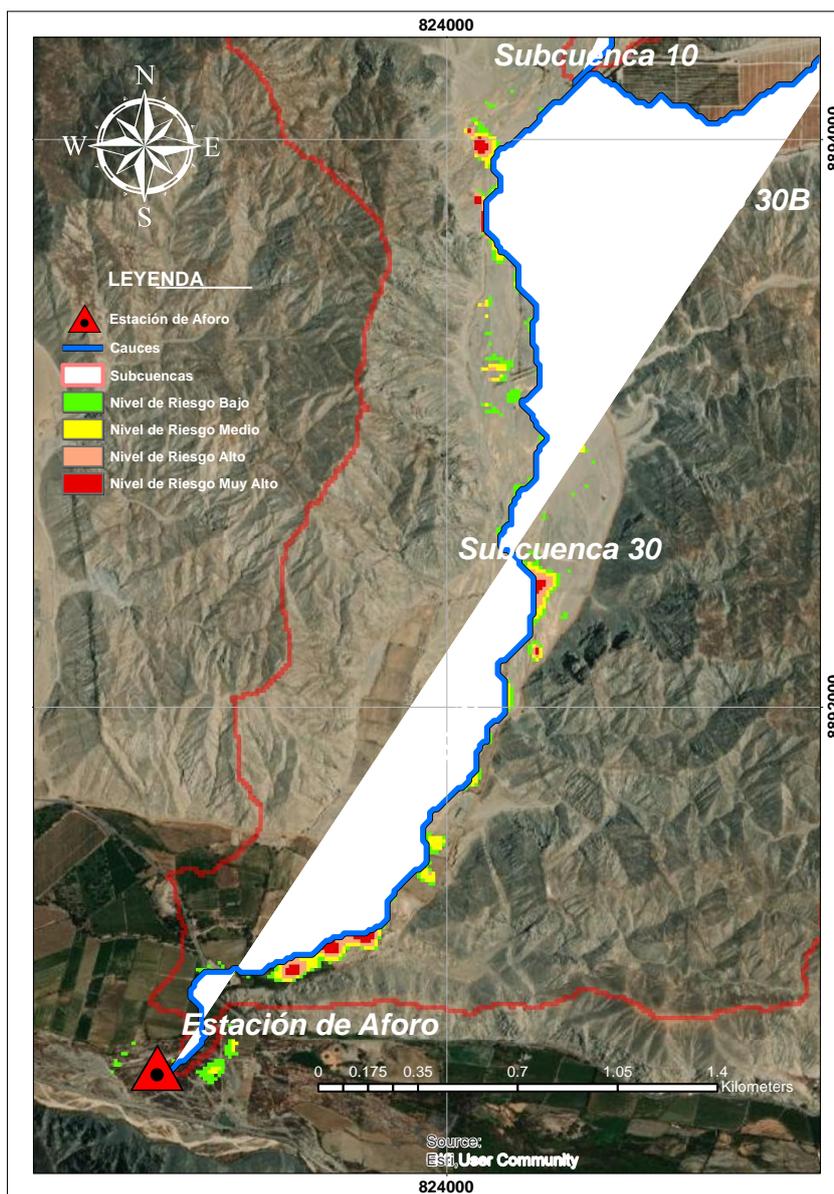


### 4.1.5.1.3. Estimación del Riesgo

Producto de la estimación y análisis del peligro y la vulnerabilidad, se obtuvo los niveles de riesgo sectorizado en la zona de estudio.

**Figura 72**

Mapa de Riesgo.



FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.

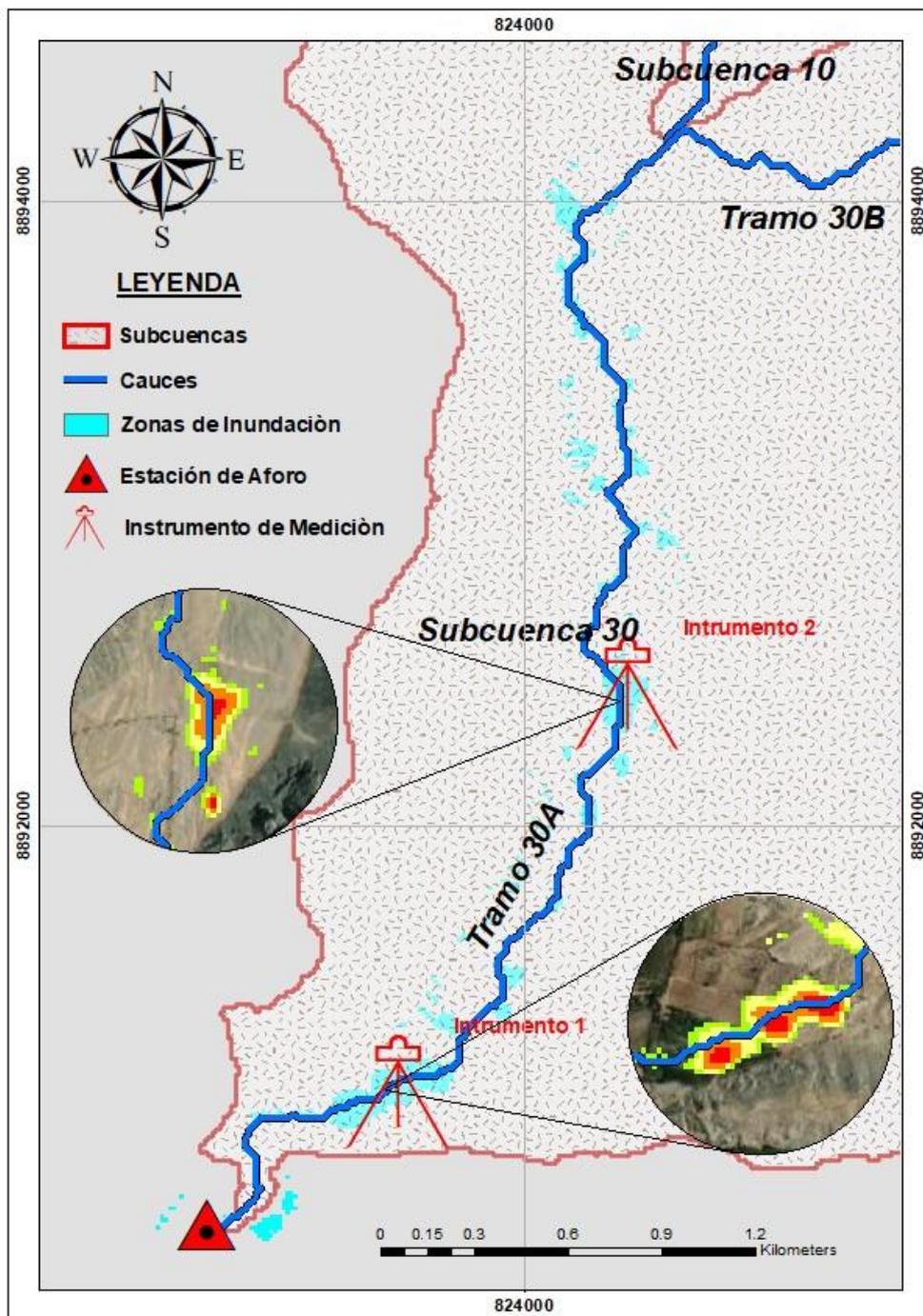
### 4.1.5.2. Monitoreo y Seguimiento

Siguiendo la metodología de la *Guía Técnica para la Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario* la propuesta consiste en la designación de personal que haga de

vigía del seguimiento y monitoreo del peligro, lo cual se deberá complementar con instrumentos de medición ubicados en zonas estratégicas según el mapa de la Figura 73; el personal asignado será capacitado en el manejo de los niveles y/o umbrales de los instrumentos de medición, quienes emitirán la alerta o alarma en el momento correcto.

**Figura 73**

*Mapa de Ubicación de los Instrumentos de Medición.*



*FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.*

#### **4.1.5.3. Difusión y Comunicación de la Alerta**

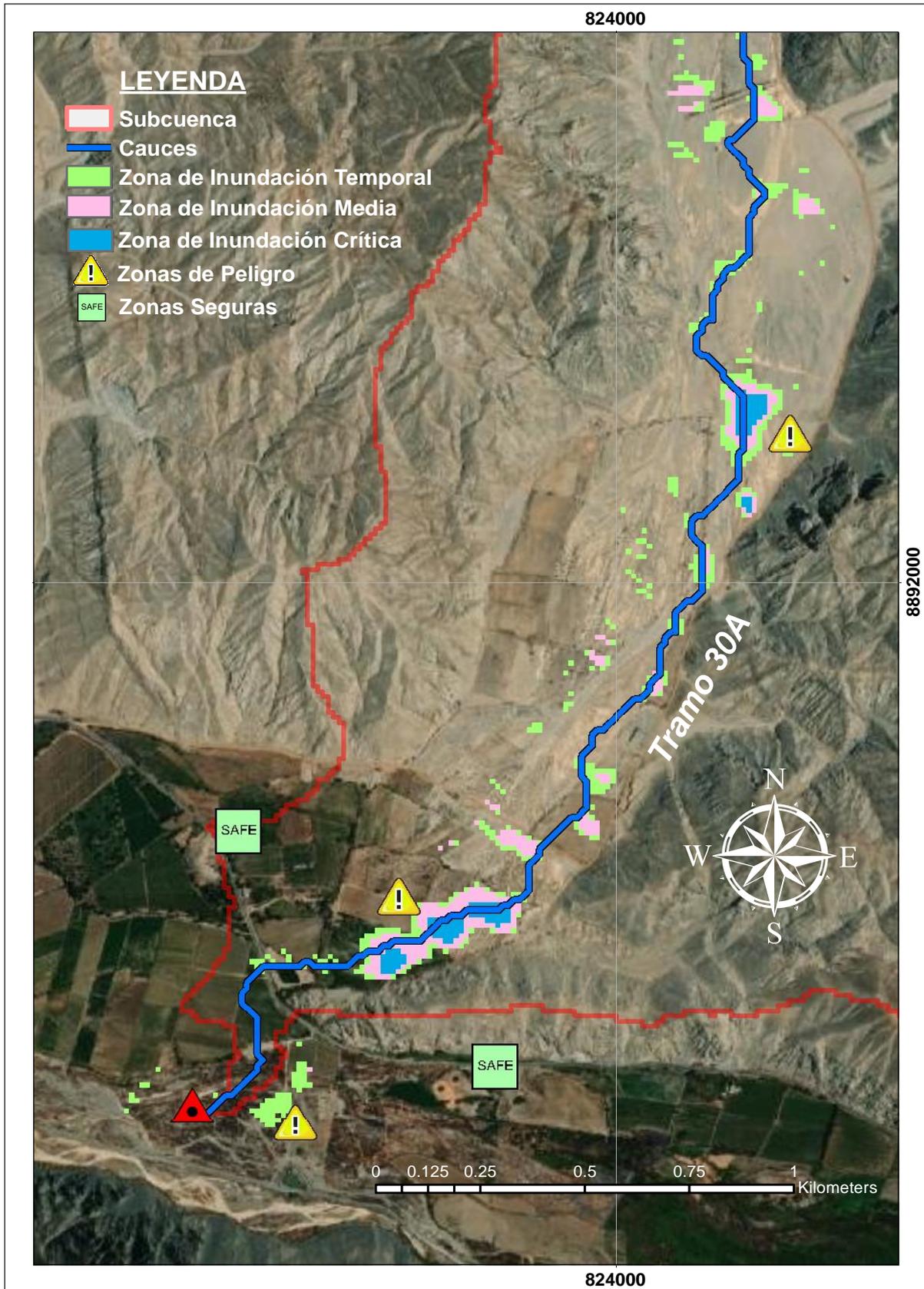
Si los vigías o personal que haga de sus veces determinan que los valores hidrológicos se encuentran próximos a los umbrales establecidos, deberán comunicar la situación de emergencia a los encargados de informar la alerta o alarma, quienes mediante el empleo de los medios de transmisión (megáfonos, sirena, campana de iglesia o silbatos) transmitirán la información al resto de la población.

#### **4.1.5.4. Capacidad de Respuesta**

La población al tomar conocimiento del mensaje de alerta o alarma, seguirá las rutas propuestas en el mapa de evacuación (ver Figura 74), donde se fijó las zonas seguras de evacuación, que fueron ubicadas en zonas estratégicas para el fácil acceso de todos los pobladores.

**Figura 74**

*Mapa de Evacuación.*



*FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.*

## 4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1. Estudio Hidrológico de la Cuenca Pedregal

**Tabla 33**

*Relación de parámetros morfométricos y fisiográficos.*

<b>PARÁMETROS DE FORMA</b>		
Área	km <sup>2</sup>	310.40
Perímetro	km	89.20
Longitud del cauce principal	km	43.01
Longitud axial	km	30.95
Ancho de la cuenca	km	7.25
Desnivel	m	3,332.00
Índice de compacidad		1.42
Factor de forma		0.32
Índice de circularidad		0.49
Longitud mayor del rectángulo equivalente		35.97
Longitud menor del rectángulo equivalente		8.63
Relación de elongación		0.46
<b>PARÁMETROS DE RELIEVE</b>		
Cota máxima	m.s.n.m.	3,447.00
Cota mínima	m.s.n.m.	115.00
Pendiente promedio de la cuenca	%	40.48
Pendiente promedio de la Red Hídrica	%	12.68
Altitud media	m.s.n.m.	875.00
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	409.00
<b>PARÁMETROS DE LA RED HÍDRICA</b>		
Orden de la Red Hídrica		5
Razón de bifurcación		3.49
Longitud de la Red Hídrica	km	385.38
Densidad de drenaje		1.24
Pendiente del cauce principal	%	9.01
<b>CENTROIDE (WGS 1984 UTM ZONE 17S)</b>		
Centroide X	m	835,128.16
Centroide Y	m	8,902,241.78
Centroide Z	m.s.n.m.	662.00

La Quebrada Pedregal es 1 de las 9 subcuencas que conforman la Cuenca Huarমেয় que tiene un área total de 2,233.00 km<sup>2</sup>, cuya área representa el 14%, siendo la número 4 en el orden de subcuencas de mayor tamaño.

De nuestros datos obtenidos de la Cuenca Pedregal, podemos notar que esta cuenta con una extensión de 310.40 km<sup>2</sup> y se encuentra circunscrita por un polígono cuya longitud perimétrica es de 89.20 km y su centroide se encuentra ubicado en las coordenadas UTM 17L 835,128.16 8,902,241.78; asimismo presenta un desnivel desde su parte más baja (115.00 m.s.n.m.) hasta la más alta (3,447.00) en la zona norandina de 3,332.00 m, la cual conforma un cauce, considerado principal, de 43.01 km de recorrido y una pendiente del 9.01%, el cual recoge todas las aguas de las diferentes subcuencas generadas adrede para el análisis en el HEC-HMS, y las lleva al punto de aforo para depositarlas en el Río Huarমেয়.

Toda la red hídrica de la cuenca, se encuentra conformada por 385.38 km de cauces, que de acuerdo a la metodología del número de Strahler (1957) la cataloga en una jerarquía alta de orden 5 con una relación de bifurcación de 3.49, que nos pone en manifiesto la rapidez con que nuestra cuenca desaloja el agua que recibe por estar muy bien ramificada, asimismo, esta información se corrobora con su densidad de drenaje de 1.24 que nos hace conocer que la cuenca tiene una eficiencia media, es resistente a la erosión y presenta mucha permeabilidad, ósea un nivel medio de infiltración y escorrentía.

Según su factor de forma (0.32) y compacidad (1.42) sabemos que nuestra cuenca presenta una forma ligeramente alargada y de oval-redonda a oval-oblonga respectivamente; del coeficiente de circularidad (0.49) sabemos que nuestra cuenca tiende a la forma cuadrangular.

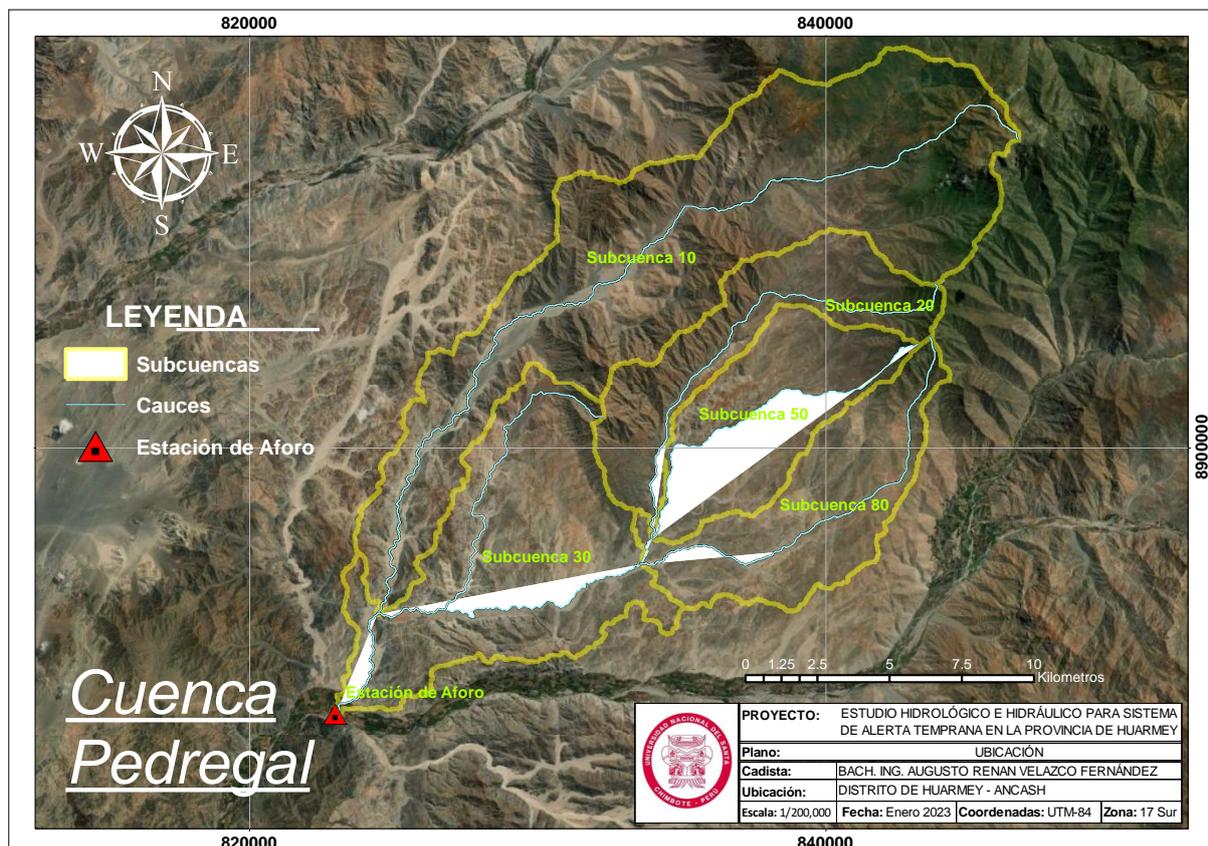
Asimismo, la superficie de la cuenca presenta una pendiente media de 40.48% y su ramificación en promedio es del 12.68%; además según la curva hipsométrica tenemos una altitud media de 875 m.s.n.m. diferente a los 662 m.s.n.m. obtenidos desde el Modelo Digital

de Elevación en el programa ArcGIS PRO y de acuerdo a la forma de su gráfica es una cuenca sedimentaria en su fase de vejez.

Los parámetros indicados nos permitieron tener una mejor noción del comportamiento de la cuenca y así saber cómo abordarla en su modelamiento hidrológico; asimismo, teniendo en consideración que el modelamiento es una representación simplificada (lo más exacto posible) de la realidad, se tomó la decisión de subdividir la cuenca en 5 partes de menor tamaño, con la finalidad de tener una mejor distribución de las cualidades del terreno, ya que esta no es uniforme; además, con el Modelo Digital de Elevación se obtuvo la ramificación principal de cada subcuenca y como estas recorren la cuenca desde su punto más alto, donde cortan el perímetro (línea divisora de aguas o divortium aquarum), atravesando e inundando extensiones de terreno agrícola del Centro Poblado de Tayca, donde se accede vía terrestre por la carretera Huarney (Nevera CV200), hasta el punto de aforo en la zona más baja.

### Figura 75

*Delimitación de subcuencas y cauces de la Cuenca Pedregal realizado en el programa HEC-HMS 4.10.*



De la misma manera que las imágenes satelitales del Modelo Digital de Elevación permitieron obtener la ramificación principal de la cuenca, también permitió delimitar las 5 subcuencas clasificadas como pequeñas por Campos, D. (1998), cuyas características físicas se detallan en la Tabla 33.

**Tabla 34**

*Subcuencas definidas en la Cuenca Pedregal.*

Subcuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Cota Mínima (m)	Cota Máxima (m)	Longitud más larga del flujo (km)	Pendiente del Flujo más largo (m/m)	Longitud del Flujo al Centroide (km)	Pendiente del Flujo al Centroide (m/m)	Pendiente de la Cuenca (m/m)
Subbasin-10	130.79	163.00	3,447.30	38.11	0.08618	22.34	0.02412	0.45756
Subbasin-20	35.758	356.17	2,365.92	18.71	0.10746	8.80	0.04718	0.42204
Subbasin-30	67.766	115.00	1,180.67	21.42	0.04971	10.65	0.01258	0.30734
Subbasin-50	35.997	356.50	2,171.50	14.56	0.12455	7.75	0.05087	0.35591
Subbasin-80	40.061	327.00	2,215.25	17.17	0.11003	7.90	0.03366	0.37923

De tal evaluación, la subcuenca con menor tamaño es la Subcuenca-20, ubicada al este de la cuenca con una extensión de 35.758 m<sup>3</sup>, sin embargo, no es la que cuenca con el cauce de menor longitud máxima, siendo esta la Subcuenca-80, cuya longitud máxima de su cauce es de 17.17 km con una pendiente del 11.003%; en el caso opuesto, tenemos la Subcuenca-10 con una extensión de 130.79 km<sup>2</sup> la cual también cuenta con el cauce más largo de todas las subcuencas, con una longitud máxima de 38.11 km y pendiente del 8.618%. Ahora, poniendo énfasis en la pendiente, podemos notar que la Subcuenca-30 es la que cuenta con menor pendiente en su cauce, siendo esta del 4.971% y la Subcuenca-50 es la que tiene el cauce con mayor pendiente, con un 12.455%. Como podemos notar cada subcuenca tiene sus propias peculiaridades no habiendo correspondencia entre su tamaño, su cauce y su pendiente, siendo estas características independientes las unas con las otras. Asimismo, de las pendientes obtenidas podemos definir que la parte inicial al sur de la cuenca cuenta con un relieve suave, aproximándose a uno accidentado medio, por el norte ya se define claramente como

accidentado medio y al este ya tenemos relieves accidentados por presentar pendientes del 10 hasta el 15%.

Con la información antes obtenida, también hemos conseguido definir nuestros cauces principales, los cuales se les denominó Cauce 30A, 30B y 80, cuyo criterio para su denominación fueron 2, el primero fue definir el número de subcuenca en el que se encuentra, estando el Cauce 30A y 30B dentro de la Subcuenca-30 y el 80 dentro de la Subcuenca-80; respecto al segundo criterio de asignarle la letra A y B, se basó en el cambio de dirección que presentaba el cauce. Asimismo, se definió este cauce como principal debido a que es el máximo recolector de aguas de lluvia de la cuenca por ende el de mayor exigencia hidráulica, debido a que el Cauce 80 recibe las aguas de las Subcuenca-20, Subcuenca-50 y Subcuenca-80 y el Cauce 30 recibe las aguas de las Subcuenca-10 y Subcuenca-30, además de las aguas del Cauce 80.

### **Tabla 35**

*Cauces definidos para la Cuenca Pedregal.*

Cauce	Longitud (km)	Pendiente (m/m)
Cauce 80	1.21532	0.02386
Cauce 30B	12.01966	0.01373
Cauce 30A	4.88308	0.00983

*FUENTE:* Elaboración propia en el HEC-HMS 4.10.

Con el cauce principal ya definido, se puso énfasis en el Cauce 30A cuya longitud es de 4.88 km con una pendiente de 0.983%, la cual cruza el Centro Poblado de Tayca, y es la que más afectaría ante desbordes del canal natural, pese a contar con una pendiente suave que se traduce en tiempos largos de descarga.

#### **4.2.2. Parámetros HEC HMS**

El parámetro más representativo para el uso del programa fue el Numero de Curva planteado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), de la cual dependen muchos o la

mayoría de los métodos adoptados, cuya obtención se basó en el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del Ministerio de Agricultura determinando que nuestra cuenca se encuentra conformada por 4 zonas bien definidas en la Tabla 35; si bien es cierto la agricultura es el medio principal de vida del Centro Poblado de Tayca, el espacio ocupado por este rubro económico apenas ocupa el 0.1% del espacio de la cuenca y se encuentra en la zona más baja al sur, donde puede aprovechar de mejor manera el agua producto de las precipitaciones.

**Tabla 36**

*Áreas parciales y Numero de Curva de la Cuenca Pedregal.*

Zona	Área Parcial (%)	CN
Agricultura costera y andina	0.1	71
Cardonal	32.9	66
Desierto costero	51.8	81
Matorral arbustivo	15.2	66

*FUENTE:* Elaboración propia en el ArcMap 10.8.

El número de curva se encuentra en función del grupo hidrológico del suelo, para nuestra cuenca se consideró el grupo B, ya que esta se conforma por Leptosoles dístricos y líticos (afloramiento lítico) que la catalogan como un suelo con tasas de infiltración moderada, cuyas texturas son moderadamente finas a gruesas (Villón, 2007). Nuestra área de estudio varía desde un valor mínimo de 66 hasta un valor máximo de 81; sin embargo, las subcuencas no coinciden con las áreas definidas por los números de curva, realizando el recuento de celdas del Modelo Digital de Elevación para obtener valores más acordes a la realidad de cada una.

**Tabla 37**

*Número de Curva en cada subcuenca.*

N°	Subcuenca	CN Promedio
1	Subbasin-10	70.835226
2	Subbasin-20	70.504896
3	Subbasin-30	80.797915
4	Subbasin-50	73.540693
5	Subbasin-80	74.617864

*FUENTE:* Elaboración propia en el ArcMap 10.8.

En la reevaluación final se obtuvo valores distintos a los iniciales, ya que nuestro nuevo valor mínimo es 70.504896 y el nuevo valor máximo es 80.797915, los cuales fueron usado para el modelamiento hidrológico.

Los valores de numero de curva nos facilitaron obtener las pérdidas iniciales, en mm (Ver Tabla 38), las cuales pudimos notar que son muy altas a comparación de las precipitaciones calculadas para algunos periodos de retorno con las distribuciones teóricas de probabilidad, lo cual nos da un indicativo de que en algunos casos el suelo termina infiltrando toda la precipitación antes de siquiera poder generarse escorrentía en la cuenca.

**Tabla 38**

*Retención Potencial y Abstracciones Iniciales en la Subcuencas.*

Subcuenca	CN Diseño	Retención Potencial (S)	Abstracción Inicial (I <sub>a</sub> )
Subbasin-10	70.835226	104.5786541	20.92
Subbasin-20	70.504896	106.2586691	21.25
Subbasin-30	80.797915	60.36454765	12.07
Subbasin-50	73.540693	91.38700907	18.28
Subbasin-80	74.617864	86.40105999	17.28

En nuestra cuenca presentamos valores de infiltración que van desde 12.07 mm en la Subcuenca-30, la cual es la más baja, donde se ubica nuestro cauce principal de estudio y la estación de aforo hasta valores de 21.25 mm en la subcuenca-20 que presenta el menor valor de Curva Número; con esto podemos deducir que el valor de Numero de Curva es inversamente proporcional a las pérdidas iniciales por infiltración, a mayor número de curva menor capacidad de infiltración.

Por otro lado, el número de curva permitió determinar el parámetro de Tiempo de Concentración con el método del SCS, con la que se tuvo mayor incidencia, ya que la formulación considera este parámetro, el cual depende de las características físicas del suelo, reflejando con mayor exactitud el comportamiento de la cuenca en el cálculo teórico; no se obvio usar otras metodologías de frecuente aplicación en el cálculo del tiempo de concentración

con la finalidad de comparar los resultados y la tendencia de los valores, notando que la fórmula del SCS da resultados intermedios a los demás, cuyos datos se encuentran entre 142.169 minutos en la Subcuenca-50, cuya área es semejante a la Subcuenca-20, pero al ser más achatada su cauce principal es de menor recorrido y 291.710 minutos en la Subcuenca-10, esta última es la subcuenca más larga de todas, por ende su valor es el mayor de todos relacionándose directamente con su forma.

**Tabla 39**

*Diferentes Tiempos de Concentración ( $T_c$ ) usados en la Cuenca Pedregal.*

Método	Subcuenca 10	Subcuenca 20	Subcuenca 30	Subcuenca 50	Subcuenca 80
Témez	456.161	254.795	326.907	204.773	237.566
SCS	291.710	173.513	167.829	142.169	152.370
California	168.770	89.658	133.870	69.836	83.139
Kirpich	168.572	89.553	133.717	69.755	83.042

Con estos valores mediante la metodología del SCS se obtuvo los tiempos de retardo, los cuales se obtienen del producto del tiempo de concentración por un factor 0.6.

Finalmente, los últimos parámetros requeridos por el HEC-HMS son los valores de “X” y “K”, empleados en la metodología de Muskingum para el tránsito de canales, cuya valor de “X” se obtuvo siguiendo las recomendaciones del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, sugerido como un valor más acorde a la forma en cuña que presentan los ríos del Perú; por otra lado el valor de “K” se obtuvo con la metodología de Témez para el cálculo del tiempo de transito de la onda de avenida a través del tramo, cuyo valor para el Cauce 30A es de 0.98333 horas (58.9998 minutos) y para el Cauce 30B es de 1.86667 (112.0002 minutos), cuyo valor en conjunto es de 2.85 horas (171 minutos) casi idéntico a las 2.79715 horas calculado para la Subcuenca-30 donde se trazó este cauce.

**Tabla 40**

*Parámetros para la metodología de Muskingum”.*

Tramos	K (horas)	X
Cauce 30A	0.98333	0.20
Cauce 30B	1.86667	0.20
Cauce 80	0.30000	0.20

### 4.2.3. Sistema de Información Hidrometeorológica

**Tabla 41**

*Precipitación Máxima de 24 horas (mm) para el periodo 1981 - 2016.*

Año	PPmáx24hr (mm)			
	E. Huayan	E. Punta Culebras	E. Quian	E. San Diego
1981	14.37	0.03	3.01	1.39
1982	14.04	0.01	0.91	0.36
1983	24.09	0.01	3.96	0.41
1984	9.98	0.05	1.20	0.40
1985	11.46	0.75	1.00	0.38
1986	8.19	0.02	1.39	3.26
1987	6.52	0.20	2.01	0.44
1988	8.48	0.11	0.80	0.69
1989	15.12	0.13	1.76	2.07
1990	7.28	0.04	0.74	1.17
1991	10.30	0.03	2.34	0.46
1992	9.20	0.08	1.28	0.54
1993	10.88	1.57	1.98	0.89
1994	8.68	3.27	2.27	1.78
1995	10.23	0.01	1.63	0.22
1996	15.09	0.06	1.84	0.48
1997	10.55	0.11	1.92	0.65
1998	28.27	0.49	2.82	9.21
1999	20.05	4.60	2.68	4.32
2000	15.42	2.25	2.67	0.59
2001	10.23	0.31	1.64	0.53
2002	28.10	0.21	4.10	0.25
2003	7.59	0.01	1.21	5.57
2004	6.50	0.10	1.21	0.49
2005	8.81	0.04	1.80	0.66
2006	13.84	0.10	1.73	0.31
2007	8.18	0.02	2.02	1.37
2008	15.72	0.14	2.31	0.37
2009	19.66	5.03	5.10	3.61
2010	7.31	0.07	1.90	1.41
2011	4.78	1.33	1.72	0.46
2012	8.41	0.16	2.15	2.14
2013	8.79	0.18	2.18	0.21
2014	8.95	0.16	1.29	0.48
2015	9.20	0.11	1.30	1.16
2016	8.14	0.03	0.82	0.26

*FUENTE:* Elaboración propia con la información PISCO.

La Tabla 41 presenta la información de precipitación máxima de 24 horas para las 4 estaciones cuya área de influencia abarca toda nuestra cuenca de estudio, las cuales se obtuvieron del producto grillado PISCO, a causa de la falta de información de registros que existe en nuestras estaciones; asimismo, la información fue procesada mediante la metodología del Polígono de Thiessen cuyo resultado es la precipitación promedio en la cuenca en base al área de influencia que cada estación posee (Ver Tabla 42).

**Tabla 42**

*Precipitación Promedio Máxima de 24 horas.*

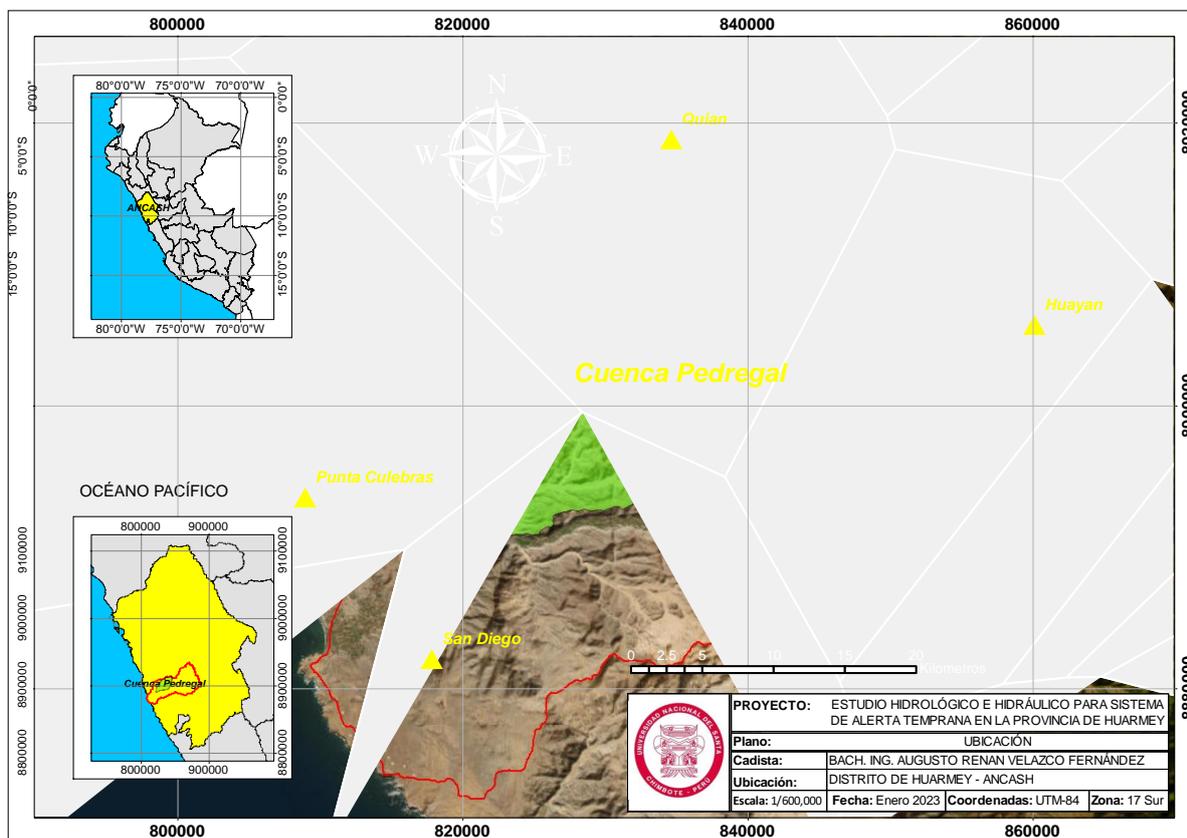
<b>Año</b>	<b>PP<sub>máx24hr</sub></b>	<b>Año</b>	<b>PP<sub>máx24hr</sub></b>
1981	3.39	1999	4.36
1982	1.72	2000	3.16
1983	4.54	2001	1.99
1984	1.63	2002	4.90
1985	1.62	2003	2.52
1986	2.22	2004	1.40
1987	1.95	2005	2.01
1988	1.31	2006	2.25
1989	2.73	2007	2.26
1990	1.27	2008	2.80
1991	2.44	2009	5.85
1992	1.65	2010	2.12
1993	2.39	2011	1.67
1994	2.68	2012	2.53
1995	1.90	2013	2.18
1996	2.46	2014	1.64
1997	2.22	2015	1.80
1998	5.90	2016	1.21

Esta información al seguir la metodología de Thiessen los valores se vieron seriamente afectados por las áreas de influencia, de la siguiente manera, la Estación Huayan cuenta con la precipitación máxima más alta (28.27 mm) de todas, sin embargo, este valor se ve afectado por la poca influencia que tiene dentro de la cuenca (7.27%), el caso opuesto es con la Estación Quian cuya área de influencia dentro de la cuenca es la más alta (68.29%), pero su precipitación

máxima es la segunda más baja (5.10 mm), de estos valores el resultado final fue una precipitación promedio cuyo valor mínimo es de 1.21 mm y valor máximo de 5.90.

**Figura 76**

*Áreas de influencia de las Estaciones pluviométricas en la Cuenca Pedregal.*

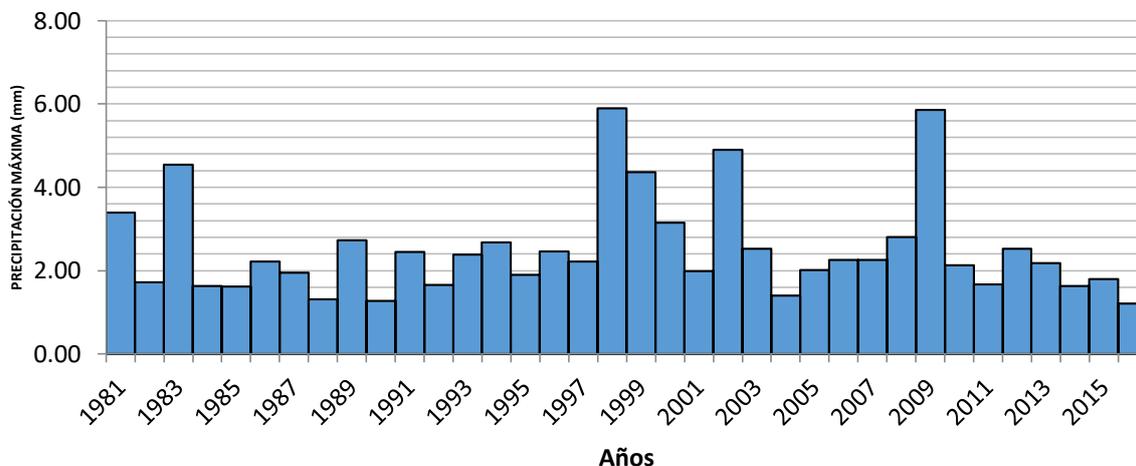


*FUENTE: Elaboración propia en el ArcMap 10.8.*

Estos valores de precipitación promedio tuvieron que ser sometidos a la prueba de datos dudosos cuyos umbrales límites de 0.79 y 6.71 mm corroboraron que nuestros datos eran correctos y se encontraban dentro del rango, llegando a la conclusión que nuestra precipitación más alta ocurre en el año 1998.

**Figura 77**

*Histograma de registro histórico.*



Con estos datos filtrados se obtuvo las distribuciones de probabilidad teórica para 8 funciones distintas, todas estas resultaron menor al  $\Delta$  tabular, por ende, son aplicables a nuestros datos sin problemas, pero adoptando el criterio de Kolmogorov - Smirnov solo nos quedamos con la que ofrece el menor valor.

**Tabla 43**

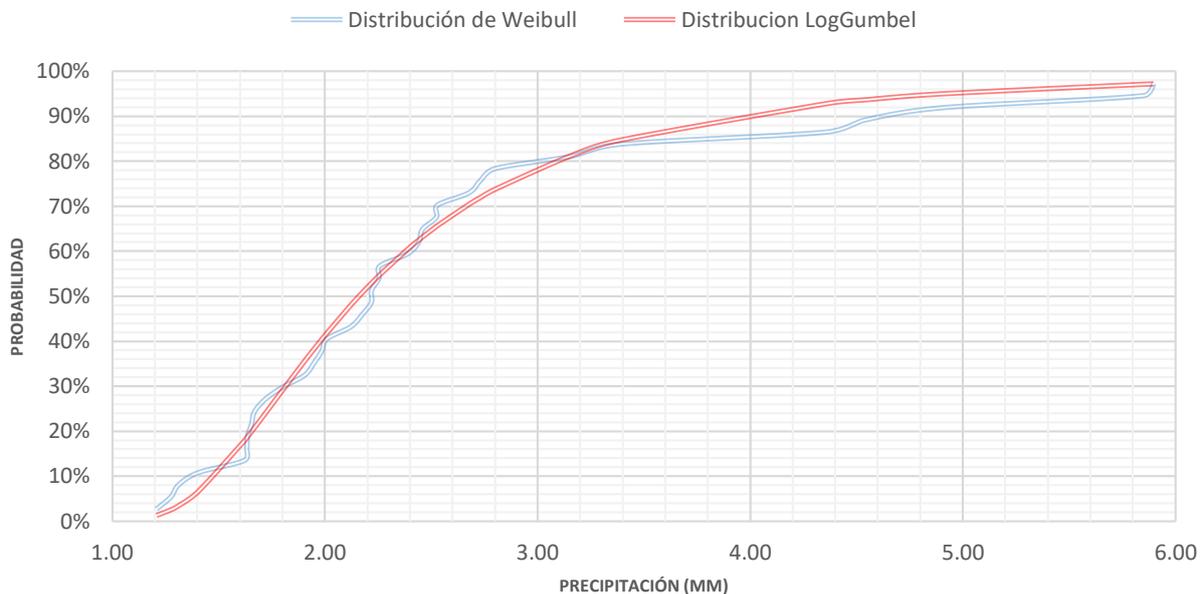
*$\Delta$  teórico para diferentes distribuciones de probabilidad teórica.*

Distribución	$\Delta$ teórico	$\Delta$ tabular	Se ajusta
Normal	0.1989	0.2267	Si
Gamma 2 parámetros	0.1437	0.2267	Si
Gumbel	0.1285	0.2267	Si
Log Normal 2 parámetros	0.1132	0.2267	Si
Gamma 3 parámetros	0.1013	0.2267	Si
Log Normal 3 parámetros	0.0726	0.2267	Si
Log Pearson tipo III	0.0666	0.2267	Si
Log Gumbel	0.0630	0.2267	Si

El menor valor (0.0630) se encuentra en la distribución teórica de Log Gumbel, la cual se ajustará de mejor manera a la Distribución de Frecuencias de Weibull a comparación del resto.

**Figura 78**

*Comparación entre la Distribución Log Gumbel y de Frecuencias de Weibull.*



Los datos resultantes se afectaron por un factor de corrección de 1.13, debido a los errores generados durante el número de observaciones realizadas o toma de datos diarios, este valor de corrección algunos autores lo realizan antes en la información de precipitación máxima de 24 horas, en nuestro caso, se realizó después de aplicar la distribución de probabilidad.

**Tabla 44**

*Precipitación Máxima corregida (mm) para diferentes periodos de retorno.*

T (años)	Distribución Log Gumbel	Distribución Log Gumbel (Factor 1.13)
2	2.160	2.441
5	3.088	3.489
10	3.912	4.421
25	5.275	5.961
50	6.585	7.441
100	8.206	9.273
200	10.219	11.547
500	13.648	15.423
1000	16.985	19.193

La información hidrometeorológica termina con los hietogramas de precipitación, pero a causa del déficit de equipos, nos afianzamos de la metodología propuesta de los bloques alternos, donde como se previó, a mayor periodo de retorno hay mayor precipitación generada.

**Tabla 45**

*Precipitación Máxima del Hietograma según periodo de retorno.*

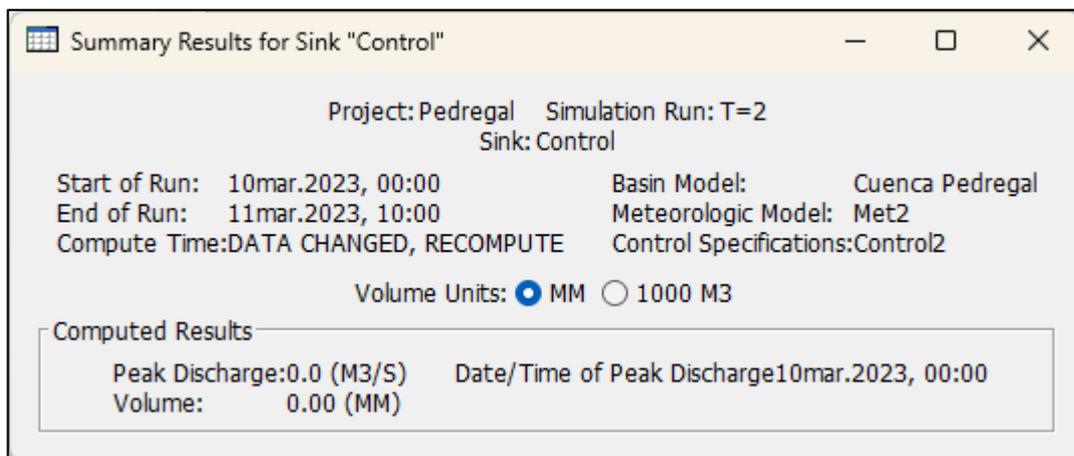
T	Precipitación (mm)
2	1.156
5	1.560
10	1.957
25	2.641
50	3.314
100	4.158
200	5.217
500	7.042
1000	8.835

**4.2.4. Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS 4.10**

Hidrogramas de la cuenca estudiada en el punto de control aguas abajo:

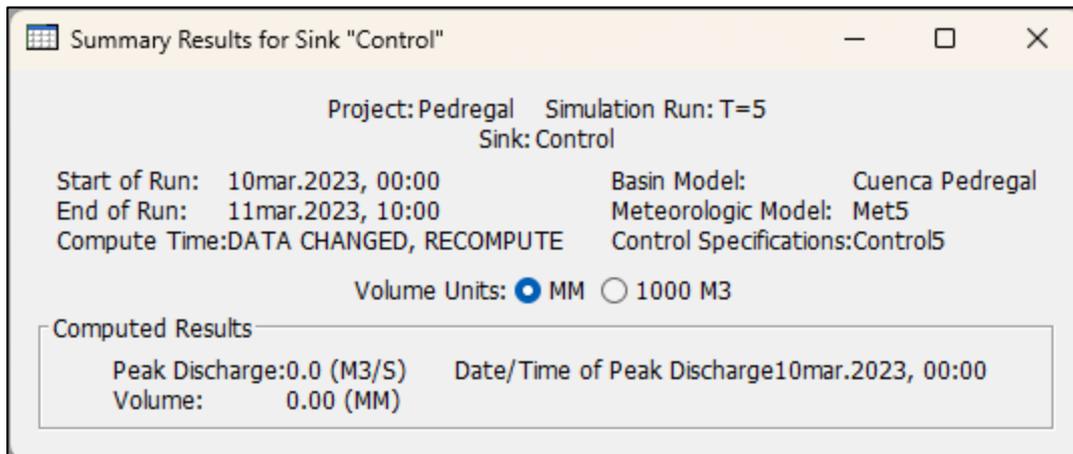
**Figura 79**

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 2 años.*



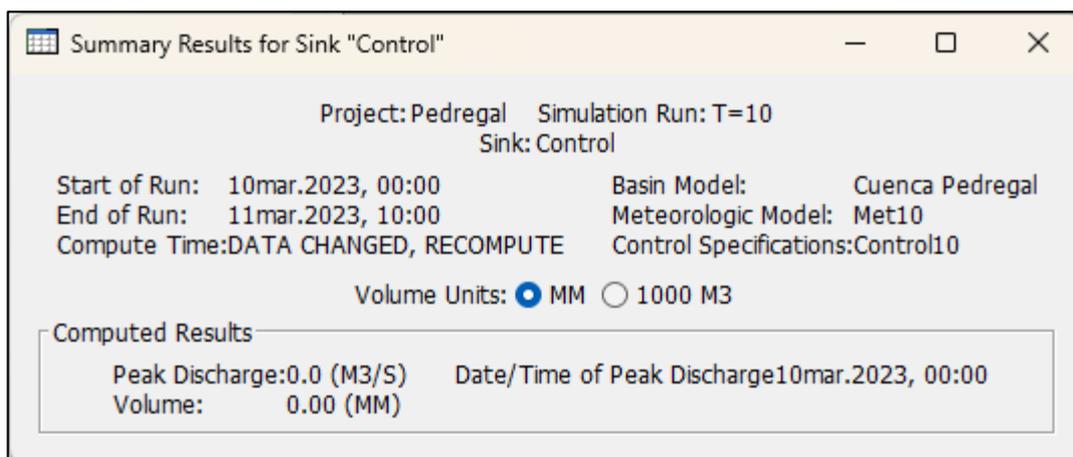
**Figura 80**

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 5 años.*



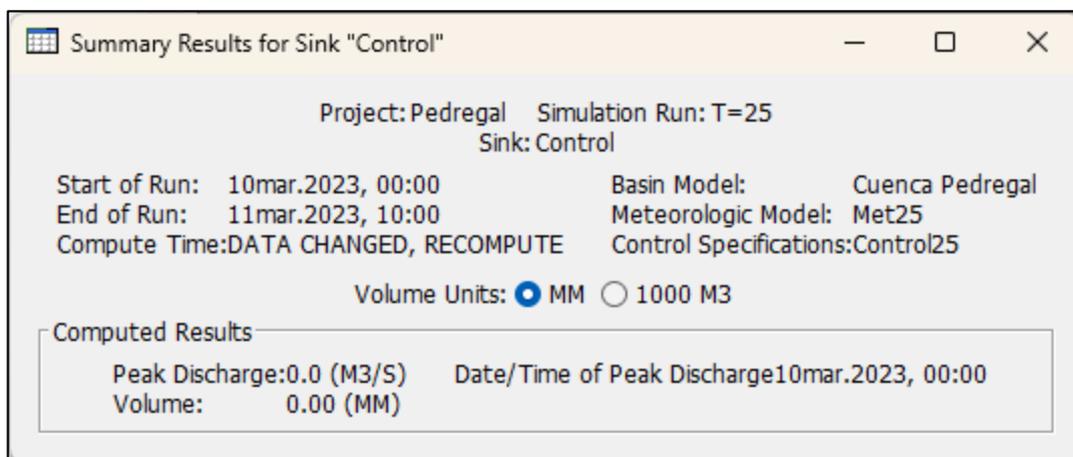
**Figura 81**

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 10 años.*



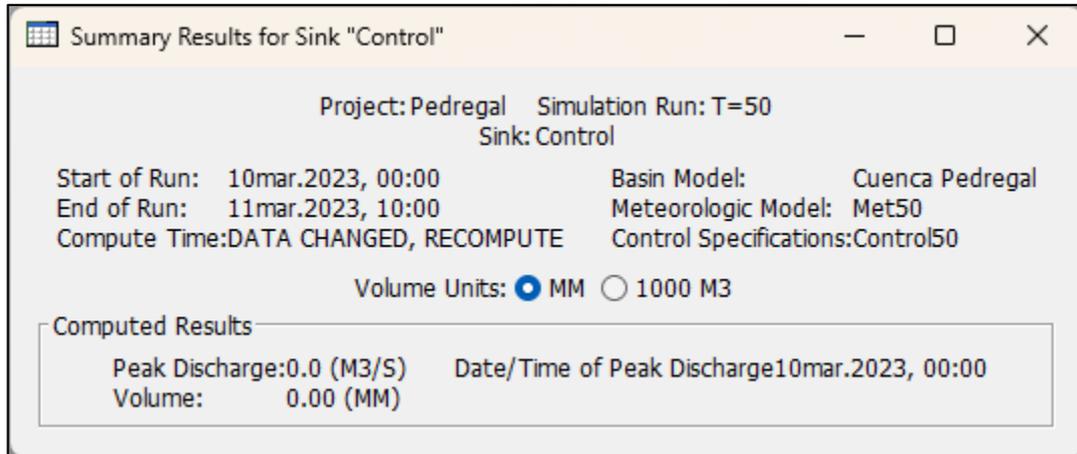
**Figura 82**

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 25 años.*



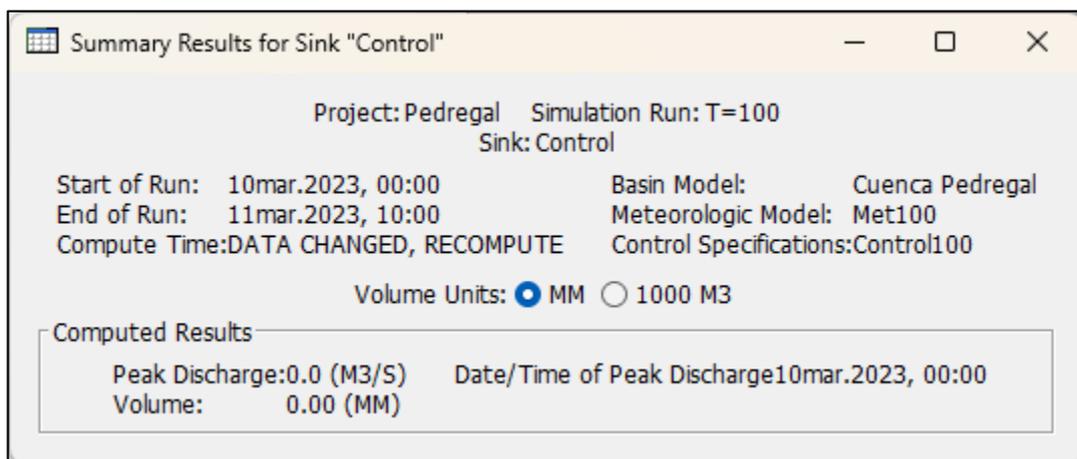
**Figura 83**

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 50 años.*



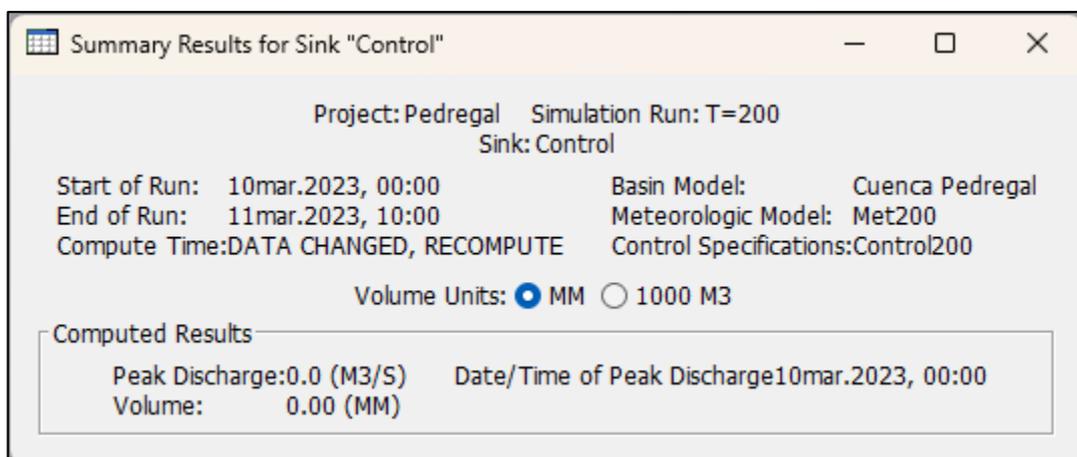
**Figura 84**

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 100 años.*



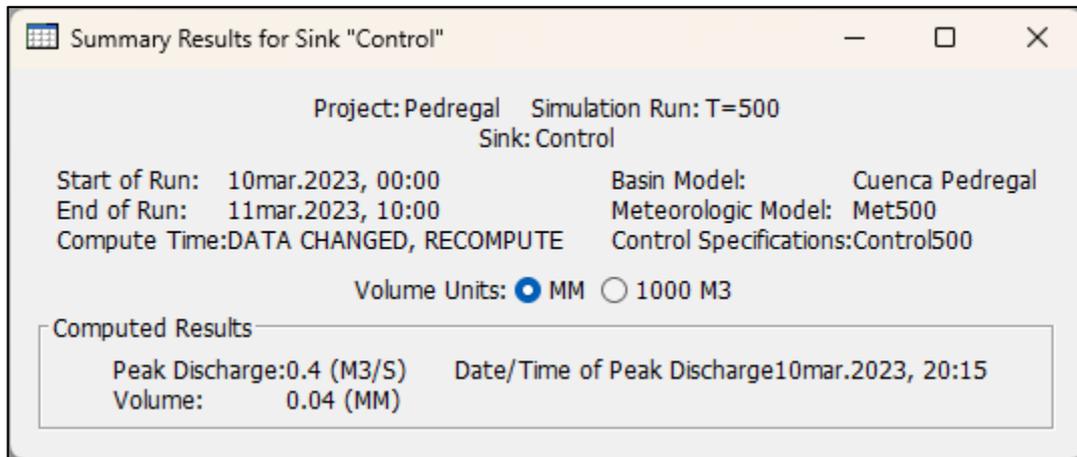
**Figura 85**

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 200 años.*



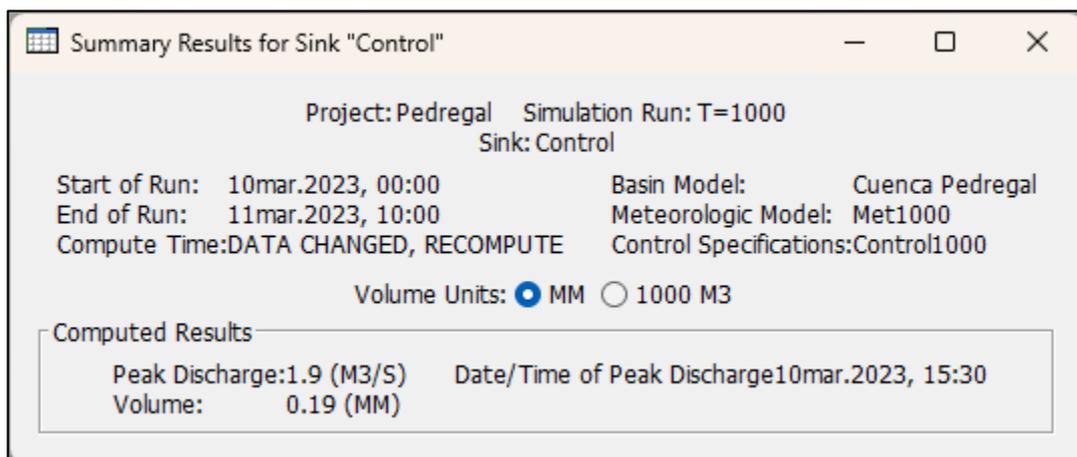
### Figura 86

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 500 años.*



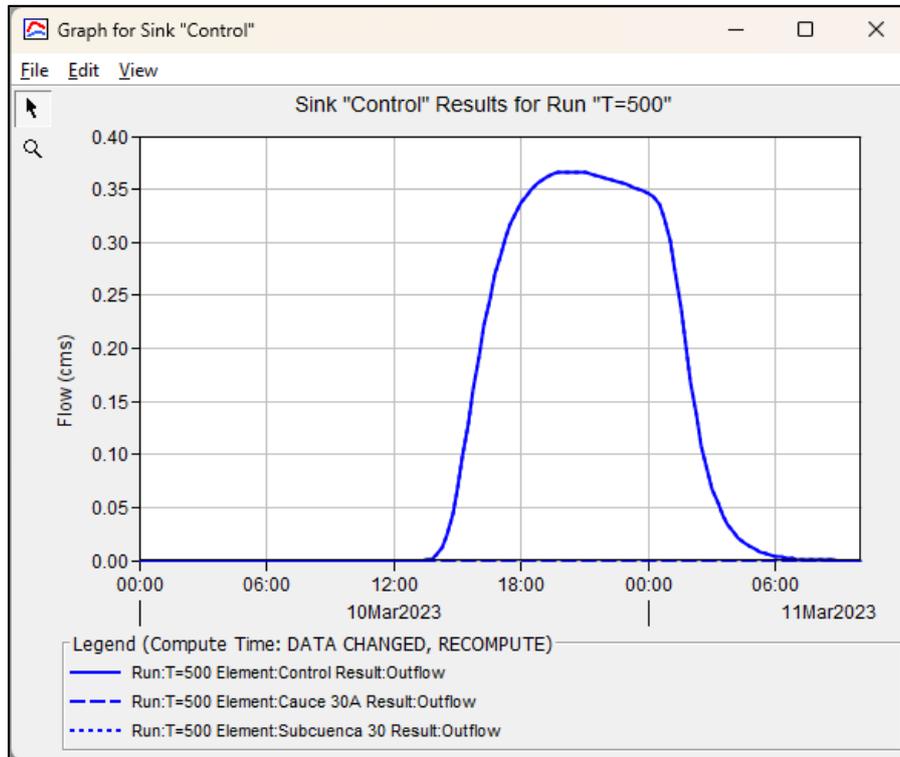
### Figura 87

*Caudal máximo en la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 1000 años.*



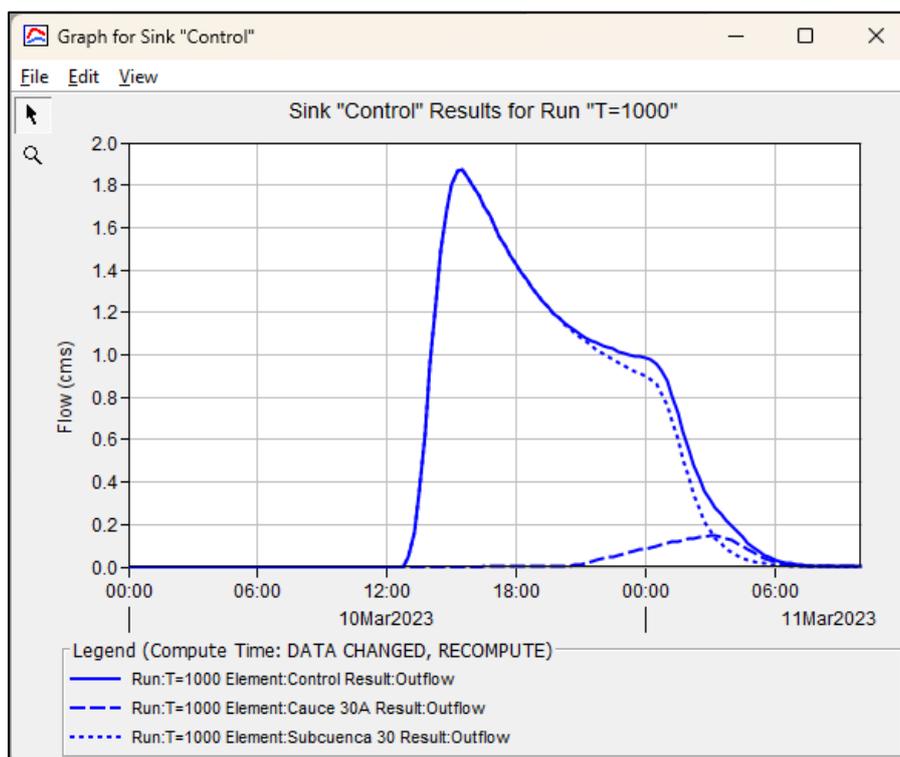
**Figura 88**

*Hidrograma de la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 500 años.*



**Figura 89**

*Hidrograma de la Cuenca Pedregal para un periodo de retorno de 1000 años.*



En las figuras resumen de los hidrogramas generados para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, se observa que la precipitación generada no produce escorrentía, la cual se llega a infiltrar en su totalidad en la tierra; a partir del periodo de retorno de 500 años, la precipitación comienza a ser suficiente para generar caudal en la estación de aforo, en el caso de 500 años, la precipitación forma una película de 0.04 mm, lo cual produce un caudal de 0.4 m<sup>3</sup>/s y un volumen de agua de 13,000 m<sup>3</sup> durante su duración y en el caso de 1000 años, la precipitación forma una película de 0.19 mm (4.75 veces mayor al periodo de retorno de 500 años), lo cual produce un caudal de 1.9 m<sup>3</sup>/s y un volumen de agua de 58,700 m<sup>3</sup> durante su duración. Los primeros rastros de caudal se presentan 15 y 13 horas después de comenzar la precipitación, alcanzando el pico más alto a las 20:15 y 15:30 horas y terminado la descarga a las 03:15 y 05:30 horas del día posterior en los periodos de retorno de 500 y 1000 años respectivamente del día simulado, y esta diferencia se debe a la mayor cantidad de precipitación recibida, que alcanza el nivel de saturación del suelo en menor tiempo, siendo la escorrentía más fácil de producirse en mayores tiempos de retorno.

Con relación al Hidrograma para un periodo de retorno de 500 años (Ver Figura 88), trazada en línea continua, se encuentra compuesto por la escorrentía generada en la Subcuenca-30, trazada en línea entrecortada con mayor separación, la cual es recibida por el Cauce 30A, trazada en línea entrecortada con menor separación, cuyo caudal se encontrara formado únicamente por las aguas de esta subcuenca, no recibiendo mayor flujo aguas arriba, finalmente las llevara a la Estación de Aforo para su depósito en el rio Huarney; en el caso de la Figura 4.15 no sucede lo mismo ya que el Cauce 30A, trazada en línea entrecortada con menor separación, en esta ocasión si porta flujo de agua arriba pero en poca cantidad, encontrándonos con un hidrograma, trazada en línea continua, conformado en su mayoría por el flujo obtenido de la Subcuenca-30, trazada en línea entrecortada con menor separación, que será llevado a la Estación de Aforo para acabar de la misma forma en el rio Huarney.

**Tabla 46**

*Caudales máximos en el punto de aforo para cada periodo de retorno.*

Periodo de Retorno "T años"	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)
2	0
5	0
10	0
25	0
50	0
100	0
200	0
500	0.4
1000	1.9

#### **4.2.5. Modelamiento Hidráulico con HEC RAS 6.4.1**

De acuerdo a la metodología de Cowan (Ver Tabla 8) definimos el Cauce 30A estudiado en 3 tramos bien definidos, la primera parte (0.044) con menor dificultad y resistencia al deslizamiento del agua, con 4 km de recorrido empezando aguas arriba, está conformado por gravas finas, con irregularidad moderada y variaciones ocasionales de la sección transversal, poca obstrucción en el camino, con 0 vegetación y meandros despreciables; en el segundo tramo de 650 m, encontramos contraste con el primero, ya que esta presenta zonas de tierra por ser agrícolas, irregularidad suave, secciones con poca variación transversal, poca obstrucción, vegetación media y meandros despreciables, finalmente la última parte con mayor resistencia al flujo (0.048), está conformado por gravas gruesas, menor irregularidad, poca variación en las secciones transversales, 0 obstrucciones, baja vegetación y meandros despreciables.

**Tabla 47**

*Valores de Rugosidad "n".*

Tramo	Rugosidad "n"
Del km 0+000 al 4+000	0.044
Del km 4+000 al 4+650	0.045
Del km 4+650 al 5+045	0.048

El recorrido del cauce 30A cuenta con una pendiente casi uniforme, pero por un tema de composición, vemos secciones con mayor tendencia a generar desbordes y esto sucede en donde tenemos mayores valores de rugosidad, de igual forma aquí se tiene zonas agrícolas que ayudan a incrementar el riesgo. Con los valores de rugosidad y las secciones del cauce cada 50 metros, se obtuvo el modelamiento hidráulico de la cuenca.

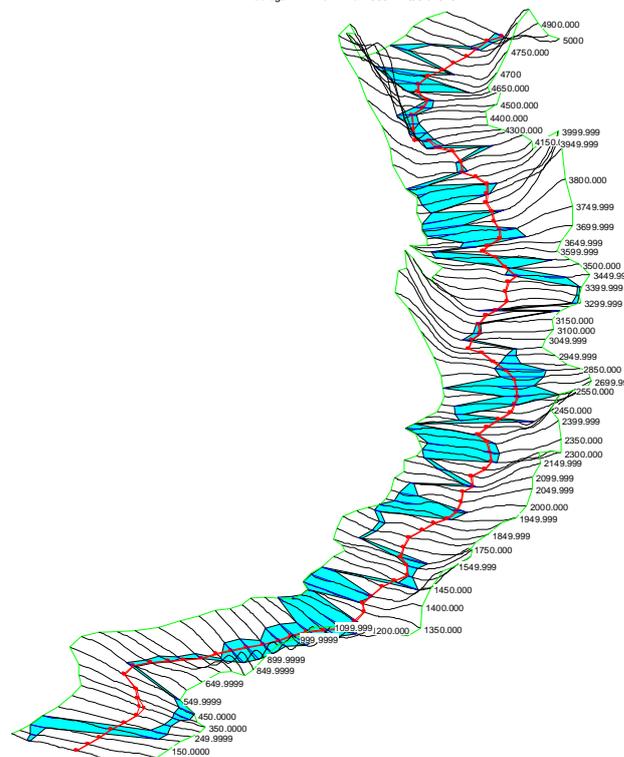
**Tabla 48**

*Resultados del Modelamiento Hidráulico.*

Periodo de Retorno "T años"	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Resultados obtenidos
2	0	No inunda
5	0	No inunda
10	0	No inunda
25	0	No inunda
50	0	No inunda
100	0	No inunda
200	0	No inunda
500	0.4	Inunda
1000	1.9	Inunda

**Figura 90**

*Modelamiento Hidráulico de la Cuenca Pedregal.*



*FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RA 6.4.1.*

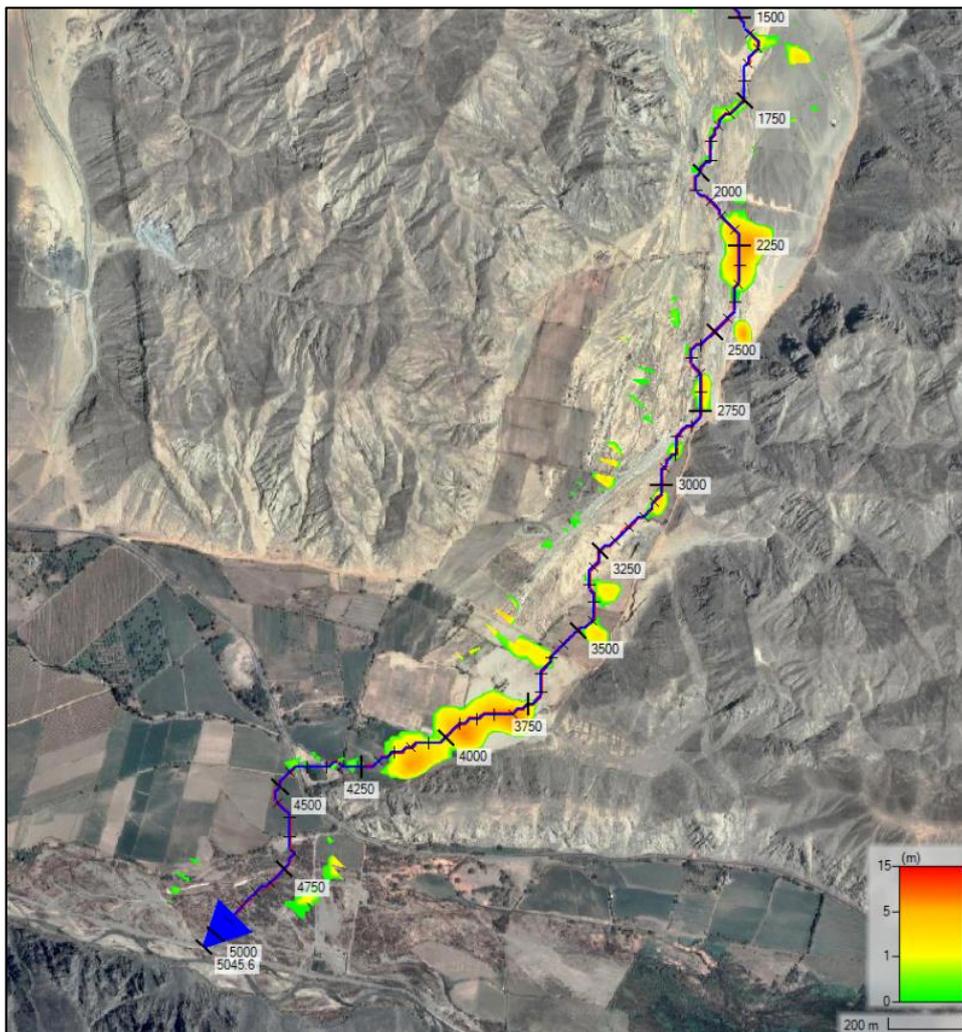
En los periodos de retorno más altos, donde se genera caudales, vemos ligeros desbordes en el cauce principal, pero que por su baja probabilidad son de difícil de ocurrencia, lo cual no deja de ser un peligro latente que podría afectar el ritmo de vida de los pobladores del Centro Poblado de Tayca en un futuro.

#### 4.2.6. Sistema de Alerta Temprana SAT-COM

La simulación del cauce natural de la cuenca Pedregal nos dio información útil con respecto a los desbordes que podría suscitarse en la zona, observando que para un periodo de retorno de 500 años esta podría llegar a una altura de 7.16 metros en las zonas cercanas al cauce y hasta 15 m para periodos de retorno de 1000 años en las mismas zonas.

**Figura 91**

*Mapa de zonas de inundación por niveles.*

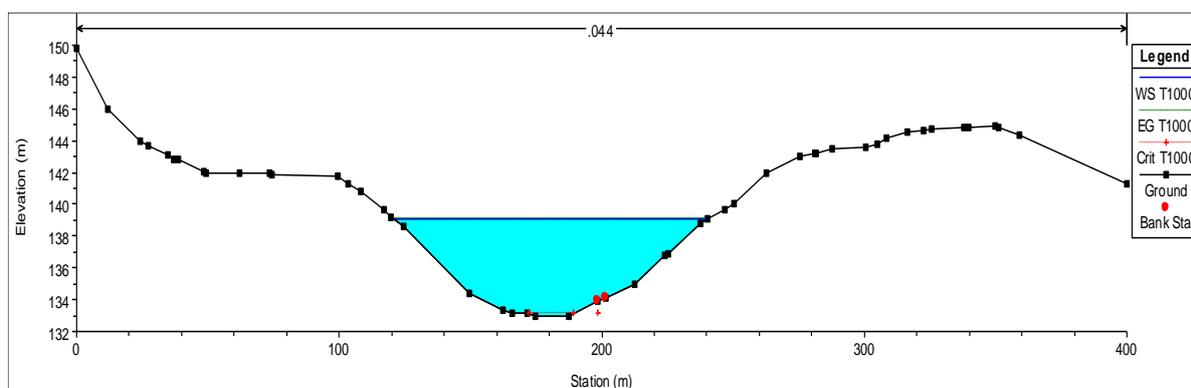


*FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.*

Asimismo, estos desbordes se presentan de forma más pronunciada en las progresivas 2+800 y 4+000 desde aguas arriba hacia aguas abajo; para entender mejor el comportamiento se colocó un color verde fosforescente para alturas de inundación de 1 m, de color amarillo para alturas de 5 m, color naranja para mayores a 10 m y rojo para alturas máximas de 15 m, donde se produciría el mayor nivel de inundación, afectando viviendas cercanas a la zona y zonas de producción agrícola.

### Figura 92

Sección transversal de la progresiva 2+800 del Cauce 30A para un periodo de retorno de 1000 años.



FUENTE: Elaboración propia en el HEC-RAS 6.4.1.

Los colores asignados también son indicativas de niveles de riesgo, empezando con un nivel de riesgo bajo (verde), riesgo moderado (amarillo), riesgo alto (naranja) y rojo (muy alto); si bien el Centro Poblado estaría cercana a la zona de color verde fosforescente con niveles de inundación de 1 m, esto sería más que suficiente para afectar las viviendas del lugar por estar construidas de adobe y esteras, débiles a la acción del agua, y ni que hablar de los terrenos agrícolas que se llevarían la peor parte por los altos niveles de inundación.

Si bien, se propone la implementación de equipos de medición (pluviómetros) para evitar la afectación a la vida humana, esta no sería suficiente para salvaguardar la integridad de los medios de vida, necesitando implementar estrategias más especializadas y de mayor demanda económica como canales artificiales.

Estos colores asignados nos permitieron establecer acciones con fines de proteger la vida humana, debiendo la población protegerse en las zonas seguras propuestas en el Mapa de Evacuación que ayudaran mientras transcurre la evacuación de la lluvia hacia el rio Huarney, el cual tiene una sección suficiente para recibir el caudal producido en la cuenca.

#### **4.3. DISCUSIONES**

Blas y Medina (2021) en su estudio “Modelamiento Hidrológico e Hidráulico del río Yuracyacu para identificar zonas vulnerables por máximas avenidas, ciudad Nueva Cajamarca – San Martín”, establece una estructura para abarcar la información importante que ayudará a obtener los modelos planteados, lo cual implícitamente hace pensar que la obtención de los parámetros hidrológicos y morfológicos son los primeros pasos a seguir para organizar cualquier estudio hidrológico; lo cual resulta muy cierto, ya que nuestros modelos hidrológico e hidráulico no podrían haberse implementados en los programas HEC-HMS y HEC-RAS respectivamente, sin estos parámetros iniciales, lo que debe ser considerado como paso inicial para cualquier estudio que un investigador desee realizar.

Valderrama (2021) en su trabajo “Estudio Hidrológico para Propuesta de Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en la Cuenca del Río Nepeña”, explica que el programa HEC-HMS, es ideal para obtener el modelo hidrológico de una cuenca, consiguiendo buenos resultados; asimismo, detalla que este cuenta con una amplia serie de procesos incorporados, siendo los más usados, los propuestos por el Sistema de Conservación de Suelos, los cuales al aplicarlos en nuestra investigación, pudimos notar porque son los de mayor, siendo su implementación muy interactiva ya que cada cuadro de opciones solicita datos básicos que ya habremos obtenido al calcular los parámetros hidrológicos y morfológicos, siendo recomendable usar esta metodología.

Orellana Cabello (2021) en su investigación titulada “Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS”, elaboró el modelo hidráulico de la cuenca en base a un Modelo Digital de Elevación, seleccionando un tramo principal del sistema de drenaje para tal objetivo, el cual represente el cauce más cargado y propenso a desbordes; cuyo criterio fue bien recibido, ya que no fue necesario realizar el modelo hidráulico de toda la cuenca, debido a que en las zonas más altas, los caudales son pequeños e incluso hasta despreciables, generando mayores e innecesarios tiempos de cálculo al programa, que en muchos casos los sistemas acababan arrojando errores por no contar con la capacidad computacional necesaria.

Además Orellana Cabello (2021) en su investigación logró en base a los tirantes obtenidos durante el recorrido del flujo del agua de precipitación para diferentes caudales máximos instantáneo elaborar mapas de inundación de la zona; criterio que pudo ser corroborado en nuestro estudio, ya que estos valores de tirante nos permitieron identificar que zonas se encuentran más expuestas a sufrir la afectación de inundaciones o desbordes, pudiendo obtener un mapa de inundación propio de la Quebrada Pedregal (Figura 71)

Mauricio y Palomino (2019) en su tesis “Modelamiento hidrológico e hidráulico para un Sistema de Alerta Temprana en la quebrada Cashahuacra, distrito de Santa Eulalia” propone el uso de un Sistema de Alerta Temprana mediante una metodología del tipo semáforo de 3 niveles de alerta, en función a un porcentaje del hidrograma pico; cuya propuesta no sería del todo viable a nuestro estudio, toda vez que los caudales obtenidos no son semejantes a la tesis mencionada, siendo factible emplear valores específicos cuando los tirantes son bajos, no siendo la propuesta de los investigadores, en base a porcentajes, aplicable a todos los casos.



# **CAPÍTULO V**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

En esta Tesis se desarrolló el Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para un Sistema de Alerta Temprana aplicando el software HEC-HMS y HEC-RAS en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia de Huarney, Ancash – 2021, obteniendo las siguientes conclusiones:

- A pesar de que la zona estudiada se encuentra en la parte andina de la provincia de Huarney, su ubicación es de fácil de acceso, existiendo carreteras asfaltadas que permiten llegar al lugar; asimismo, con la tecnología actual se logra obtener una visualización amplia de toda la extensión de la Quebrada Pedregal, lo cual permite obtener información relevante para su estudio.

- Se determinó tanto los parámetros morfológicos, como hidrológicos de la cuenca de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, Ancash 2021, en función de sus características físicas, como el área, obteniendo una clasificación de cuenca intermedia-pequeña, cuya pendiente nos indica que estamos ante una cuenca con terrenos semi accidentados aproximándose a accidentados. Otro parámetro calculado es el Número de Curva usado en condiciones normales de humedad (Tipo II), generado a partir de las condiciones de infiltración del suelo (Grupo B) y la cobertura vegetal (zonas agrícolas, desiertos costeros, cardonales y matorrales arbustivos). Respecto a la información hidrometeorológica se observó que la precipitación máxima promedio ocurre en el año 1998, aunque esta se encuentra afectada por el espacio donde se produce la precipitación dentro de la cuenca, presentando precipitaciones máximas de 5.9 mm. Se demostró que el Producto Pisco v2.1 cuenta con información mínima para realizar estudios de hidrología en la cuenca, ante ausencia o déficit de datos en las estaciones

- Con la información recogida se consiguió realizar el modelamiento hidrológico de la quebrada, lo que permitió obtener los caudales máximos asociados a distintos periodos de retorno en la quebrada Pedregal, Distrito Huarmey, Provincia Huarmey, Ancash 2021. Mediante el uso del programa HEC-HMS en su versión 6.4.1. se obtuvo un modelo semi-distribuido de la cuenca que pudo transformar la lluvia en esorrentía y obtener los caudales en el punto de aforo o control para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25 ,50, 100, 200, 500 y 1000 años) usado posteriormente para el análisis de inundaciones. El caudal máximo es de 1.9 m<sup>3</sup>/s obtenido para una precipitación con duración de 24 horas que inició a las 0:00 horas del día simulado y el pico de descarga se produjo a las 15:30 horas del mismo día.

- El modelamiento hidráulico simulo los escenarios para el caudal máximo de cada periodo de retorno en la cuenca Pedregal, Distrito Huarmey, Provincia Huarmey, Ancash 2021. Los escenarios fueron simulados en flujo permanente con el fin simplificar el proceso de modelado y por la carencia de información; en los periodos de retorno más alto (500 y 1000) notamos desbordes de agua, afectando directamente zonas agrícolas.

- Se confecciono mapas de inundación para los períodos de retorno de 500 y 1000 años de la quebrada Pedregal, Distrito Huarmey, Provincia Huarmey, Ancash 2021, donde se identifica las áreas más afectadas dentro la cuenca con diferentes colores en tonos azulados, donde un azul suave indica menor grado de afectación y un azul oscuro indica mayor grado de afectación. También, se elaboró el mapa de riesgos donde se identificaron las zonas que representan mayor riesgo según los tirantes que van produciendo en la zona inundada, siendo el color rojo un riesgo muy alto, donde tenemos los mayores tirantes del rio, el color naranja un riesgo alto, el color amarillo un riesgo medio y finalmente el verde un riesgo bajo, donde los desbordes son superficiales con poca afectación de la vida humana pero igual las edificaciones pueden verde comprometidas.

- Se propone un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones por el desbordamiento de la Cuenca Pedregal, Distrito Huarney, Provincia Huarney, Ancash 2021. Con los mapas de inundación y riesgo, se propuso el Sistema de Alerta Temprana Comunitario (SAT-COM) aplicando la metodología de la guía técnica del INDECI, debido a su fácil aplicación, y manejo con personal poco o nada especializado para ponerlo en ejecución, siendo adaptable a nuestra cuenca.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar recojo de información de la zona estudiada con equipos modernos como drones que permitan tener mayor cobertura y obtener los mapas de cobertura vegetal y suelos con más detalle para tener Números de Curva más precisos.
- Trabajar con Modelos de Elevación Digital con mayor detalle de celda (menor a 1 m) que permitan tener un mejor trazado de los cauces a estudiar y la topografía.
- Realizar comparaciones de la efectividad de las fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración aplicadas en otras cuencas y puedan ser implementadas en la zona estudiada, ya que ante la ausencia de estaciones hidrométricas estas no pueden ser calibradas.
- Realizar comparaciones del Sistema de Alerta Temprana Comunitaria del INDECI con otros sistemas implementados a nivel nacional o internacional y ver su efectividad y viabilidad para la zona.
- Gestionar la implementación de estaciones pluviométricas automáticas dentro de la cuenca fin de que se tenga un mejor registro de las precipitaciones que se producen en esta zona, en base a ello, se realicen mejores estudios sobre cómo se distribuye la precipitación de 24 horas en toda la zona y definir mejores hietogramas para los modelos hidrológicos.

- Gestionar la implementación de estaciones hidrométricas, con la final de calibrar los modelos a implementar, ya que la presente tesis no pudo ser calibrada ante la ausencia de estas, debiendo optar por un modelo sintético para su ejecución.
- Gestionar estructuras con mayor capacidad hidráulica en la zona estudiada, ya que las actuales sirven con el propósito de captar agua para las zonas agrícolas, pudiendo verse sobrepasada ante eventos históricos y no siendo suficiente para atender las inundaciones que se llegaran a producir.
- Evaluar la colocación de mallas protectoras contra huaycos en las zonas más altas que impidan el avance de las masas, donde se observó suelos granulares que junto a los flujos de agua pueden generar flujo de detritos
- Aplicar el SAT-COM propuesto en la tesis, como una alternativa para prevenir desastres en la zona de estudio.



# **CAPÍTULO VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES**

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa.
- Aros, V. (1997). *Apuntes de Hidrología*. Universidad de Concepción.
- Autoridad Nacional del Agua (2012). *Memoria Descriptiva del Proceso de Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú*.
- Autoridad Nacional del Agua (2015). *Generación del Mapa Temático de Curva Numero (CN)*.
- Autoridad Nacional del Agua (2016). *Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales*.
- Aybar, C.; Lavado-Casimiro, W.; Huerta, A.; Fernández, C.; Vega, F.; Sabino, E. & Felipe-Obando, O. (2017). *Uso del Producto Grillado “PISCO” de precipitación en Estudios, Investigaciones y Sistemas Operacionales de Monitoreo y Pronóstico Hidrometeorológico*. Nota Técnica 001 SENAMHI-DHI-2017, Lima-Perú.
- Bernat, M. (2012). *Introducción al Análisis Hidrológico e Hidráulico mediante Modelamiento Numérico*.
- Bladé, E., Sánchez, M., Sánchez, H., Niñerola, D., & Gómez, M. (2009). *Modelación Numérica en Ríos en Régimen Permanente y Variable*. Edicions UPC.
- Blas, F. y Medina, J. (2021). *Modelamiento hidrológico e hidráulico del río Yuracyacu para identificar zonas vulnerables por máximas avenidas, ciudad Nueva Cajamarca - San Martín*. [Tesis para optar Título de Ingeniero Ambiental]. Universidad Católica Sedes Sapientiae. <http://repositorio.ucss.edu.pe/handle/UCSS/1073>
- Breña Puyol, A. F. y Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Campos Aranda, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

- Canales Bonifacio, M. y Córdova Bolaños, Y. (2023). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para un sistema de alerta temprana en la Quebrada Chasqui, Distrito- Sihuas, Provincia -Sihuas, Ancash – 2021*. Universidad Nacional del Santa.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2013). *Escenario probable de riesgos ante el fenómeno “La Niña” en la costa del Perú*.  
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/escenario-probable-riesgos-ante-fenomeno-nina-costa-peru>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2022). *Escenarios de riesgo por superávit de lluvias para mayo - julio 2022*.  
[https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//14208\\_escenarios-de-riesgo-por-superavit-de-lluvias-para-mayo-julio-2022-basado-en-el-informe-tecnico-n004-2022senamhi-dma-spc-pe.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//14208_escenarios-de-riesgo-por-superavit-de-lluvias-para-mayo-julio-2022-basado-en-el-informe-tecnico-n004-2022senamhi-dma-spc-pe.pdf)
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (2022). *Escenarios de riesgo por superávit de lluvias para enero a marzo 2023*.  
[https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//14597\\_escenarios-de-riesgo-ante-la-temporada-de-lluvias-2022-2023-periodo-enero-marzo-2023-basado-en-el-informe-tecnico-n010-2022senamhi-dma-spc-pe.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//14597_escenarios-de-riesgo-ante-la-temporada-de-lluvias-2022-2023-periodo-enero-marzo-2023-basado-en-el-informe-tecnico-n010-2022senamhi-dma-spc-pe.pdf)
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (s.f.). *Glosario de Términos*.
- Cervantes, C. (2012). *Generación de Mapas de Riesgo de Inundación Mediante Modelación en 2D*. Universidad Autónoma de México.
- Chen, H., Liang, Q., Liang, Z., Liu, Y., & Xie, S. (2019). *Remote-sensing disturbance detection index to identify spatio-temporal varying flood impact on crop production*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 269, 180-191.

Chereque Morán, W. (s.f.). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: NOMOS S.A.

Concha Niño de Guzman, R., Vasquez Choque, E., Astete Farfan, I., Benites Cañote, A. y Valdivia Vera, W. (2017). *Peligros Geológicos y Geo-Hidrológicos detonados por el Niño Costero 2017 en la Región Ancash: Análisis geológico, geomorfológico y de peligros en la cuenca media y baja del rio Huarney*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Obtenido de

[https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1025/1/A6790-Peligros\\_geol%  
c3%b3gicos...Ni%  
c3%b1o\\_Costero\\_2017\\_Huarney-Ancash.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1025/1/A6790-Peligros_geol%c3%b3gicos...Ni%c3%b1o_Costero_2017_Huarney-Ancash.pdf)

De La Rosa, P. y Diaz, D. (2022). Análisis Hidrológico e Hidráulico en la Parroquia Tenguel para control de inundaciones. [Tesis para optar Título de Ingeniero Civil]. Universidad de Guayaquil. Ecuador

Deser, C. y Wallace, J. (1987). *El Niño events and their relation to the Southern Oscillation: 1925-1986*.

Farias de Reyes, M. (2005). *Apuntes de Hidrología*. Universidad de Piura.

Fattorelli, S. y Fernández, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico*. Associazione Italiana Di Idronomia. Edición Digital.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A. C. (2013). *Agua en el Planeta*. Obtenido de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>

Gámez Morales, W. R. (2009). *Texto Básico de Hidrología*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua: Editronic. S.A.

Guevara, E y Cartaya H. (1991). *Hidrológica: Una Introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada*, CODECIH U.C. (en proceso de impresión).

Hinojosa Cabrera, J. A. (1987). *Calculo Hidrometeorológico de Caudales Máximos en Pequeñas Cuencas Naturales*. Dirección General de Carreteras.

Interagency Advisory Committee on Water Data (1981). *Guidelines for determining Flood Flow Frequency*. Bulletin # 17B of the Hydrology Subcommittee.

Instituto del Mar del Perú (29 de noviembre del 2022). *Antecedentes de “El Niño Costero”*.

[http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id\\_seccion=I0175040100000000000000](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=I0175040100000000000000)

[0](#)

Instituto de Investigación en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica – FLUMEN (s.f.).

*Manual de Utilización del Programa HEC-HMS*. Universitat Politecnica de Catalunya Bacerlonatech.

Instituto Nacional de Defensa Civil (2018). *Guía Técnica para la Implementación del Sistema de Alerta Temprana Comunitario*.

Instituto Nacional de Recursos Hídricos (2007). *Inventario de Fuentes de Agua Superficial en la cuenca del rio Huarmey*.

Kohler, M., Linsley, R. & Paulus J. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. Editorial McGRAW-HILL Latinoamericana.

Leopold, L. B. (1974). *Water: A Primer*. W. H. Freeman & Co (sd).

Machuca, J. (2010). *Propuesta de un Sistema de Alerta Temprana para inundaciones en la Cuenca del Río Acahuapa de el Salvador*. [Tesis para optar Título de Maestro]. Universidad Cesar Vallejo.

Martín Vide, J. P. (2003). *Ingeniería de ríos*. Alfaomega Grupo Editor.

Mauricio, L. y Palomino, V. (2019). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para un sistema de alerta temprana en la quebrada Cashahuacra, distrito de Santa Eulalia*. [Tesis para optar Título de Ingeniero Civil]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

<http://hdl.handle.net/10757/626417>

- Milla, V. y Rubina, J. (2021). *Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones, caso: Cuenca del rio Huarmey, 2021*. [Tesis para optar Título de Ingeniero Civil]. Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85998>
- Ministerio del Ambiente (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.
- Naciones Unidas (2004). *Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres*. Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres (EIRD).
- Orellana, R. (2021). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS Y HEC-RAS*. [Tesis para optar Título de Ingeniero Civil]. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18304>
- Osío, M., Valencia, F., Guevara, E. y Cartaya H. (s.f.). *Cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de manning en los grandes ríos de Venezuela*. Universidad de Carabobo.
- Ponce, V. M. (1979). *Clasificación de regímenes de flujo en canales*. Cuarta Conferencia Hidrotecnia Nacional.
- Rodríguez, J. y Vargas, J. (2019). *Modelo Hidrológico e Escorrentía para la Subcuenca Caño Buque, en el Municipio de Villavicencio*. [Tesis para optar Título de Ingeniero Civil]. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Sánchez, F. (2007). *Manual Introductorio a HEC-RAS*. Universidad de Salamanca.
- Scientific Committee for Ocean Research (1983). *Prediction of El Niño*.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2014). *El fenómeno del niño*. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2022). *Inventario de Datos de Eventos de Inundaciones del Perú*. Ministerio del Ambiente.
- Silva, J. y Sparrow, J. (2021). *Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones, caso: Quebrada Solvin, San Jacinto 2021*. [Tesis para optar Título de Ingeniero Civil]. Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72997>
- Soluciones Prácticas (ITDG) y Comunidad Europea (CE) (2008). *Sistemas de Información y alerta temprana para enfrentar el cambio climático. Propuesta de adaptación tecnológica en respuesta al cambio climático en Piura, Apurímac y Cajamarca. Cambio climático y pobreza*. Lima, Perú.
- Stowhas B. L. (s.f.). *Fundamentos de hidrología Aplicada*. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Te Chow, V. (1994), *Hidráulica de Canales Abiertos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Trenberth, K. (1997). *The definition of El Niño*.
- United State Army Corps of Engineers (2023). *Hydrologic Engineering Center*. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- U.S. Water Resources Council (1981). *Guidelines For Determining Flood Flow Frequency*. Bulletin #17B of the Hydrology Subcommittee.
- Valderrama, M. (2021). *Estudio hidrológico para propuesta de sistema de alerta temprana de inundaciones en la cuenca del Rio Nepeña*. [Tesis para optar Título de Ingeniero Civil]. Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/74521>
- Venegas, M. (2022). *Diseño de un Sistema de Alerta Temprana para el control de inundaciones en la ciudad de Milagro, Ecuador*. [Tesis para optar Titulo de Maestro]. Universidad de Guayaquil. Ecuador
- Villon Bejar M. (2002). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Villon Bejar M. (2007). *HEC – HMS Ejemplos*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villon Bejar M. (s.f.). *Hidrología Estadística*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.



# ANEXOS

## ANEXOS

### ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO

#### Figura 93

*Ubicación del Punto de Aforo de la Cuenca Pedregal.*



#### Figura 94

*Medición de secciones del cauce principal de la cuenca Pedregal.*



**Figura 95**

*Obtención de valores de rugosidad del cauce principal de la cuenca Pedregal.*



**Figura 96**

*Canales erosionados por flujo de agua.*



**Figura 97**

*Zonas lavadas donde se presenta aparente invasión de inundación por desbordes.*



**Figura 98**

*Canal artificial para el aprovechamiento de la precipitación en el regadío de zonas agrícolas.*



**ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

<b>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b>		<b>OBETIVOS</b>		<b>HIÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>
<b>Pregunta Principal</b>	<b>Preguntas Secundarias</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Objetivos Específicos</b>		
¿Mediante un Modelo Hidrológico e Hidráulico se podrá instalar un Sistema de Alerta Temprana de inundaciones en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021?	¿Cuáles son los parámetros hidrológicos de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021?	Desarrollar el modelamiento Hidrológico e Hidráulico para un sistema de alerta temprana en la quebrada Chasqui, Distrito Sihuas, Provincia Sihuas, Ancash 2021	Determinar los parámetros hidrológicos de la cuenca de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021.	Si se desarrolla el Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia de Huarney, departamento de Ancash entonces se planteará un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones por desborde.	Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia de Huarney, Ancash.
¿Cuáles son los caudales máximos asociados a distintos periodos de retorno en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021?	¿Cómo es el comportamiento de los caudales máximos extraordinarios en distintos periodos de retorno en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021?	Aplicar un modelamiento hidrológico para obtener los caudales máximos asociados a distintos periodos de retorno en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021.	Realizar el modelamiento hidráulico para simular escenarios de comportamiento con caudales máximos extraordinarios en distintos periodos de retorno en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021.		
¿Cuáles son las áreas inundables del Centro Poblado de Tayca para distintos caudales modelados en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021?	¿Qué medidas de prevención se pueden implementar ante un desborde de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021?	Elaborar y analizar un mapa de inundaciones para los diferentes caudales modelados en la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021.	Proponer un Sistema de Alerta Temprana frente a inundaciones por el desbordamiento de la Quebrada Pedregal del distrito de Huarney, provincia Huarney, departamento Ancash - 2021.		

**ANEXO 3: OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES	DIMENSIÓN DE VARIABLES	INDICADORES	HERRAMIENTAS	MÉTODOS
<b>INDEPENDIENTE</b>	Los modelos hidrológicos matemáticos tienen como objetivo predecir las salidas del sistema; es decir, determinar los hidrogramas de avenida (aproximados al sistema real) en cualquier punto de la cuenca en estudio. (Orellana,2021). Los modelos hidráulicos se usan para resolver problemas relacionados con las estructuras hidráulicas, fenómenos de infiltración en suelos, regulación de ríos y el transporte de sedimentos. Se clasifican en modelos físicos, analógicos y matemáticos. (Orellana,2021)	El Modelamiento Hidrológico se realizará con HEC-HMS con el cual se obtendrá el caudal máximo en la Quebrada Pedregal en un periodo de retorno determinado. Seguido con HEC-RAS se obtendrá el modelo hidráulico en donde se simulara el comportamiento de la quebrada a diferentes escenarios con caudales máximo extraordinario a un periodo de retorno dado en la Quebrada Pedregal.	Análisis de Precipitaciones en la cuenca	Precipitación Máxima en 24 horas  Precipitación de diseño	Estaciones ubicadas cerca al área de estudio  Libros y documentación	Recolección de datos
			Modelamiento Hidrológico	Procesamiento del Terreno  Generación del Hidrograma	HEC-HMS  HEC-HMS	Modelo Digital de Elevación (MIDE)  Método lluvia escurrentía
<b>DEPENDIENTE</b>	Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) es el conjunto de capacidades, instrumentos y procedimientos articulados para generar y difundir información de alerta de manera oportuna, con el fin de permitir que las personas, comunidades y organizaciones expuestas a un peligro se preparen y actúen de forma apropiada y anticipada para reducir o evitar la pérdida de vidas. (INDECI,2021)	Un Sistema de Alerta Temprana tiene por objetivo evitar que las amenazas se conviertan en desastre, sobre todo en pérdida de vidas humanas; evitar que los pobladores de Tayca se vean amenazados a causa de los desbordes e inundaciones de la Quebrada Pedregal y actuar con tiempo suficiente con el propósito de poner a salvo a todos los involucrados.	Sistemas Automatizados	Medición de Cantidad de lluvia y niveles de los ríos.	Redes telemétricas  Estación de lluvias y niveles de los Ríos  Modelos Hidrológicos computarizados  Sensores remotos y/o Satelitales	Transmite señales  Medir y registrar  Modelación Hidrológica  Transmite señales
			Sistemas Comunitarios	Medición de la cantidad de lluvia precipitada  Medición de los niveles de los ríos	Pluviómetro  Regla milimétrica	Escala graduada (mm)  Escala graduada (mm)

## ANEXO 4: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH

N°	Estación	Cuenca	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Información disponible
1	Aija	Huarmey	9°46'53.92" S	77°36'24.26" O	3486	1961 - 2018
2	Buena Vista	Casma	9°26'1.34" S	78°12'29.7" O	213	2017 - 2022
3	Cabana	Santa	8°23'26.07" S	78°0'16.6" O	3364	2017 - 2023
4	Cajamarquilla	Casma	9°37'55.36" S	77°44'28.88" O	3286	2018 - 2023
5	Chacchan	Casma	9°32'6.68" S	77°46'31.29" O	2266	2018 - 2022
6	Chamana	Fortaleza	10°12'26.6" S	77°33'31.41" O	1228	2017 - 2020
7	Chavín	Alto Marañón V	9°35'9.54" S	77°10'30.94" O	3140	2017 - 2023
8	Chiquian	Pativilca	10°8'51.47" S	77°9'34.18" O	3414	2017 - 2023
9	Condorcerro	Santa	8°39'28.55" S	78°15'42.17" O	475	2016 - 2023
10	Cotaparaco	Huarmey	9°58'60" S	77°34'60" O	3286	1963 - 2010
11	Huarmey	Huarmey	10°4'5.23" S	78°9'44.35" O	8	2017 - 2023
12	Huayán	Huarmey	9°52'60" S	77°43'0" O	8	1964 - 1972
13	La Merced	Huarmey	9°42'0" S	77°40'60" O	3733	1963 - 1969
14	Malvas	Huarmey	9°55'38.02" S	77°39'18.7" O	3009	1981 - 2018
15	Mayorarca	Fortaleza	10°9'27.91" S	77°20'56.01" O	3335	2017 - 2022
16	Milpo	Santa	9°53'0"S	77°14'0"O	4400	1980 - 2014
17	Nuevo Pachacoto	Santa	9°51'8.73" S	77°24'21.86" O	3723	2017 - 2022
18	Ocros	Pativilca	10°24'16.46" S	77°24'0.9" O	3249	2017 - 2022
19	Pariacoto	Casma	9°33'8.61" S	77°53'15.41" O	1312	2017 - 2023
20	Pira	Casma	9°35'7" S	77°42'25.9" O	3720	2017 - 2022
21	Piscobamba II	Alto Marañón V	8°52'13.61" S	77°21'2.59" O	3278	2018 - 2023
22	Pomabamba	Alto Marañón V	8°49'18.13" S	77°27'26.4" O	2985	2017 - 2023
23	Puente Cahua	Pativilca	10°36'21.47" S	77°20'38.09" O	809	2018 - 2023
24	Recuay	Santa	9°43'45.1" S	77°27'13.15" O	3431	2017 - 2021
25	San Jacinto	Nepeña	9°8'27.62" S	78°12'8.11" O	417	2017 - 2023
26	Saucepampa	Santa	9°1'51.29" S	77°46'34.76" O	2678	2018 - 2023
27	Shaquek	Fortaleza	10°4'16.18" S	77°31'30.14" O	2979	2017 - 2023
28	Sihuas	Alto Marañón V	8°34'0" S	77°39'0" O	2716	2017 - 2023
29	Tapacocha	Huarmey	10°0'0" S	77°34'0" O	3720	1963 - 1995
30	Yungay	Santa	9°8'30.79" S	77°44'59.91" O	2466	2017 - 2023

FUENTE: Adaptado de los datos del SENAMHI y SNIRH.

<https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/mapadepestal.php?dp=ancash>

## ANEXO 5: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN HUAYAN



### Estación Huayan (Codigo: 154109) Precipitación Acumulada En 12 Horas

<b>Operador:</b>	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología		
<b>WGS 84 Geográficas</b>	Latitud: -9.883333 / Longitud: -77.716667 / Altitud(msnm): 2706		
<b>Tipo:</b>	Convencional / Climática		
<b>Ambito Político</b>	Dpto: Ancash / Prov: Huarmey / Dist.: Huayan		
<b>Ambito Administrativo</b>	AAA: Huarmey Chicama / ALA: Casma Huarmey		
<b>Unidad Hidrográfica:</b>	Cuenca Huarmey		
<b>Nombre de la Fuente:</b>	:		
FECHA	HORA	VALOR (mm)	
22/09/1964	07:00	1.7000	
23/09/1964	07:00	3.5000	
04/01/1965	19:00	0.6000	
05/01/1965	19:00	2.0000	
08/01/1965	19:00	1.5000	
14/02/1965	07:00	5.4000	
15/02/1965	07:00	2.3000	
20/02/1965	07:00	4.3000	
21/02/1965	07:00	6.2000	
22/02/1965	07:00	5.4000	
23/02/1965	07:00	5.2000	
24/02/1965	07:00	6.4000	
25/02/1965	07:00	4.5000	
26/02/1965	07:00	7.5000	
27/02/1965	07:00	6.2000	
28/02/1965	07:00	6.5000	
01/03/1965	07:00	3.2000	
03/03/1965	07:00	13.5000	
04/03/1965	07:00	4.3000	
05/03/1965	07:00	5.7000	
06/03/1965	07:00	4.8000	
07/03/1965	07:00	11.1000	
08/03/1965	07:00	6.9000	
13/03/1965	07:00	8.2000	



14/03/1965	07:00	5.2000
16/03/1965	07:00	2.2000
18/03/1965	07:00	10.5000
19/03/1965	07:00	7.0000
20/03/1965	07:00	17.7000
21/03/1965	07:00	5.2000
22/03/1965	07:00	4.0000
23/03/1965	07:00	2.8000
01/04/1965	07:00	0.5000
02/04/1965	07:00	2.0000
04/04/1965	07:00	1.2000
09/04/1965	07:00	6.9000
10/04/1965	07:00	2.4000
18/04/1965	07:00	1.2000
22/04/1965	07:00	1.5000
24/04/1965	07:00	0.5000
25/04/1965	07:00	0.2000
26/04/1965	07:00	1.7000
03/05/1965	07:00	0.6000
04/05/1965	07:00	0.4000
08/05/1965	07:00	1.7000
09/05/1965	07:00	1.0000
19/07/1965	07:00	0.5000
23/08/1965	19:00	0.7000
24/08/1965	19:00	0.3000
25/08/1965	19:00	0.7000
26/08/1965	19:00	0.5000
30/08/1965	19:00	2.3000
31/08/1965	19:00	4.5000
15/10/1965	19:00	1.3000
16/10/1965	19:00	1.3000
17/10/1965	19:00	2.2000
21/10/1965	19:00	2.5000
22/10/1965	19:00	1.6000
27/10/1965	19:00	3.4000
28/10/1965	19:00	4.5000
29/10/1965	19:00	2.5000
30/10/1965	19:00	3.3000
31/10/1965	19:00	5.2000
07/11/1965	19:00	5.5000
08/11/1965	19:00	1.0000
09/11/1965	19:00	2.4000
14/12/1965	19:00	3.6000
15/12/1965	19:00	4.2000



17/12/1965	19:00	5.0000
22/12/1965	19:00	4.0000
28/12/1965	19:00	0.5000
29/12/1965	19:00	2.5000
30/12/1965	07:00	0.7000
30/12/1965	19:00	1.5000
31/12/1965	07:00	0.6000
01/01/1966	19:00	1.2000
02/01/1966	07:00	2.3000
02/01/1966	19:00	0.5000
06/01/1966	19:00	3.3000
07/01/1966	19:00	4.0000
08/01/1966	19:00	1.5000
09/01/1966	19:00	2.5000
10/01/1966	19:00	9.0000
11/01/1966	07:00	0.5000
11/01/1966	19:00	1.4000
12/01/1966	19:00	0.8000
15/01/1966	19:00	1.0000
17/01/1966	19:00	3.3000
04/02/1966	19:00	0.6000
13/02/1966	19:00	3.2000
14/02/1966	19:00	3.0000
15/02/1966	19:00	4.5000
16/02/1966	19:00	1.6000
18/02/1966	19:00	2.6000
20/02/1966	19:00	0.6000
21/02/1966	19:00	1.5000
22/02/1966	07:00	1.0000
23/02/1966	19:00	0.7000
24/02/1966	19:00	8.5000
27/02/1966	07:00	3.0000
28/02/1966	19:00	1.7000
03/03/1966	19:00	15.0000
07/03/1966	19:00	9.8000
08/03/1966	19:00	4.7000
09/03/1966	19:00	11.0000
12/03/1966	19:00	2.5000
17/03/1966	19:00	0.5000
18/03/1966	19:00	0.7000
27/03/1966	19:00	1.0000
08/04/1966	07:00	1.4000
08/04/1966	19:00	5.5000
14/04/1966	19:00	6.3000



23/04/1966	19:00	1.7000
26/04/1966	07:00	1.2000
12/09/1966	19:00	2.3000
13/09/1966	07:00	1.2000
13/09/1966	19:00	2.0000
14/09/1966	19:00	1.5000
15/09/1966	19:00	1.3000
16/09/1966	19:00	2.2000
17/09/1966	07:00	1.5000
17/09/1966	19:00	2.1000
18/09/1966	19:00	2.5000
19/09/1966	19:00	1.4000
21/09/1966	19:00	2.7000
22/09/1966	19:00	2.9000
23/09/1966	19:00	2.0000
08/10/1966	19:00	1.6000
09/10/1966	19:00	1.2000
10/10/1966	19:00	2.5000
12/10/1966	19:00	2.2000
13/10/1966	19:00	3.0000
14/10/1966	19:00	6.0000
15/10/1966	07:00	0.6000
15/10/1966	19:00	2.7000
16/10/1966	19:00	15.0000
17/10/1966	19:00	10.5000
18/10/1966	19:00	4.3000
03/01/1967	19:00	12.3000
04/01/1967	19:00	6.2000
05/01/1967	07:00	0.5000
05/01/1967	19:00	1.8000
06/01/1967	19:00	8.0000
08/01/1967	19:00	0.5000
09/01/1967	19:00	1.0000
10/01/1967	19:00	1.9000
11/01/1967	19:00	1.0000
12/01/1967	19:00	3.6000
13/01/1967	19:00	3.0000
14/01/1967	19:00	0.9000
15/01/1967	19:00	5.4000
17/01/1967	19:00	0.8000
19/01/1967	19:00	1.9000
20/01/1967	19:00	1.3000
21/01/1967	19:00	0.6000
22/01/1967	07:00	0.5000



22/01/1967	19:00	0.8000
23/01/1967	07:00	1.0000
23/01/1967	19:00	1.9000
24/01/1967	19:00	5.5000
25/01/1967	07:00	0.5000
25/01/1967	19:00	11.5000
26/01/1967	19:00	5.3000
27/01/1967	19:00	3.8000
28/01/1967	19:00	3.0000
30/01/1967	07:00	1.5000
30/01/1967	19:00	12.0000
02/02/1967	19:00	0.5000
04/02/1967	19:00	6.0000
05/02/1967	19:00	8.0000
06/02/1967	19:00	8.7000
07/02/1967	07:00	0.6000
07/02/1967	19:00	7.0000
08/02/1967	07:00	10.5000
08/02/1967	19:00	13.0000
09/02/1967	07:00	28.5000
09/02/1967	19:00	5.6000
10/02/1967	19:00	5.0000
11/02/1967	07:00	0.7000
11/02/1967	19:00	5.0000
14/02/1967	19:00	0.7000
16/02/1967	07:00	1.0000
17/02/1967	19:00	0.6000
18/02/1967	07:00	17.0000
18/02/1967	19:00	2.5000
19/02/1967	07:00	1.1000
19/02/1967	19:00	5.0000
20/02/1967	07:00	2.2000
20/02/1967	19:00	16.5000
21/02/1967	07:00	0.7000
21/02/1967	19:00	0.6000
22/02/1967	19:00	1.0000
23/02/1967	07:00	2.0000
23/02/1967	19:00	1.8000
24/02/1967	07:00	8.0000
24/02/1967	19:00	1.4000
25/02/1967	19:00	6.4000
26/02/1967	07:00	0.6000
26/02/1967	19:00	2.7000
27/02/1967	19:00	2.2000



28/02/1967	19:00	2.1000
01/03/1967	19:00	1.1000
02/03/1967	07:00	0.7000
02/03/1967	19:00	0.6000
03/03/1967	19:00	1.6000
09/03/1967	19:00	4.0000
10/03/1967	07:00	1.5000
10/03/1967	19:00	6.0000
11/03/1967	07:00	1.0000
14/03/1967	19:00	5.4000
15/03/1967	07:00	7.9000
15/03/1967	19:00	1.5000
17/03/1967	19:00	3.0000
18/03/1967	07:00	6.8000
18/03/1967	19:00	0.8000
19/03/1967	07:00	3.0000
20/03/1967	07:00	2.8000
20/03/1967	19:00	2.2000
21/03/1967	19:00	0.6000
27/03/1967	19:00	3.0000
29/03/1967	19:00	2.0000
01/04/1967	19:00	2.3000
02/04/1967	07:00	1.2000
02/04/1967	19:00	3.1000
22/04/1967	19:00	5.8000
25/04/1967	19:00	2.0000
08/06/1967	19:00	3.5000
07/10/1967	19:00	6.4000
08/10/1967	19:00	10.6000
09/10/1967	19:00	7.2000
01/02/1968	07:00	2.3000
01/02/1968	19:00	7.5000
02/02/1968	19:00	9.2000
03/02/1968	07:00	1.3000
03/02/1968	19:00	5.5000
07/03/1968	19:00	4.5000
08/03/1968	19:00	7.2000
15/03/1968	19:00	3.2000
17/03/1968	07:00	3.3000
17/03/1968	19:00	2.7000
18/03/1968	19:00	4.4000
19/03/1968	19:00	4.0000
20/03/1968	07:00	3.7000
20/03/1968	19:00	5.2000



21/03/1968	19:00	6.3000
22/03/1968	19:00	5.0000
23/03/1968	19:00	2.5000
10/10/1968	19:00	2.7000
07/11/1968	19:00	3.5000
05/01/1969	19:00	0.6000
06/01/1969	19:00	0.5000
07/01/1969	19:00	2.5000
08/01/1969	19:00	1.2000
12/01/1969	19:00	1.0000
17/01/1969	07:00	1.3000
17/01/1969	19:00	6.0000
27/01/1969	19:00	0.5000
29/01/1969	07:00	0.6000
04/02/1969	19:00	0.6000
05/02/1969	19:00	0.7000
06/02/1969	19:00	4.5000
07/02/1969	19:00	0.5000
12/02/1969	19:00	1.0000
13/02/1969	07:00	2.5000
23/02/1969	19:00	2.5000
24/02/1969	19:00	5.0000
25/02/1969	19:00	0.6000
01/03/1969	19:00	2.3000
02/03/1969	07:00	2.0000
02/03/1969	19:00	4.5000
03/03/1969	19:00	4.5000
04/03/1969	19:00	2.5000
05/03/1969	19:00	3.2000
06/03/1969	19:00	2.1000
07/03/1969	07:00	6.0000
09/03/1969	19:00	2.5000
11/03/1969	07:00	1.5000
11/03/1969	19:00	10.0000
14/03/1969	19:00	2.3000
15/03/1969	07:00	2.0000
15/03/1969	19:00	3.4000
21/03/1969	19:00	2.0000
22/03/1969	19:00	4.1000
23/03/1969	07:00	5.2000
23/03/1969	19:00	6.5000
27/03/1969	19:00	3.0000
01/04/1969	19:00	2.3000
02/04/1969	19:00	6.5000



09/04/1969	19:00	2.1000
13/04/1969	19:00	4.3000
14/04/1969	19:00	2.6000
15/04/1969	19:00	14.3000
15/10/1969	07:00	1.0000
16/10/1969	07:00	11.1000
16/10/1969	19:00	1.5000
17/10/1969	07:00	1.5000
24/10/1969	19:00	3.2000
02/11/1969	19:00	1.0000
11/11/1969	19:00	1.8000
22/11/1969	07:00	3.0000
01/12/1969	19:00	5.2000
02/12/1969	19:00	2.5000
03/12/1969	07:00	4.8000
03/12/1969	19:00	9.8000
04/12/1969	19:00	4.0000
05/12/1969	19:00	2.3000
06/12/1969	19:00	5.3000
16/12/1969	07:00	0.7000
16/12/1969	19:00	1.6000
20/12/1969	19:00	5.1000
21/12/1969	07:00	1.2000
21/12/1969	19:00	2.3000
22/12/1969	19:00	2.2000
23/12/1969	07:00	1.1000
23/12/1969	19:00	3.1000
24/12/1969	19:00	3.6000
07/03/1970	19:00	3.5000
08/03/1970	07:00	0.6000
08/03/1970	19:00	6.8000
09/03/1970	07:00	2.1000
12/03/1970	19:00	1.9000
14/03/1970	19:00	10.5000
15/03/1970	19:00	1.9000
16/03/1970	19:00	4.0000
17/03/1970	19:00	6.5000
23/03/1970	19:00	0.8000
24/03/1970	19:00	3.0000
27/03/1970	19:00	2.5000
07/04/1970	19:00	15.5000
09/04/1970	19:00	4.4000
15/04/1970	19:00	5.3000
16/04/1970	19:00	7.2000



29/04/1970	19:00	20.5000
04/05/1970	07:00	3.5000
16/05/1970	07:00	4.2000
15/11/1970	19:00	4.5000
16/11/1970	19:00	2.3000
17/11/1970	19:00	1.5000
18/11/1970	19:00	6.2000
22/11/1970	19:00	4.6000
23/11/1970	19:00	4.7000
24/11/1970	19:00	4.3000
25/11/1970	19:00	3.6000
04/12/1970	19:00	3.2000
05/12/1970	07:00	2.3000
05/12/1970	19:00	4.6000
06/12/1970	07:00	6.3000
06/12/1970	19:00	4.2000
07/12/1970	19:00	4.1000
08/12/1970	19:00	3.2000
09/12/1970	19:00	5.6000
27/12/1970	19:00	10.5000
03/01/1971	19:00	18.5000
04/01/1971	19:00	10.0000
05/01/1971	19:00	20.5000
06/01/1971	19:00	13.3000
07/01/1971	19:00	1.0000
18/01/1971	19:00	3.7000
29/01/1971	07:00	2.3000
29/01/1971	19:00	2.5000
06/02/1971	19:00	1.3000
07/02/1971	19:00	1.8000
11/02/1971	19:00	1.0000
15/02/1971	19:00	3.8000
17/02/1971	07:00	1.5000
17/02/1971	19:00	6.2000
18/02/1971	07:00	3.7000
18/02/1971	19:00	12.5000
19/02/1971	19:00	3.2000
22/02/1971	07:00	4.8000
22/02/1971	19:00	6.3000
23/02/1971	19:00	25.7000
24/02/1971	19:00	1.2000
25/02/1971	19:00	6.6000
02/03/1971	19:00	6.6000
03/03/1971	07:00	2.5000



03/03/1971	19:00	5.3000
05/03/1971	07:00	3.0000
08/03/1971	19:00	2.0000
11/03/1971	07:00	2.8000
11/03/1971	19:00	6.3000
12/03/1971	19:00	3.0000
13/03/1971	19:00	4.5000
14/03/1971	19:00	6.2000
15/03/1971	19:00	3.0000
16/03/1971	19:00	7.0000
17/03/1971	19:00	2.1000
18/03/1971	19:00	5.2000
19/03/1971	19:00	1.1000
20/03/1971	19:00	2.0000
24/03/1971	07:00	1.3000
24/03/1971	19:00	2.6000
25/03/1971	19:00	9.6000
26/03/1971	19:00	3.5000
27/03/1971	19:00	1.3000
28/03/1971	19:00	2.4000
29/03/1971	19:00	4.5000
30/03/1971	19:00	6.4000
31/03/1971	19:00	12.6000
04/04/1971	19:00	10.4000
05/04/1971	19:00	1.6000
19/12/1971	19:00	4.5000
20/12/1971	19:00	2.6000
21/12/1971	07:00	2.1000
21/12/1971	19:00	6.3000
22/12/1971	19:00	7.3000
23/12/1971	19:00	4.3000
24/12/1971	19:00	2.7000
25/12/1971	19:00	4.6000
26/12/1971	07:00	3.6000
26/12/1971	19:00	8.2000
27/12/1971	07:00	2.5000
27/12/1971	19:00	6.1000
28/12/1971	07:00	3.2000
28/12/1971	19:00	8.2000
29/12/1971	19:00	6.3000
30/12/1971	19:00	5.6000
31/12/1971	19:00	3.8000
01/01/1972	07:00	5.7000
01/01/1972	19:00	7.4000



02/01/1972	07:00	3.5000
02/01/1972	19:00	5.2000
03/01/1972	07:00	6.3000
03/01/1972	19:00	9.2000
04/01/1972	19:00	14.3000
05/01/1972	19:00	8.2000
07/01/1972	19:00	4.6000
08/01/1972	19:00	6.2000
09/01/1972	07:00	3.1000
09/01/1972	19:00	5.3000
10/01/1972	07:00	2.0000
10/01/1972	19:00	8.2000
11/01/1972	19:00	9.3000
13/01/1972	19:00	7.5000
18/01/1972	19:00	7.6000
19/01/1972	07:00	5.4000
23/01/1972	19:00	2.3000
29/01/1972	19:00	8.4000
30/01/1972	19:00	6.3000
01/02/1972	07:00	5.6000
04/02/1972	19:00	5.4000
05/02/1972	19:00	3.2000
06/02/1972	19:00	8.2000
07/02/1972	19:00	4.8000
08/02/1972	19:00	10.5000
09/02/1972	07:00	6.3000
09/02/1972	19:00	18.7000
12/02/1972	19:00	6.2000
26/02/1972	19:00	7.4000
27/02/1972	19:00	5.3000
28/02/1972	19:00	8.4000
29/02/1972	19:00	12.6000
01/03/1972	19:00	6.4000
02/03/1972	19:00	9.7000
03/03/1972	07:00	6.7000
03/03/1972	19:00	5.8000
04/03/1972	07:00	4.5000
04/03/1972	19:00	14.6000
06/03/1972	19:00	6.2000
07/03/1972	07:00	9.3000
07/03/1972	19:00	8.7000
08/03/1972	07:00	4.5000
08/03/1972	19:00	6.3000
09/03/1972	19:00	9.2000



---

10/03/1972	07:00	13.6000
10/03/1972	19:00	10.7000
12/03/1972	19:00	16.3000
13/03/1972	07:00	2.8000
13/03/1972	19:00	3.5000
14/03/1972	07:00	4.4000
14/03/1972	19:00	2.6000
15/03/1972	07:00	3.8000
15/03/1972	19:00	6.8000
16/03/1972	07:00	7.7000
16/03/1972	19:00	4.6000
17/03/1972	19:00	6.7000
18/03/1972	19:00	9.7000
19/03/1972	19:00	27.8000
20/03/1972	07:00	11.4000
20/03/1972	19:00	13.9000
21/03/1972	07:00	4.7000
22/03/1972	19:00	2.4000
23/03/1972	07:00	4.1000
23/03/1972	19:00	13.4000
24/03/1972	07:00	8.2000
24/03/1972	19:00	2.6000
25/03/1972	19:00	6.7000
26/03/1972	07:00	5.4000
29/03/1972	19:00	8.3000
30/03/1972	19:00	12.4000
31/03/1972	19:00	14.3000

## ANEXO 6: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN QUIAN



### Estación Quian (Codigo: 154105) Precipitación Acumulada En 12 Horas

<b>Operador:</b>	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología		
<b>WGS 84 Geográficas</b>	Latitud: -9.766667 / Longitud: -77.95 / Altitud(msnm): 876		
<b>Tipo:</b>	Convencional / Climática		
<b>Ambito Político</b>	Dpto: Ancash / Prov: Huaraz / Dist.: Huanchay		
<b>Ambito Administrativo</b>	AAA: Huarney Chicama / ALA: Casma Huarney		
<b>Unidad Hidrográfica:</b>	Cuenca Culebras		
<b>Nombre de la Fuente:</b>	:		
FECHA	HORA	VALOR (mm)	
05/07/1965	19:00	3.1000	
15/07/1965	19:00	4.0000	
24/07/1965	19:00	4.1000	
27/07/1965	19:00	3.1000	
05/08/1965	19:00	3.0000	
20/08/1965	19:00	0.5000	
30/08/1965	19:00	0.2000	
10/09/1965	19:00	1.3000	
18/09/1965	19:00	3.5000	
29/09/1965	19:00	0.2000	
13/10/1965	19:00	4.5000	
27/10/1965	19:00	0.2000	
30/10/1965	19:00	0.3000	
03/11/1965	19:00	2.0000	
04/11/1965	19:00	0.1000	
20/11/1965	19:00	4.0000	
27/11/1965	19:00	1.0000	
03/12/1965	19:00	4.5000	
05/12/1965	19:00	0.5000	
15/12/1965	19:00	0.2000	
18/12/1965	19:00	0.1000	
28/12/1965	19:00	2.1000	
10/01/1966	19:00	0.2000	
14/01/1966	19:00	0.5000	



19/01/1966	19:00	0.1000
27/01/1966	19:00	2.0000
10/02/1966	19:00	3.1000
18/02/1966	19:00	0.1000
19/02/1966	19:00	0.2000
28/02/1966	19:00	4.5000
15/03/1966	19:00	0.1000
20/03/1966	19:00	0.2000
15/04/1966	19:00	0.2000
30/04/1966	19:00	0.3000
01/07/1966	19:00	9.2000
01/08/1966	19:00	9.6000
01/09/1966	19:00	10.2000
07/02/1967	07:00	0.3000
08/02/1967	07:00	1.0000
09/02/1967	07:00	0.6000
23/02/1967	07:00	0.1000
23/07/1967	19:00	0.2000
03/02/1968	19:00	3.6000
11/04/1968	19:00	1.6000
17/01/1969	07:00	0.2000
19/02/1969	19:00	0.4000
21/02/1969	19:00	0.3000
26/02/1969	19:00	0.4000
27/02/1969	19:00	0.6000
28/02/1969	19:00	0.6000
10/03/1969	19:00	1.8000
11/03/1969	19:00	1.1000
14/04/1969	19:00	0.5000
18/04/1969	19:00	0.3000
12/01/1970	19:00	7.8000
15/01/1970	19:00	10.8000
16/01/1970	07:00	5.7000
16/01/1970	19:00	5.7000
19/01/1970	19:00	4.5000
20/01/1970	19:00	1.8000
22/02/1971	07:00	3.6000
11/03/1971	07:00	1.2000
03/01/1972	19:00	0.8000
30/01/1972	07:00	1.0000
27/02/1972	07:00	0.6000
10/03/1972	19:00	5.2000
12/03/1972	19:00	4.2000
16/03/1972	19:00	3.4000



21/03/1972	19:00	3.1000
23/03/1972	19:00	8.8000
24/03/1972	19:00	3.7000
01/04/1972	07:00	0.7000
10/01/1973	07:00	4.0000
21/01/1973	19:00	0.1000
22/01/1973	19:00	0.6000
23/01/1973	19:00	0.6000
24/01/1973	19:00	0.7000
26/01/1973	19:00	0.8000
28/01/1973	19:00	0.8000
05/02/1973	19:00	0.8000
11/02/1973	19:00	10.0000
20/02/1973	19:00	9.3000
21/02/1973	19:00	7.3000
04/03/1973	19:00	0.1000
05/03/1973	19:00	0.5000
06/03/1973	19:00	0.1200
11/03/1973	19:00	0.8000
12/03/1973	19:00	0.1000
16/03/1973	19:00	0.5000
11/05/1973	07:00	0.6000
13/12/1973	19:00	0.9000
31/12/1973	19:00	0.8000
24/02/1975	19:00	0.8000
25/02/1975	19:00	1.2000
26/02/1975	19:00	8.2000
27/02/1975	19:00	7.5000
28/02/1975	19:00	4.0000
02/03/1975	19:00	4.2000
04/03/1975	19:00	4.4000
09/03/1975	19:00	4.7000
17/03/1975	19:00	6.8000
18/03/1975	19:00	4.6000
22/03/1975	19:00	5.3000
26/03/1975	19:00	3.7000
28/03/1975	19:00	6.7000
29/03/1975	19:00	3.6000
01/04/1975	19:00	0.4000
12/04/1975	19:00	0.9000
16/04/1975	19:00	0.3000
17/04/1975	19:00	0.3000
26/04/1975	19:00	0.6000
27/04/1975	19:00	0.4000



12/01/1976	19:00	0.5000
15/01/1976	19:00	0.3000
17/01/1976	19:00	0.1000
21/01/1976	19:00	0.5000
23/01/1976	19:00	0.5000
26/01/1976	19:00	0.1000
27/01/1976	19:00	0.4000
28/01/1976	19:00	0.4000
29/01/1976	19:00	0.3000
03/02/1976	19:00	0.5000
04/02/1976	19:00	0.5000
05/02/1976	19:00	0.3000
26/02/1976	19:00	0.4000
27/02/1976	19:00	0.3000
28/02/1976	19:00	0.2000
29/02/1976	19:00	0.3000
03/03/1976	19:00	0.3000
04/03/1976	19:00	0.5000
07/03/1976	19:00	0.8000
11/03/1976	19:00	0.2000
15/03/1976	19:00	0.5000
16/03/1976	19:00	0.4000
18/03/1976	19:00	0.1000
01/04/1976	19:00	0.1000
02/04/1976	19:00	0.2000
03/04/1976	19:00	0.3000
09/04/1976	19:00	0.4000
12/04/1976	19:00	0.2000
17/04/1976	19:00	0.4000
18/04/1976	19:00	0.8000
20/04/1976	19:00	0.3000
22/01/1977	19:00	0.3000
27/01/1977	19:00	0.5000
31/01/1977	19:00	0.4000
03/02/1977	19:00	0.7000
05/02/1977	19:00	0.3000
06/02/1977	19:00	0.3000
07/02/1977	19:00	1.7000
09/02/1977	19:00	0.9000
10/02/1977	19:00	1.0000
11/02/1977	19:00	3.1000
12/02/1977	19:00	2.2000
13/02/1977	19:00	7.0000
15/02/1977	19:00	2.8000



16/02/1977	19:00	0.5000
22/02/1977	19:00	0.3000
28/02/1977	19:00	0.2000
14/03/1978	19:00	0.3000
19/03/1978	19:00	0.5000
21/03/1978	19:00	4.3000
24/03/1978	19:00	2.4000
25/03/1978	19:00	0.3000
29/03/1978	19:00	3.2000
30/03/1978	19:00	5.6000
03/04/1978	19:00	1.2000
03/03/1979	19:00	0.4000
04/03/1979	19:00	0.4000
05/03/1979	19:00	2.4000
06/03/1979	19:00	9.0000
07/03/1979	19:00	1.3000
15/03/1979	19:00	2.3000
21/03/1979	19:00	1.2000
12/12/1979	19:00	0.1000
29/12/1979	19:00	0.3000
08/01/1980	19:00	0.1000
12/01/1980	19:00	0.1000
20/01/1980	19:00	0.2000
03/02/1980	19:00	0.2000
13/02/1980	19:00	0.2000
16/02/1980	19:00	0.1000
27/02/1980	19:00	0.3000
29/02/1980	19:00	0.3000
01/03/1980	19:00	0.2000
08/03/1980	19:00	0.4000
09/03/1980	19:00	0.5000
12/03/1980	19:00	0.3000
19/03/1980	19:00	0.3000
20/03/1980	19:00	0.1000
26/03/1980	19:00	0.3000
29/03/1980	19:00	0.2000
03/01/1981	19:00	0.7000
06/01/1981	19:00	0.4000
10/01/1981	19:00	0.7000
14/01/1981	19:00	0.6000
15/01/1981	19:00	0.6000
17/01/1981	19:00	0.5000
24/01/1981	19:00	0.4000
31/01/1981	19:00	0.4000



04/02/1981	19:00	0.4000
06/02/1981	19:00	0.4000
08/02/1981	19:00	0.3000
14/02/1981	19:00	0.5000
19/02/1981	19:00	0.1000
21/02/1981	19:00	1.5000
23/02/1981	19:00	1.6000
01/03/1981	19:00	0.5000
02/03/1981	19:00	0.4000
04/03/1981	19:00	0.3000
06/03/1981	19:00	0.5000
07/03/1981	19:00	0.8000
08/03/1981	19:00	0.7000
09/03/1981	19:00	2.2000
13/03/1981	19:00	0.8000
16/03/1981	19:00	2.1000
19/03/1981	19:00	0.8000
20/03/1981	19:00	0.4000
22/03/1981	19:00	0.6000
23/03/1981	19:00	0.4000
24/03/1981	19:00	2.2000
25/03/1981	19:00	3.1000
26/03/1981	19:00	0.8000
27/03/1981	19:00	0.9000
29/03/1981	19:00	0.4000
03/04/1981	19:00	0.4000
05/04/1981	19:00	0.4000
09/04/1981	19:00	0.5000
10/04/1981	19:00	0.3000
09/07/1981	19:00	0.2000
13/07/1981	19:00	0.3000
16/07/1981	19:00	0.2000
06/08/1981	19:00	0.2000
12/08/1981	19:00	0.3000
26/08/1981	19:00	0.3000
31/08/1981	19:00	0.1000
13/09/1981	19:00	0.3000
16/09/1981	19:00	0.5000
21/09/1981	19:00	0.3000
30/09/1981	19:00	0.1000
09/10/1981	19:00	0.1000
14/10/1981	19:00	0.2000
17/10/1981	19:00	0.3000
21/10/1981	19:00	0.3000



27/10/1981	19:00	0.3000
30/10/1981	19:00	0.5000
09/11/1981	19:00	0.2000
15/11/1981	19:00	0.3000
21/11/1981	19:00	0.5000
27/11/1981	19:00	0.2000
30/11/1981	19:00	0.3000
14/12/1981	19:00	0.2000
16/12/1981	19:00	0.4000
21/12/1981	19:00	0.2000
26/12/1981	19:00	0.5000
29/12/1981	19:00	0.2000
31/12/1981	19:00	0.3000
07/01/1983	19:00	0.3000
15/01/1983	19:00	0.3000
20/01/1983	19:00	0.3000
21/01/1983	19:00	0.2000
22/01/1983	19:00	0.1000
05/02/1983	19:00	0.5000
10/02/1983	19:00	0.3000
11/02/1983	19:00	0.2000
18/02/1983	19:00	0.5000
19/02/1983	19:00	0.1000
23/02/1983	19:00	0.1000
28/02/1983	19:00	0.5000
01/03/1983	19:00	0.2000
09/03/1983	19:00	0.2000
12/03/1983	19:00	0.1000
15/03/1983	19:00	0.2000
16/03/1983	19:00	0.5000
17/03/1983	19:00	0.1000
05/04/1983	19:00	0.2000
08/04/1983	19:00	0.3000
11/04/1983	19:00	0.2000
12/04/1983	19:00	0.3000
16/04/1983	19:00	0.2000
17/04/1983	19:00	0.3000
19/04/1983	19:00	0.3000
20/04/1983	19:00	0.4000
21/04/1983	19:00	0.5000
22/04/1983	19:00	0.6000
23/04/1983	19:00	0.3000
24/04/1983	19:00	0.2000
25/04/1983	19:00	0.4000



26/04/1983	19:00	0.6000
27/04/1983	19:00	0.3000
28/04/1983	19:00	0.4000
29/04/1983	19:00	0.5000
30/04/1983	19:00	0.4000
02/05/1983	19:00	0.1000
03/05/1983	19:00	0.3000
04/05/1983	19:00	0.2000
05/05/1983	19:00	0.2000
06/05/1983	19:00	0.3000
07/05/1983	19:00	0.4000
08/05/1983	19:00	0.5000
09/05/1983	19:00	0.6000
10/05/1983	19:00	0.3000
11/05/1983	19:00	0.2000
16/05/1983	19:00	0.3000
17/05/1983	19:00	0.5000
18/05/1983	19:00	0.5000
19/05/1983	19:00	0.6000
20/05/1983	19:00	0.2000
21/05/1983	19:00	0.1000
22/05/1983	19:00	0.1000
23/05/1983	19:00	0.1000
02/01/1984	19:00	0.2000
03/01/1984	19:00	0.2000
04/01/1984	19:00	0.3000
09/01/1984	19:00	0.3000
10/01/1984	19:00	0.2000
11/01/1984	19:00	0.2000
14/01/1984	19:00	0.1000
15/01/1984	19:00	0.2000
16/01/1984	19:00	0.2000
19/01/1984	19:00	0.2000
20/01/1984	19:00	0.3000
21/01/1984	19:00	0.3000
22/01/1984	19:00	0.2000
23/01/1984	19:00	0.2000
24/01/1984	19:00	0.2000
25/01/1984	19:00	0.2000
26/01/1984	19:00	0.2000
27/01/1984	19:00	0.1000
28/01/1984	19:00	0.2000
29/01/1984	19:00	0.2000
30/01/1984	19:00	0.3000



31/01/1984	19:00	0.4000
02/02/1984	19:00	0.1000
03/02/1984	19:00	0.2000
04/02/1984	19:00	0.2000
05/02/1984	19:00	0.3000
06/02/1984	19:00	0.2000
07/02/1984	19:00	0.2000
08/02/1984	19:00	0.3000
09/02/1984	19:00	0.2000
10/02/1984	19:00	0.2000
11/02/1984	19:00	0.1000
12/02/1984	19:00	0.2000
19/02/1984	19:00	0.3000
20/02/1984	19:00	0.4000
21/02/1984	19:00	0.5000
22/02/1984	19:00	0.6000
23/02/1984	19:00	0.7000
24/02/1984	19:00	0.7000
25/02/1984	19:00	0.6000
26/02/1984	19:00	0.5000
27/02/1984	19:00	0.6000
28/02/1984	19:00	0.8000
29/02/1984	19:00	0.8000
02/03/1984	19:00	0.1000
03/03/1984	19:00	0.1000
04/03/1984	19:00	0.2000
05/03/1984	19:00	0.1000
06/03/1984	19:00	0.1000
07/03/1984	19:00	0.2000
08/03/1984	19:00	0.2000
10/07/1985	07:00	1.0000
15/07/1985	07:00	0.4000
16/07/1985	07:00	0.1000
17/07/1985	07:00	1.0000
23/07/1985	07:00	0.3000
25/07/1985	07:00	1.0000
26/07/1985	07:00	0.5000
02/08/1985	07:00	0.4000
03/08/1985	07:00	1.0000
05/08/1985	07:00	0.4000
06/08/1985	07:00	0.2000
07/08/1985	07:00	0.4000
08/08/1985	07:00	0.2000
26/12/1994	07:00	5.0000

## ANEXO 7: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN PUNTA CULEBRAS



### Estación Punta Culebras (Codigo: 000413) Precipitación Acumulada En 12 Horas

<b>Operador:</b>	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología		
<b>WGS 84 Geográficas</b>	Latitud: -9.997714 / Longitud: -78.181778 / Altitud(msnm): 20		
<b>Tipo:</b>	Convencional / Climática		
<b>Ambito Político</b>	Dpto: Ancash / Prov: Huarmey / Dist.: Huarmey		
<b>Ambito Administrativo</b>	AAA: Huarmey Chicama / ALA: Casma Huarmey		
<b>Unidad Hidrográfica:</b>	Intercuenca 1375951		
<b>Nombre de la Fuente:</b>	:		
FECHA	HORA	VALOR (mm)	
13/01/1967	19:00	0.7000	
25/01/1967	19:00	0.5000	
07/02/1967	07:00	0.3000	
08/02/1967	07:00	1.0000	
08/02/1967	19:00	1.0000	
09/02/1967	07:00	0.6000	
23/02/1967	07:00	0.1000	
28/03/1968	19:00	0.6000	
17/01/1969	07:00	0.2000	
15/01/1970	19:00	1.3000	
16/01/1970	07:00	5.7000	
22/02/1971	07:00	3.6000	
11/03/1971	07:00	1.2000	
30/01/1972	07:00	1.0000	
27/02/1972	07:00	0.6000	
01/04/1972	07:00	0.7000	
10/01/1973	07:00	4.0000	
11/05/1973	07:00	0.6000	
11/05/1973	19:00	0.6000	
10/07/1985	07:00	1.0000	
10/07/1985	19:00	0.5000	
15/07/1985	07:00	0.4000	
16/07/1985	07:00	0.1000	
17/07/1985	07:00	1.0000	

17/07/1985	19:00	0.7000
20/07/1985	19:00	0.5000
21/07/1985	19:00	0.4000
23/07/1985	07:00	0.3000
25/07/1985	07:00	1.0000
25/07/1985	19:00	0.5000
26/07/1985	07:00	0.5000
26/07/1985	19:00	0.6000
02/08/1985	07:00	0.4000
02/08/1985	19:00	0.5000
03/08/1985	07:00	1.0000
03/08/1985	19:00	0.3000
05/08/1985	07:00	0.4000
06/08/1985	07:00	0.2000
07/08/1985	07:00	0.4000
08/08/1985	07:00	0.2000
08/08/1985	19:00	0.5000
29/01/1994	19:00	1.0000
26/12/1994	07:00	5.0000

## ANEXO 8: FORMATOS CON INFORMACIÓN DE PRECIPITACIONES DE LA ESTACIÓN SAN DIEGO



### Estación San Diego (Codigo: 000420) Precipitación Acumulada Diaria

<b>Operador:</b>	Servicio Nacional Meteorología E Hidrología	
<b>WGS 84 Geográficas</b>	Latitud: -10.1 / Longitud: -78.1 / Altitud(msnm): 80	
<b>Tipo:</b>	Convencional / Climática	
<b>Ambito Político</b>	Dpto: Ancash / Prov: Huarney / Dist.: Huarney	
<b>Ambito Administrativo</b>	AAA: Huarney Chicama / ALA: Casma Huarney	
<b>Unidad Hidrográfica:</b>	Cuenca Huarney	
<b>Nombre de la Fuente:</b>	:	
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>VALOR (mm)</b>

**ANEXO 9: DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD TEÓRICAS**

DISTRIBUCIÓN NORMAL							
m	x	P(x) = m/(n+1)	$x_m$	S x	Z = (x-x <sub>m</sub> )/S	F(Z)	Delta
1	1.21	0.0270	2.5183	1.1931	-1.0991	0.1359	0.1088
2	1.27	0.0541			-1.0422	0.1487	0.0946
3	1.31	0.0811			-1.0112	0.1560	0.0749
4	1.40	0.1081			-0.9332	0.1753	0.0672
5	1.62	0.1351			-0.7524	0.2259	0.0908
6	1.63	0.1622			-0.7431	0.2287	0.0666
7	1.64	0.1892			-0.7398	0.2297	0.0405
8	1.65	0.2162			-0.7238	0.2346	0.0184
9	1.67	0.2432			-0.7126	0.2380	0.0052
10	1.72	0.2703			-0.6718	0.2509	0.0194
11	1.80	0.2973			-0.6040	0.2729	0.0244
12	1.90	0.3243			-0.5155	0.3031	0.0212
13	1.95	0.3514			-0.4784	0.3162	0.0352
14	1.99	0.3784			-0.4470	0.3274	0.0509
15	2.01	0.4054			-0.4264	0.3349	0.0705
16	2.12	0.4324			-0.3324	0.3698	0.0626
17	2.18	0.4595			-0.2877	0.3868	0.0727
18	2.22	0.4865			-0.2516	0.4007	0.0858
19	2.22	0.5135			-0.2507	0.4010	0.1125
20	2.25	0.5405			-0.2211	0.4125	0.1280
21	2.26	0.5676			-0.2176	0.4139	0.1537
22	2.39	0.5946			-0.1078	0.4571	0.1375
23	2.44	0.6216			-0.0640	0.4745	0.1472
24	2.46	0.6486			-0.0505	0.4799	0.1688
25	2.52	0.6757			0.0048	0.5019	0.1738
26	2.53	0.7027			0.0094	0.5038	0.1989
27	2.68	0.7297			0.1326	0.5527	0.1770
28	2.73	0.7568			0.1778	0.5706	0.1862
29	2.80	0.7838			0.2368	0.5936	0.1902
30	3.16	0.8108			0.5345	0.7035	0.1073
31	3.39	0.8378			0.7274	0.7665	0.0713
32	4.36	0.8649			1.5415	0.9384	0.0735
33	4.54	0.8919			1.6953	0.9550	0.0631
34	4.90	0.9189			1.9972	0.9771	0.0582
35	5.85	0.9459			2.7939	0.9974	0.0515
36	5.90	0.9730			2.8327	0.9977	0.0247

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 2 PARÁMETROS							
m	x	Ln (x)	P(x) = m/(n+1)	$x_m \text{ Ln (x)}$	S Ln (x)	F(Z)	$\Delta$
1	1.21	0.1881	0.0270	0.8365	0.4044	0.0544	0.0274
2	1.27	0.2429	0.0541			0.0710	0.0170
3	1.31	0.2714	0.0811			0.0811	0.0000
4	1.40	0.3399	0.1081			0.1097	0.0016
5	1.62	0.4828	0.1351			0.1909	0.0557
6	1.63	0.4897	0.1622			0.1955	0.0333
7	1.64	0.4921	0.1892			0.1971	0.0080
8	1.65	0.5037	0.2162			0.2052	0.0110
9	1.67	0.5117	0.2432			0.2109	0.0324
10	1.72	0.5405	0.2703			0.2320	0.0382
11	1.80	0.5865	0.2973			0.2682	0.0291
12	1.90	0.6436	0.3243			0.3166	0.0077
13	1.95	0.6666	0.3514			0.3371	0.0142
14	1.99	0.6856	0.3784			0.3545	0.0239
15	2.01	0.6979	0.4054			0.3659	0.0395
16	2.12	0.7523	0.4324			0.4175	0.0150
17	2.18	0.7771	0.4595			0.4415	0.0179
18	2.22	0.7967	0.4865			0.4608	0.0257
19	2.22	0.7972	0.5135			0.4612	0.0523
20	2.25	0.8129	0.5405			0.4767	0.0638
21	2.26	0.8148	0.5676			0.4786	0.0890
22	2.39	0.8712	0.5946			0.5342	0.0604
23	2.44	0.8928	0.6216			0.5553	0.0663
24	2.46	0.8994	0.6486			0.5618	0.0869
25	2.52	0.9259	0.6757			0.5874	0.0883
26	2.53	0.9281	0.7027			0.5895	0.1132
27	2.68	0.9845	0.7297			0.6428	0.0869
28	2.73	1.0045	0.7568			0.6611	0.0957
29	2.80	1.0299	0.7838			0.6838	0.1000
30	3.16	1.1493	0.8108			0.7804	0.0304
31	3.39	1.2197	0.8378			0.8283	0.0095
32	4.36	1.4719	0.8649			0.9419	0.0771
33	4.54	1.5131	0.8919			0.9529	0.0610
34	4.90	1.5895	0.9189			0.9687	0.0498
35	5.85	1.7668	0.9459			0.9893	0.0433
36	5.90	1.7746	0.9730			0.9898	0.0169

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 3 PARÁMETROS										
m	x	P(x) = m/(n+1)	Mediana	x <sub>0</sub>	x - x <sub>0</sub>	Ln (x-x <sub>0</sub> )	x <sub>m</sub> Ln (x-x <sub>0</sub> )	S Ln (x-x <sub>0</sub> )	F(Z)	Δ
1	1.21	0.0270	2.2187	0.8232	0.3837	-0.9578	0.3266	0.6257	0.0200	0.0070
2	1.27	0.0541			0.4517	-0.7948			0.0366	0.0175
3	1.31	0.0811			0.4886	-0.7162			0.0478	0.0333
4	1.40	0.1081			0.5816	-0.5419			0.0826	0.0255
5	1.62	0.1351			0.7975	-0.2263			0.1884	0.0533
6	1.63	0.1622			0.8085	-0.2125			0.1944	0.0323
7	1.64	0.1892			0.8125	-0.2077			0.1966	0.0074
8	1.65	0.2162			0.8316	-0.1844			0.2070	0.0092
9	1.67	0.2432			0.8448	-0.1686			0.2143	0.0289
10	1.72	0.2703			0.8936	-0.1125			0.2414	0.0289
11	1.80	0.2973			0.9744	-0.0259			0.2866	0.0107
12	1.90	0.3243			1.0801	0.0771			0.3450	0.0207
13	1.95	0.3514			1.1243	0.1172			0.3689	0.0176
14	1.99	0.3784			1.1618	0.1500			0.3889	0.0105
15	2.01	0.4054			1.1864	0.1709			0.4018	0.0036
16	2.12	0.4324			1.2986	0.2612			0.4584	0.0260
17	2.18	0.4595			1.3518	0.3015			0.4840	0.0245
18	2.22	0.4865			1.3950	0.3329			0.5040	0.0175
19	2.22	0.5135			1.3961	0.3336			0.5045	0.0090
20	2.25	0.5405			1.4313	0.3586			0.5204	0.0202
21	2.26	0.5676			1.4355	0.3615			0.5223	0.0453
22	2.39	0.5946			1.5666	0.4489			0.5775	0.0171
23	2.44	0.6216			1.6187	0.4816			0.5979	0.0238
24	2.46	0.6486			1.6349	0.4916			0.6040	0.0447
25	2.52	0.6757			1.7008	0.5311			0.6281	0.0476
26	2.53	0.7027			1.7064	0.5344			0.6301	0.0726
27	2.68	0.7297			1.8533	0.6170			0.6787	0.0510
28	2.73	0.7568			1.9073	0.6457			0.6950	0.0618
29	2.80	0.7838			1.9776	0.6819			0.7149	0.0688
30	3.16	0.8108			2.3329	0.8471			0.7973	0.0135
31	3.39	0.8378			2.5629	0.9412			0.8370	0.0008
32	4.36	0.8649			3.5343	1.2625			0.9327	0.0678
33	4.54	0.8919			3.7178	1.3131			0.9426	0.0507
34	4.90	0.9189			4.0780	1.4056			0.9577	0.0388
35	5.85	0.9459			5.0286	1.6151			0.9803	0.0343
36	5.90	0.9730			5.0749	1.6243			0.9810	0.0080

DISTRIBUCIÓN GAMMA 2 PARÁMETROS										
m	x	Ln (x)	P(x) = m/(n+1)	$x_m$	$x_m \text{Ln}(x)$	$\Upsilon$	$\Upsilon$	$\beta$	F(x)	$\Delta$
1	1.21	0.1881	0.0270	2.5183	0.8365	0.0871	5.9035	0.4266	0.0739	0.0468
2	1.27	0.2429	0.0541						0.0899	0.0358
3	1.31	0.2714	0.0811						0.0993	0.0182
4	1.40	0.3399	0.1081						0.1253	0.0171
5	1.62	0.4828	0.1351						0.1961	0.0610
6	1.63	0.4897	0.1622						0.2001	0.0380
7	1.64	0.4921	0.1892						0.2015	0.0124
8	1.65	0.5037	0.2162						0.2085	0.0077
9	1.67	0.5117	0.2432						0.2134	0.0298
10	1.72	0.5405	0.2703						0.2317	0.0386
11	1.80	0.5865	0.2973						0.2629	0.0344
12	1.90	0.6436	0.3243						0.3053	0.0191
13	1.95	0.6666	0.3514						0.3233	0.0280
14	1.99	0.6856	0.3784						0.3387	0.0396
15	2.01	0.6979	0.4054						0.3489	0.0565
16	2.12	0.7523	0.4324						0.3954	0.0370
17	2.18	0.7771	0.4595						0.4175	0.0420
18	2.22	0.7967	0.4865						0.4353	0.0512
19	2.22	0.7972	0.5135						0.4358	0.0778
20	2.25	0.8129	0.5405						0.4502	0.0903
21	2.26	0.8148	0.5676						0.4519	0.1156
22	2.39	0.8712	0.5946						0.5048	0.0898
23	2.44	0.8928	0.6216						0.5253	0.0963
24	2.46	0.8994	0.6486						0.5316	0.1170
25	2.52	0.9259	0.6757						0.5569	0.1188
26	2.53	0.9281	0.7027						0.5590	0.1437
27	2.68	0.9845	0.7297						0.6128	0.1169
28	2.73	1.0045	0.7568						0.6316	0.1252
29	2.80	1.0299	0.7838						0.6552	0.1286
30	3.16	1.1493	0.8108						0.7596	0.0512
31	3.39	1.2197	0.8378						0.8135	0.0243
32	4.36	1.4719	0.8649						0.9449	0.0800
33	4.54	1.5131	0.8919						0.9571	0.0653
34	4.90	1.5895	0.9189						0.9743	0.0554
35	5.85	1.7668	0.9459						0.9939	0.0480
36	5.90	1.7746	0.9730						0.9944	0.0214

DISTRIBUCIÓN GAMMA 3 PARÁMETROS O PEARSON TIPO III											
m	x	$P(x) = \frac{x^m}{m!}$	$x_m$	S	Cs	$x_0$	$x-x_0$	$\beta$	$\gamma$	F(x)	$\Delta$
1	1.21	0.0270	2.518	1.193	1.641	1.064	0.1424	0.979	1.484	0.0398	0.0128
2	1.27	0.0541					0.2103			0.0683	0.0142
3	1.31	0.0811					0.2473			0.0849	0.0038
4	1.40	0.1081					0.3403			0.1292	0.0211
5	1.62	0.1351					0.5561			0.2365	0.1013
6	1.63	0.1622					0.5672			0.2420	0.0798
7	1.64	0.1892					0.5711			0.2439	0.0547
8	1.65	0.2162					0.5902			0.2534	0.0371
9	1.67	0.2432					0.6035			0.2599	0.0167
10	1.72	0.2703					0.6523			0.2838	0.0135
11	1.80	0.2973					0.7331			0.3226	0.0253
12	1.90	0.3243					0.8388			0.3717	0.0473
13	1.95	0.3514					0.8830			0.3915	0.0402
14	1.99	0.3784					0.9205			0.4081	0.0297
15	2.01	0.4054					0.9451			0.4188	0.0133
16	2.12	0.4324					1.0572			0.4658	0.0333
17	2.18	0.4595					1.1105			0.4871	0.0276
18	2.22	0.4865					1.1536			0.5039	0.0174
19	2.22	0.5135					1.1547			0.5043	0.0092
20	2.25	0.5405					1.1899			0.5177	0.0229
21	2.26	0.5676					1.1941			0.5193	0.0483
22	2.39	0.5946					1.3252			0.5664	0.0282
23	2.44	0.6216					1.3774			0.5841	0.0375
24	2.46	0.6486					1.3935			0.5895	0.0592
25	2.52	0.6757					1.4595			0.6107	0.0650
26	2.53	0.7027					1.4650			0.6125	0.0902
27	2.68	0.7297					1.6120			0.6563	0.0734
28	2.73	0.7568					1.6659			0.6713	0.0855
29	2.80	0.7838					1.7363			0.6899	0.0939
30	3.16	0.8108					2.0915			0.7704	0.0404
31	3.39	0.8378					2.3216			0.8117	0.0261
32	4.36	0.8649					3.2930			0.9206	0.0557
33	4.54	0.8919					3.4764			0.9328	0.0409
34	4.90	0.9189					3.8367			0.9517	0.0327
35	5.85	0.9459					4.7873			0.9800	0.0340
36	5.90	0.9730					4.8335			0.9808	0.0079

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III												
m	x	Ln (x)	P(x) = m/(n+1)	$x_m \text{Ln}(x)$	S Ln (x)	Cs Ln (x)	$x_0$	$\text{Ln}(x) - x_0$	$\beta$	$\gamma$	F(x)	$\Delta$
1	1.21	0.188	0.0270					0.401			0.022	0.005
2	1.27	0.243	0.0541					0.456			0.039	0.015
3	1.31	0.271	0.0811					0.484			0.050	0.031
4	1.40	0.340	0.1081					0.553			0.086	0.023
5	1.62	0.483	0.1351					0.696			0.193	0.058
6	1.63	0.490	0.1622					0.703			0.199	0.037
7	1.64	0.492	0.1892					0.705			0.202	0.012
8	1.65	0.504	0.2162					0.717			0.212	0.004
9	1.67	0.512	0.2432					0.725			0.220	0.023
10	1.72	0.540	0.2703					0.753			0.247	0.023
11	1.80	0.586	0.2973					0.799			0.293	0.004
12	1.90	0.644	0.3243					0.857			0.352	0.028
13	1.95	0.667	0.3514					0.880			0.376	0.025
14	1.99	0.686	0.3784					0.899			0.397	0.018
15	2.01	0.698	0.4054					0.911			0.410	0.004
16	2.12	0.752	0.4324					0.965			0.466	0.034
17	2.18	0.777	0.4595					0.990			0.492	0.032
18	2.22	0.797	0.4865	0.836	0.404	0.770	-0.21	1.010	0.155	6.736	0.512	0.025
19	2.22	0.797	0.5135					1.010			0.512	0.001
20	2.25	0.813	0.5405					1.026			0.528	0.013
21	2.26	0.815	0.5676					1.028			0.530	0.038
22	2.39	0.871	0.5946					1.084			0.584	0.010
23	2.44	0.893	0.6216					1.106			0.605	0.017
24	2.46	0.899	0.6486					1.112			0.611	0.038
25	2.52	0.926	0.6757					1.139			0.634	0.042
26	2.53	0.928	0.7027					1.141			0.636	0.067
27	2.68	0.985	0.7297					1.198			0.684	0.046
28	2.73	1.004	0.7568					1.217			0.699	0.057
29	2.80	1.030	0.7838					1.243			0.719	0.065
30	3.16	1.149	0.8108					1.362			0.798	0.013
31	3.39	1.220	0.8378					1.433			0.836	0.002
32	4.36	1.472	0.8649					1.685			0.927	0.063
33	4.54	1.513	0.8919					1.726			0.937	0.045
34	4.90	1.589	0.9189					1.802			0.952	0.033
35	5.85	1.767	0.9459					1.980			0.975	0.029
36	5.90	1.775	0.9730					1.988			0.976	0.003

DISTRIBUCIÓN GUMBEL									
m	x	$P(x)=m/(n+1)$	$x_m$	S (x)	$\alpha$	$\mu$	y	G(y)	$\Delta$
1	1.21	0.0270	2.5183	1.1931	0.9303	1.9814	-0.8325	0.1004	0.0733
2	1.27	0.0541					-0.7595	0.1180	0.0639
3	1.31	0.0811					-0.7198	0.1282	0.0471
4	1.40	0.1081					-0.6198	0.1559	0.0478
5	1.62	0.1351					-0.3878	0.2291	0.0939
6	1.63	0.1622					-0.3759	0.2331	0.0709
7	1.64	0.1892					-0.3717	0.2345	0.0453
8	1.65	0.2162					-0.3511	0.2416	0.0253
9	1.67	0.2432					-0.3369	0.2465	0.0032
10	1.72	0.2703					-0.2844	0.2647	0.0055
11	1.80	0.2973					-0.1976	0.2957	0.0016
12	1.90	0.3243					-0.0840	0.3370	0.0127
13	1.95	0.3514					-0.0364	0.3545	0.0031
14	1.99	0.3784					0.0039	0.3693	0.0091
15	2.01	0.4054					0.0303	0.3790	0.0264
16	2.12	0.4324					0.1509	0.4232	0.0093
17	2.18	0.4595					0.2081	0.4439	0.0155
18	2.22	0.4865					0.2545	0.4606	0.0259
19	2.22	0.5135					0.2557	0.4610	0.0525
20	2.25	0.5405					0.2935	0.4744	0.0661
21	2.26	0.5676					0.2981	0.4760	0.0915
22	2.39	0.5946					0.4389	0.5248	0.0698
23	2.44	0.6216					0.4950	0.5436	0.0780
24	2.46	0.6486					0.5124	0.5493	0.0993
25	2.52	0.6757					0.5833	0.5723	0.1034
26	2.53	0.7027					0.5892	0.5742	0.1285
27	2.68	0.7297					0.7472	0.6227	0.1070
28	2.73	0.7568					0.8052	0.6395	0.1172
29	2.80	0.7838					0.8808	0.6607	0.1231
30	3.16	0.8108					1.2627	0.7536	0.0572
31	3.39	0.8378					1.5100	0.8018	0.0360
32	4.36	0.8649					2.5542	0.9252	0.0603
33	4.54	0.8919					2.7514	0.9382	0.0463
34	4.90	0.9189					3.1386	0.9576	0.0387
35	5.85	0.9459					4.1605	0.9845	0.0386
36	5.90	0.9730					4.2102	0.9853	0.0123

DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL										
m	x	Ln (x)	P(x) = m/(n+1)	$x_m \text{ Ln}(x)$	S Ln (x)	$\alpha$	$\mu$	y	G(y)	$\Delta$
1	1.21	0.188	0.0270					-1.479	0.012	0.015
2	1.27	0.243	0.0541					-1.306	0.025	0.029
3	1.31	0.271	0.0811					-1.215	0.034	0.047
4	1.40	0.340	0.1081					-0.998	0.066	0.042
5	1.62	0.483	0.1351					-0.545	0.178	0.043
6	1.63	0.490	0.1622					-0.523	0.185	0.023
7	1.64	0.492	0.1892					-0.515	0.187	0.002
8	1.65	0.504	0.2162					-0.479	0.199	0.017
9	1.67	0.512	0.2432					-0.453	0.207	0.036
10	1.72	0.540	0.2703					-0.362	0.238	0.032
11	1.80	0.586	0.2973					-0.216	0.289	0.008
12	1.90	0.644	0.3243					-0.035	0.355	0.031
13	1.95	0.667	0.3514					0.038	0.382	0.031
14	1.99	0.686	0.3784					0.099	0.404	0.026
15	2.01	0.698	0.4054					0.138	0.418	0.013
16	2.12	0.752	0.4324					0.310	0.480	0.048
17	2.18	0.777	0.4595					0.389	0.508	0.048
18	2.22	0.797	0.4865					0.451	0.529	0.042
19	2.22	0.797	0.5135	0.8365	0.4044	0.3153	0.6546	0.452	0.529	0.016
20	2.25	0.813	0.5405					0.502	0.546	0.005
21	2.26	0.815	0.5676					0.508	0.548	0.020
22	2.39	0.871	0.5946					0.687	0.605	0.010
23	2.44	0.893	0.6216					0.756	0.625	0.004
24	2.46	0.899	0.6486					0.777	0.631	0.017
25	2.52	0.926	0.6757					0.860	0.655	0.021
26	2.53	0.928	0.7027					0.867	0.657	0.046
27	2.68	0.985	0.7297					1.047	0.704	0.026
28	2.73	1.004	0.7568					1.110	0.719	0.038
29	2.80	1.030	0.7838					1.191	0.738	0.046
30	3.16	1.149	0.8108					1.569	0.812	0.001
31	3.39	1.220	0.8378					1.792	0.847	0.009
32	4.36	1.472	0.8649					2.592	0.928	0.063
33	4.54	1.513	0.8919					2.723	0.936	0.045
34	4.90	1.589	0.9189					2.965	0.950	0.031
35	5.85	1.767	0.9459					3.528	0.971	0.025
36	5.90	1.775	0.9730					3.553	0.972	0.001

**CUADRO RESUMEN DE LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD TEÓRICA**

DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	$\Delta$ Teórico < $\Delta$ Tabular	OBSERVACIÓN
Normal	0.1989 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %
Log Normal 2 Parámetros	0.1132 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %
Log Normal 3 Parámetros	0.0726 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %
Gamma 2 Parámetros	0.1437 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %
Gamma 3 Parámetros	0.1013 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %
Log Pearson Tipo III	0.0666 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %
Gumbel	0.1285 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %
Log Gumbel	0.0630 < 0.2267	Los datos se ajustan con un nivel de significación del 5 %

**ANEXO 10: MÉTODO DICK PESCHKE**

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	2.44	3.49	4.42	5.96	7.44	9.27	11.55	15.42	19.19
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Precipitación (mm)									
5	0.59	0.85	1.07	1.45	1.81	2.25	2.80	3.74	4.66
10	0.70	1.01	1.28	1.72	2.15	2.68	3.33	4.45	5.54
15	0.78	1.11	1.41	1.90	2.38	2.96	3.69	4.93	6.13
20	0.84	1.20	1.52	2.05	2.55	3.18	3.96	5.29	6.59
25	0.89	1.27	1.60	2.16	2.70	3.37	4.19	5.60	6.97
30	0.93	1.33	1.68	2.26	2.83	3.52	4.39	5.86	7.29
35	0.96	1.38	1.75	2.35	2.94	3.66	4.56	6.09	7.58
40	1.00	1.42	1.80	2.43	3.04	3.79	4.71	6.30	7.84
45	1.03	1.47	1.86	2.51	3.13	3.90	4.86	6.48	8.07
50	1.05	1.51	1.91	2.57	3.21	4.00	4.98	6.66	8.28
55	1.08	1.54	1.95	2.64	3.29	4.10	5.10	6.82	8.48
60	1.10	1.58	2.00	2.69	3.36	4.19	5.22	6.97	8.67
120	1.31	1.87	2.38	3.20	4.00	4.98	6.20	8.29	10.31
180	1.45	2.07	2.63	3.54	4.42	5.51	6.87	9.17	11.41
240	1.56	2.23	2.82	3.81	4.75	5.93	7.38	9.85	12.26
300	1.65	2.36	2.99	4.03	5.03	6.27	7.80	10.42	12.97
360	1.73	2.47	3.13	4.22	5.26	6.56	8.17	10.91	13.57
420	1.79	2.56	3.25	4.38	5.47	6.81	8.49	11.33	14.10
480	1.85	2.65	3.36	4.53	5.65	7.05	8.77	11.72	14.58
540	1.91	2.73	3.46	4.66	5.82	7.26	9.04	12.07	15.02
600	1.96	2.80	3.55	4.79	5.98	7.45	9.28	12.39	15.42
660	2.01	2.87	3.64	4.90	6.12	7.63	9.50	12.69	15.79
720	2.05	2.93	3.72	5.01	6.26	7.80	9.71	12.97	16.14
780	2.09	2.99	3.79	5.11	6.38	7.96	9.91	13.23	16.47
840	2.13	3.05	3.86	5.21	6.50	8.10	10.09	13.48	16.77
900	2.17	3.10	3.93	5.30	6.62	8.25	10.27	13.71	17.07
960	2.21	3.15	3.99	5.39	6.72	8.38	10.43	13.94	17.34
1020	2.24	3.20	4.06	5.47	6.83	8.51	10.59	14.15	17.61
1080	2.27	3.25	4.11	5.55	6.92	8.63	10.75	14.35	17.86
1140	2.30	3.29	4.17	5.62	7.02	8.75	10.89	14.55	18.10
1200	2.33	3.33	4.22	5.70	7.11	8.86	11.03	14.74	18.34
1260	2.36	3.37	4.28	5.77	7.20	8.97	11.17	14.92	18.56
1320	2.39	3.41	4.33	5.83	7.28	9.07	11.30	15.09	18.78
1380	2.41	3.45	4.37	5.90	7.36	9.18	11.43	15.26	18.99
1440	2.44	3.49	4.42	5.96	7.44	9.27	11.55	15.42	19.19

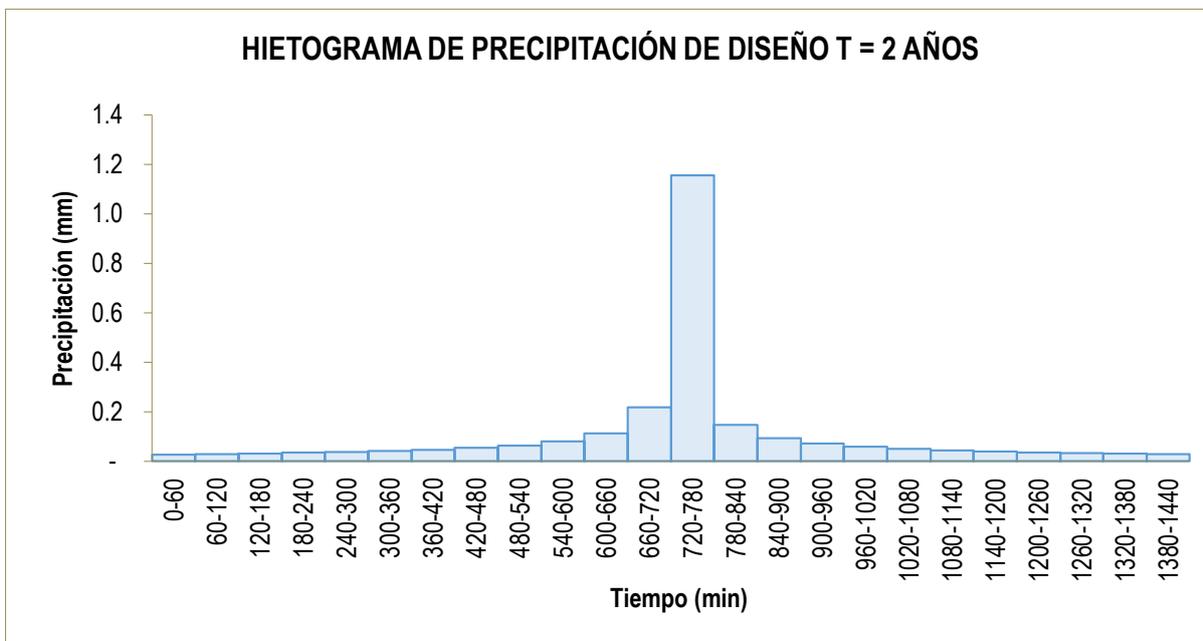
### INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Duración (Horas)	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	Intensidad (mm/hr)								
0.083	7.11	10.16	12.88	17.36	21.68	27.01	33.64	44.93	55.91
0.167	4.23	6.04	7.66	10.32	12.89	16.06	20.00	26.71	33.24
0.250	3.12	4.46	5.65	7.62	9.51	11.85	14.76	19.71	24.53
0.333	2.51	3.59	4.55	6.14	7.66	9.55	11.89	15.88	19.77
0.417	2.13	3.04	3.85	5.19	6.48	8.08	10.06	13.44	16.72
0.500	1.85	2.65	3.36	4.53	5.65	7.05	8.77	11.72	14.58
0.583	1.65	2.36	2.99	4.03	5.04	6.28	7.82	10.44	12.99
0.667	1.49	2.14	2.71	3.65	4.56	5.68	7.07	9.44	11.75
0.750	1.37	1.96	2.48	3.34	4.17	5.20	6.47	8.65	10.76
0.833	1.26	1.81	2.29	3.09	3.85	4.80	5.98	7.99	9.94
0.917	1.18	1.68	2.13	2.87	3.59	4.47	5.57	7.44	9.26
1.000	1.10	1.58	2.00	2.69	3.36	4.19	5.22	6.97	8.67
2.000	0.66	0.94	1.19	1.60	2.00	2.49	3.10	4.14	5.16
3.000	0.48	0.69	0.88	1.18	1.47	1.84	2.29	3.06	3.80
4.000	0.39	0.56	0.71	0.95	1.19	1.48	1.84	2.46	3.07
5.000	0.33	0.47	0.60	0.81	1.01	1.25	1.56	2.08	2.59
6.000	0.29	0.41	0.52	0.70	0.88	1.09	1.36	1.82	2.26
7.000	0.26	0.37	0.46	0.63	0.78	0.97	1.21	1.62	2.01
8.000	0.23	0.33	0.42	0.57	0.71	0.88	1.10	1.46	1.82
9.000	0.21	0.30	0.38	0.52	0.65	0.81	1.00	1.34	1.67
10.000	0.20	0.28	0.36	0.48	0.60	0.75	0.93	1.24	1.54
11.000	0.18	0.26	0.33	0.45	0.56	0.69	0.86	1.15	1.44
12.000	0.17	0.24	0.31	0.42	0.52	0.65	0.81	1.08	1.34
13.000	0.16	0.23	0.29	0.39	0.49	0.61	0.76	1.02	1.27
14.000	0.15	0.22	0.28	0.37	0.46	0.58	0.72	0.96	1.20
15.000	0.14	0.21	0.26	0.35	0.44	0.55	0.68	0.91	1.14
16.000	0.14	0.20	0.25	0.34	0.42	0.52	0.65	0.87	1.08
17.000	0.13	0.19	0.24	0.32	0.40	0.50	0.62	0.83	1.04
18.000	0.13	0.18	0.23	0.31	0.38	0.48	0.60	0.80	0.99
19.000	0.12	0.17	0.22	0.30	0.37	0.46	0.57	0.77	0.95
20.000	0.12	0.17	0.21	0.28	0.36	0.44	0.55	0.74	0.92
21.000	0.11	0.16	0.20	0.27	0.34	0.43	0.53	0.71	0.88
22.000	0.11	0.16	0.20	0.27	0.33	0.41	0.51	0.69	0.85
23.000	0.10	0.15	0.19	0.26	0.32	0.40	0.50	0.66	0.83
24.000	0.10	0.15	0.18	0.25	0.31	0.39	0.48	0.64	0.80

## ANEXO 11: HIETOGRAMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

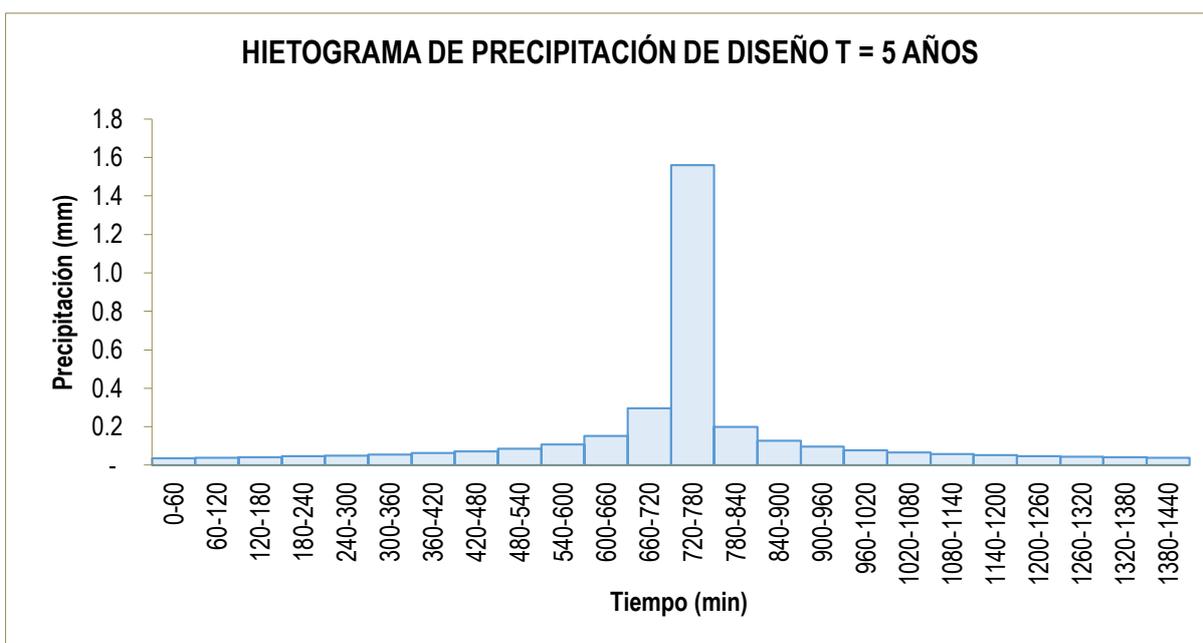
**Figura 99**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 2 años.*



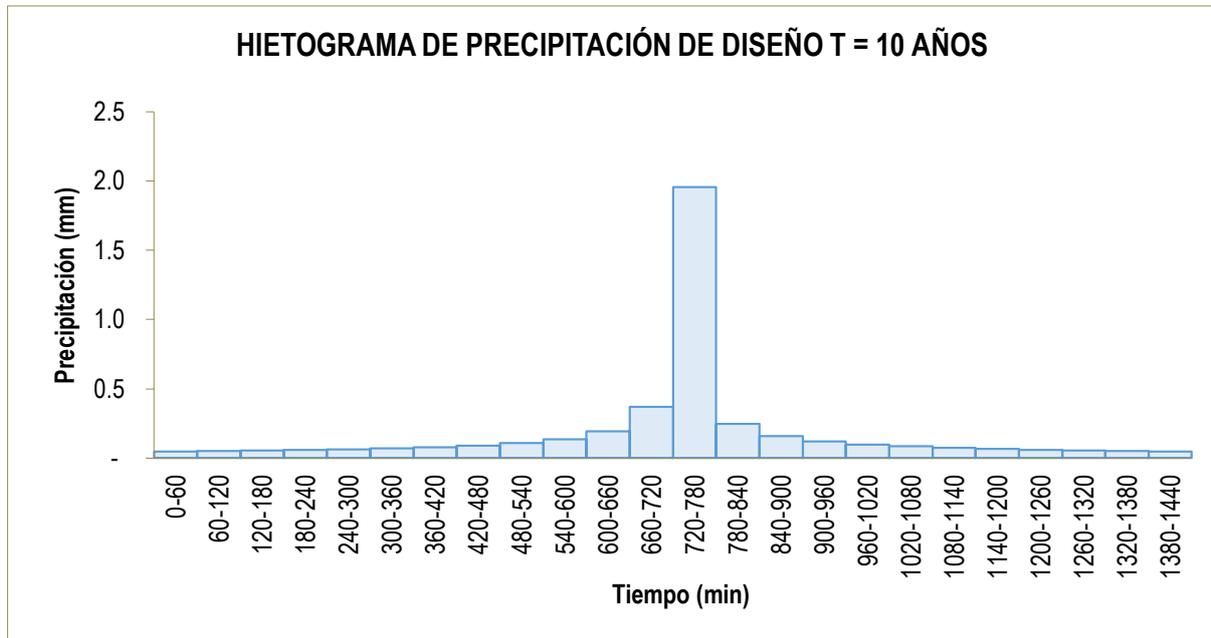
**Figura 100**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 5 años.*



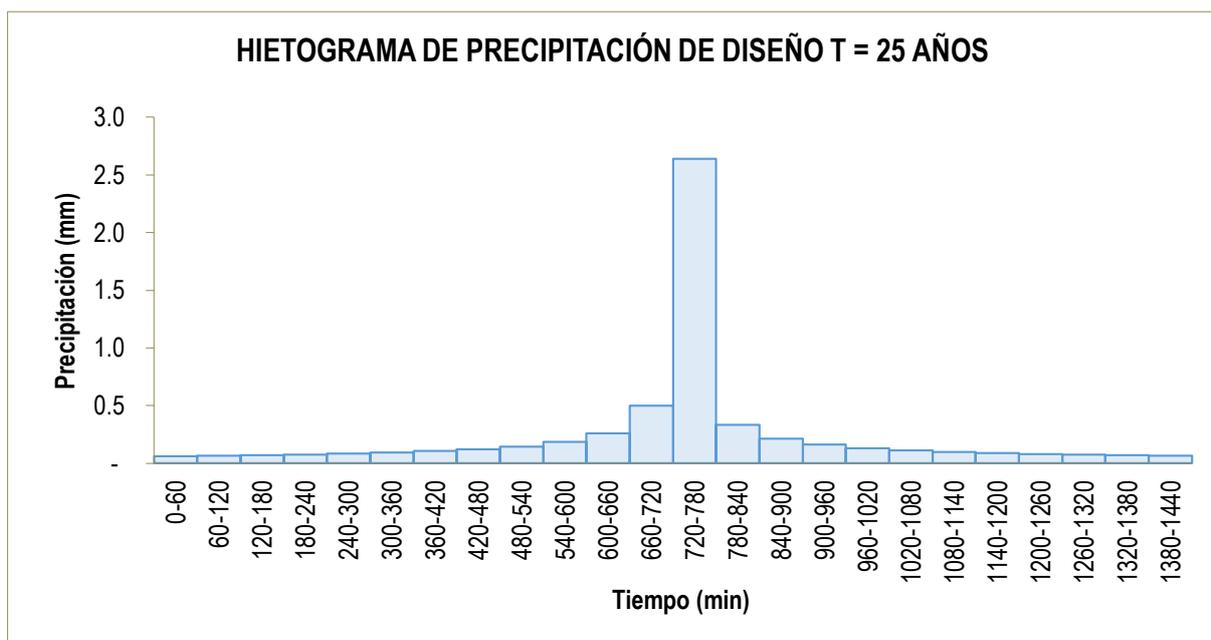
**Figura 101**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 10 años.*



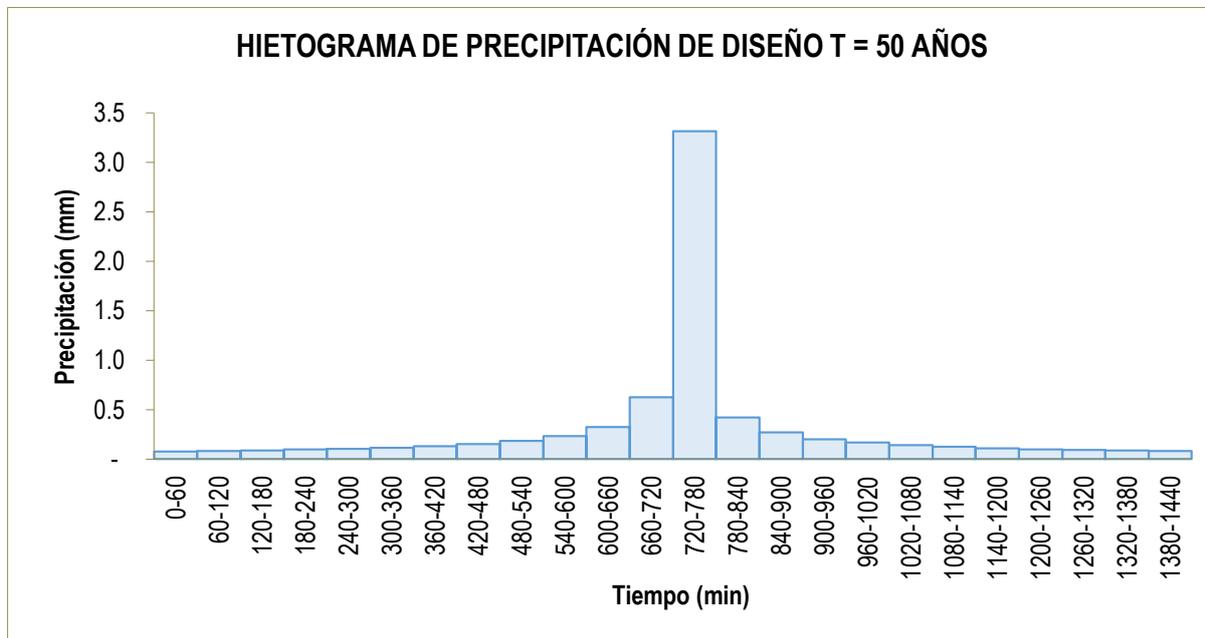
**Figura 102**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 25 años.*



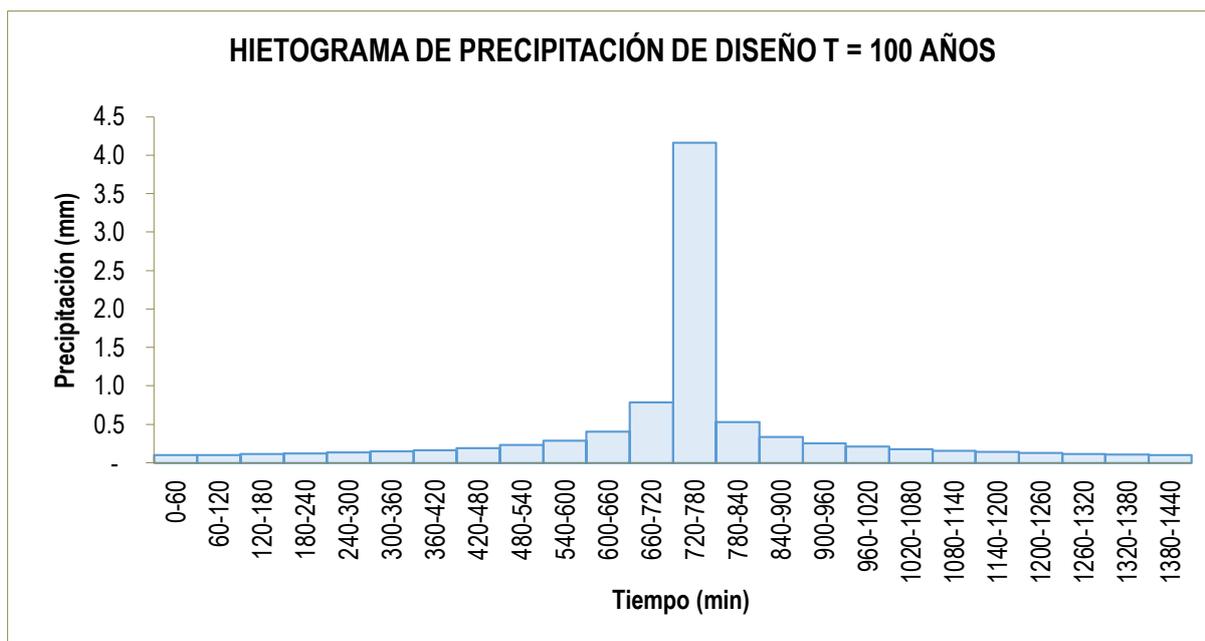
**Figura 103**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 50 años.*



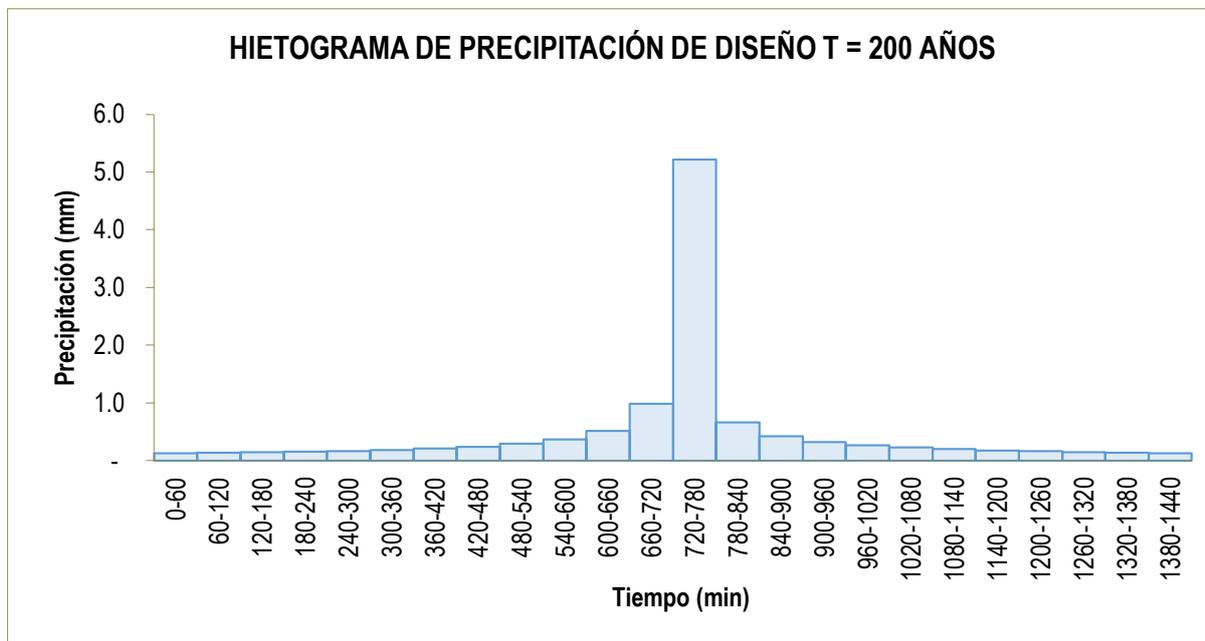
**Figura 104**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 100 años.*



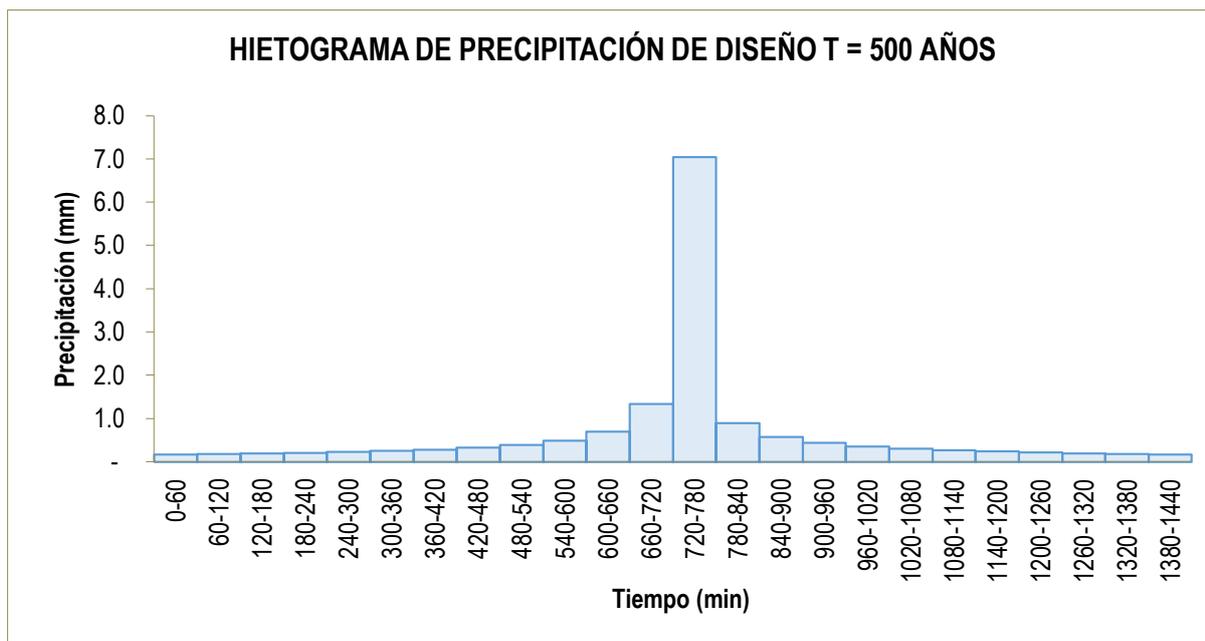
**Figura 105**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 200 años.*



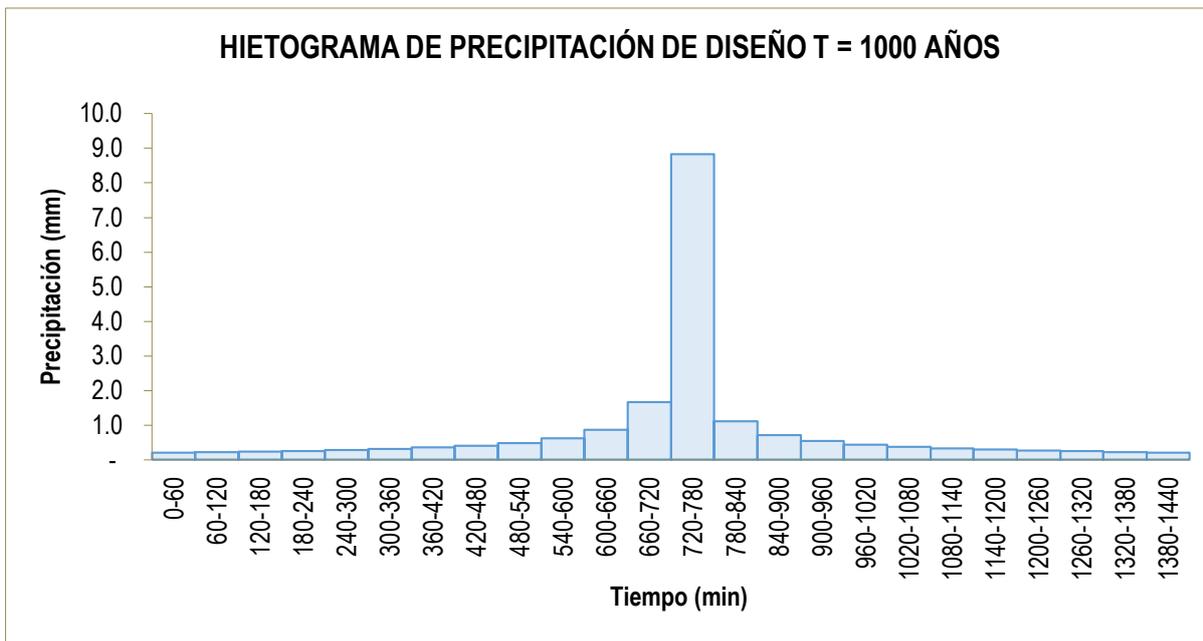
**Figura 106**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 500 años.*



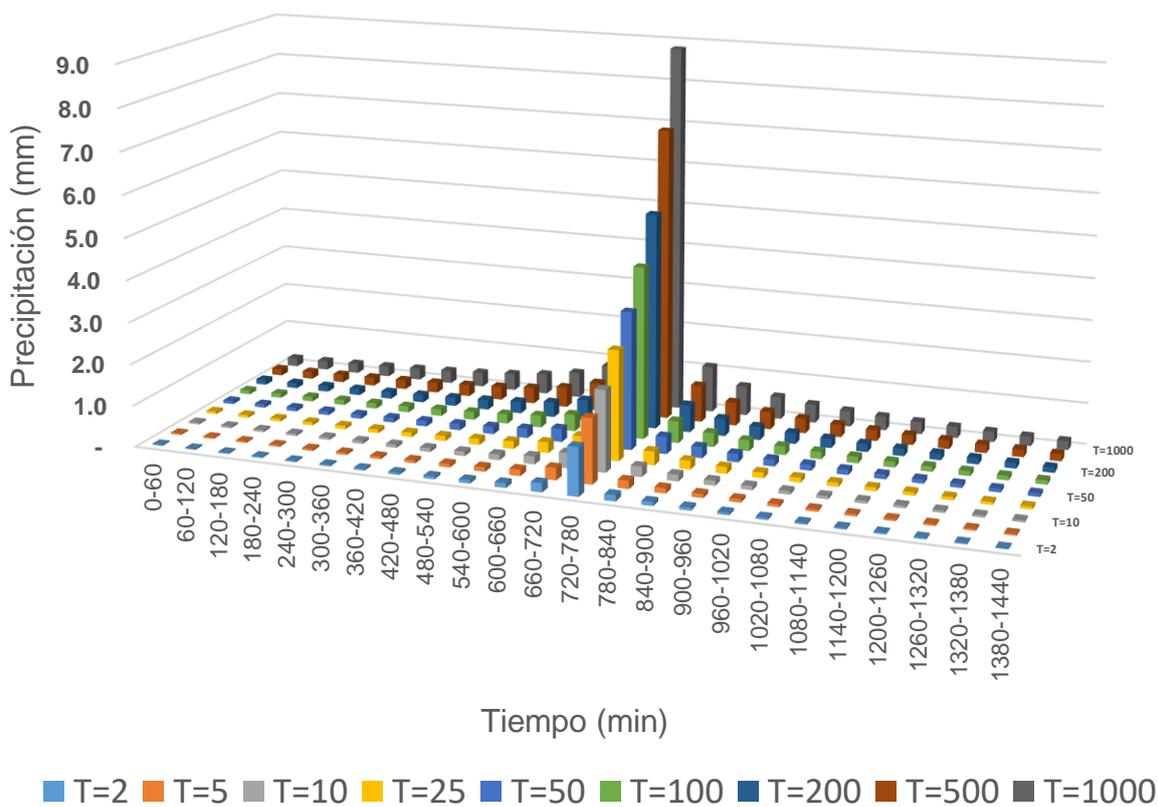
**Figura 107**

*Hietograma de precipitación calculado para un periodo de retorno de 1000 años.*



**Figura 108**

*Hietogramas de precipitación calculado para diferentes periodos de retorno.*

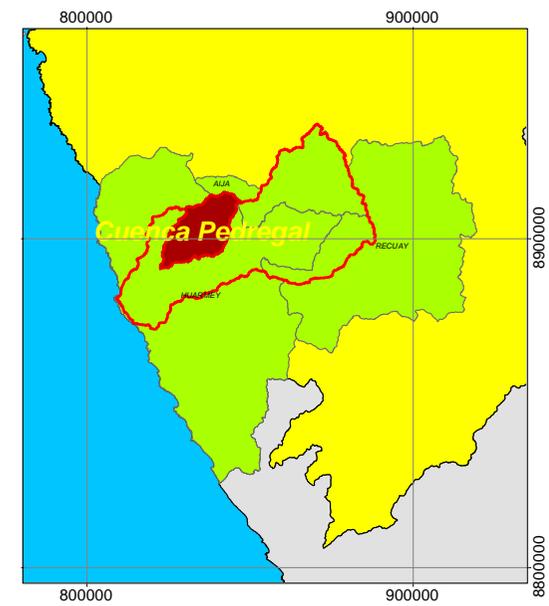
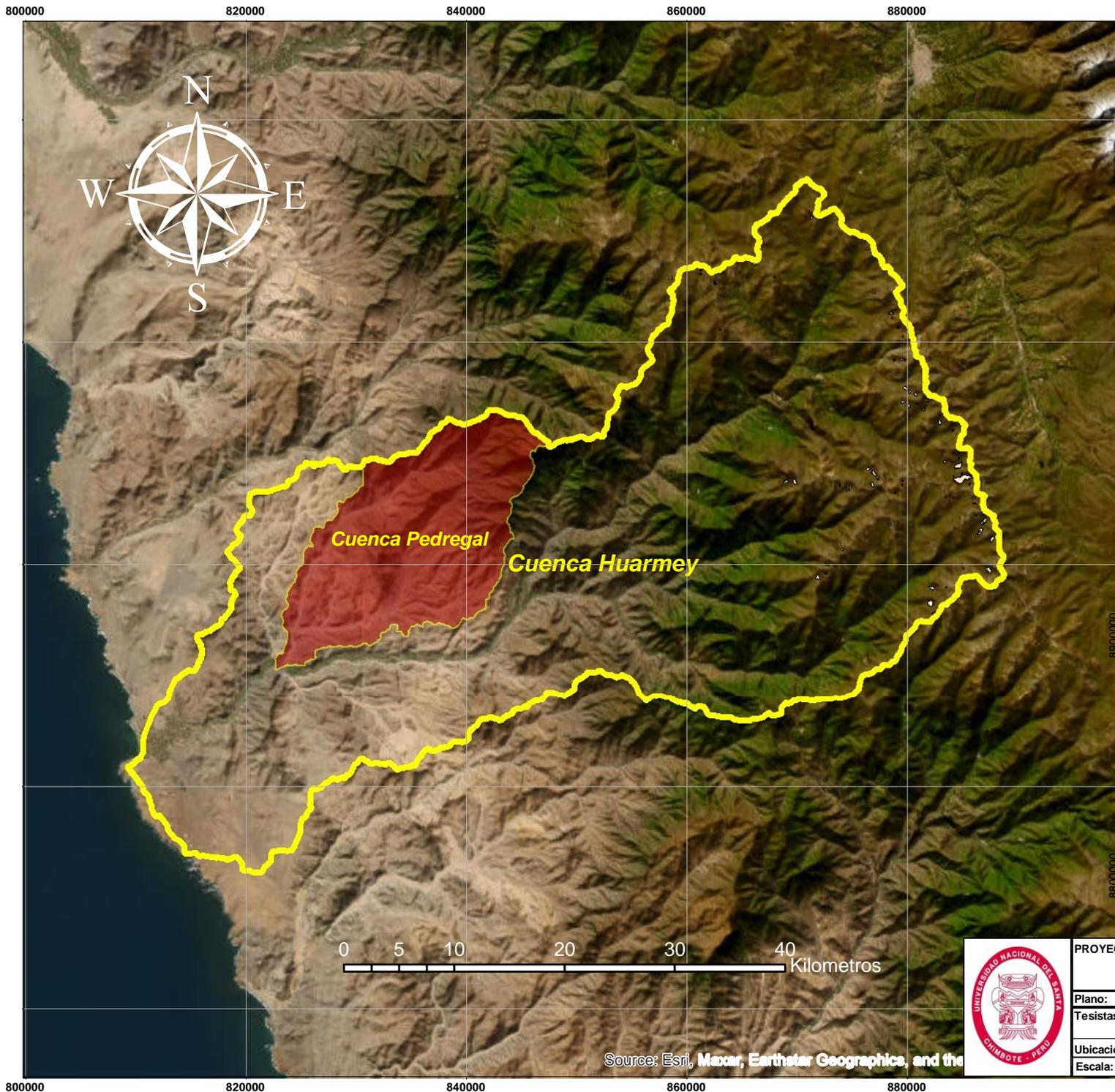




## **ANEXO 12: PLANOS**

*Plano topográfico del área de estudio (T-01)*

*Plano de la cuenca de la Quebrada Pedregal (U-01)*

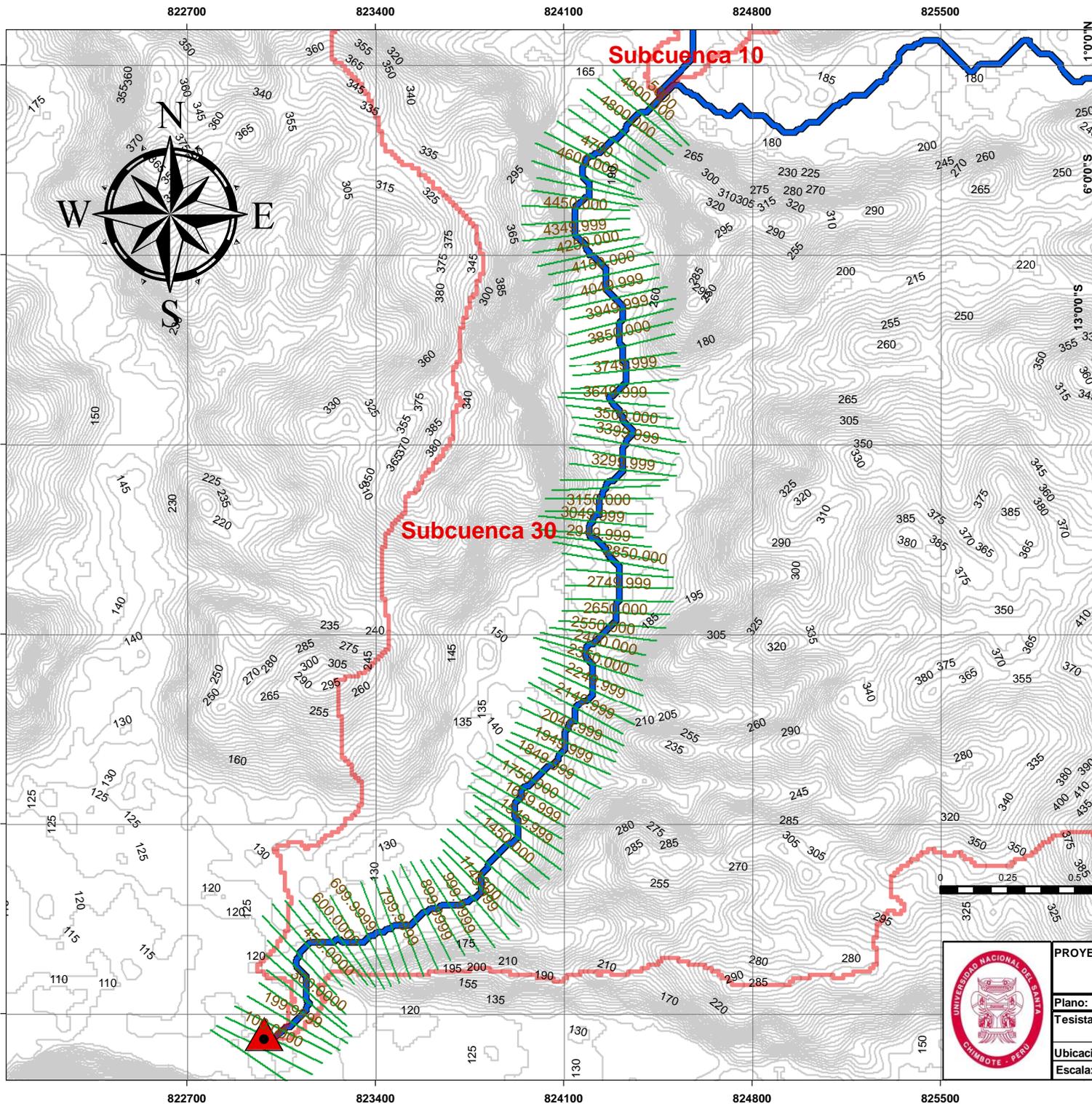


Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the



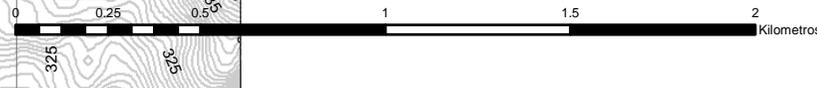
<b>PROYECTO:</b>		TESIS: "MODELAMIENTO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA APLICANDO EL SOFTWARE HEC-HMS EN LA QUEBRADA PEDREGAL, PROVINCIA DE HUARMEY - 2021"	
<b>Plano:</b>		UBICACIÓN	
<b>Tesistas:</b>	BACH. ING. KAYRA JANELLA ESQUIVES BELTRAN	<b>Plano</b>	
	BACH. ING. AUGUSTO RENAN VELAZCO FERNÁNDEZ		
<b>Ubicación:</b>	PROVINCIA DE HUARMEY - ANCASH		
<b>Escala:</b> 1/500,000	<b>Fecha:</b> Enero 2023	<b>Coordenadas:</b> UTM-84	<b>Zona:</b> 17 Sur

**U-01**



### LEYENDA

- Subcuencas
- Cauces
- Curvas de nivel
- ▲ Estacion de aforo
- Secciones



<b>PROYECTO:</b> TESIS: "MODELAMIENTO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA APLICANDO EL SOFTWARE HEC-HMS EN LA QUEBRADA PEDREGAL, PROVINCIA DE HUARMEY - 2021"		
<b>Plano:</b> TOPOGRAFIA DEL AREA DE ESTUDIO DE INUNDACION		
<b>Tesistas:</b>	BACH. ING. KAYRA JANELLA ESQUIVES BELTRAN BACH. ING. AUGUSTO RENAN VELAZCO FERNANDEZ	<b>Plano</b>
<b>Ubicación:</b>	PROVINCIA DE HUARMEY - ANCASH	<b>T-01</b>
<b>Escala:</b> 1/20,000	<b>Fecha:</b> Enero 2023	
		<b>Zona:</b> 17 Sur