

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**UDH**  
UNIVERSIDAD DE HUANUCO  
<http://www.udh.edu.pe>

**TESIS**

---

**“SIMULACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE  
MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO HUANCACHUPA EN  
EL TRAMO DE INGENIO - MACHA, DISTRITO DE SAN  
FRANCISCO DE CAYRAN – HUÁNUCO - 2021”**

---

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Santos Huamán, Cristian Fernando

ASESOR: Lambruschini Espinoza, Reyder Alexander

HUÁNUCO – PERÚ

2022

# U

### TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Hidráulica  
**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** ( 2020 )

### CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería civil

**Disciplina:** Ingeniería civil

### DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título  
 Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 48367034

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 45250659

Grado/Título: Máster universitario en ingeniería  
 hidráulica y medio ambiente

Código ORCID: 0000-0003-0701-2621

### DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Jacha Rojas, Johnny Prudencio	Maestro en ingeniería de sistemas e informática con mención en: gerencia de sistemas y tecnologías de información	40895876	0000-0001-7920-1304
2	Taboada Trujillo, William Paolo	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	40847625	0000-0002-4594-1491
3	Gomez Valles, Jhon Elio	Maestro en diseño y construcción de obras viales	45623860	0000-0001-6424-6032

# D

# H

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las **19:30** horas del día **martes 26 de julio de 2022**, mediante la plataforma Google Meet, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

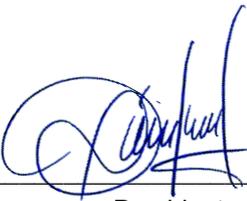
- MG. JOHNNY PRUDENCIO JACHA ROJAS - PRESIDENTE
- MG. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO - SECRETARIO
- MG. JHON ELIO GOMEZ VALLES - VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 1409-2022-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: “**SIMULACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO HUANCACHUPA EN EL TRAMO DE INGENIO - MACHA, DISTRITO DE SAN FRANCISCO DE CAYRAN – HUÁNUCO - 2021**”, presentado por el Bachiller. Cristian Fernando SANTOS HUAMAN, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas, procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **15** y cualitativo de **BUENO** (Art. 47).

Siendo las 20:27 horas del día martes 26 del mes de julio del año 2022, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



\_\_\_\_\_  
Presidente



\_\_\_\_\_  
Secretario



\_\_\_\_\_  
Vocal

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de investigación está dedicado íntegramente a mi dedicada familia, quien me ha sabido apoyar y motivar siempre que lo he necesitado.

A mi madre y padre que nunca dejaron de lado mi estabilidad con respecto a mi educación, siempre brindándome su apoyo incondicional, para llegar a ser una persona con calidad profesional.

A mi hijo Corey y mi pareja Daysi que fueron mi acicate para ser la persona profesional ideal.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, por la bendición de la salud y bendición, agradecer a la Universidad de Huánuco por darme las condiciones para tener un aprendizaje óptimo para mi vida profesional.

Agradezco también a mis padres por haber sido el sustento de mi vida dedicada al estudio y haber confiado en mis capacidades intelectuales para obtener un título profesional.

Finalmente agradezco a mi asesor M.SC. ING. Alexander Lambruschini Espinoza por darme la opción de acceder a sus capacidades y conocimientos para la realización del presente proyecto.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	XV
CAPÍTULO I.....	17
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1 Descripción del problema.....	17
1.2 Formulación del problema.....	18
1.2.1 Problema general .....	18
1.2.2 Problema específico .....	18
1.3 Objetivo general .....	19
1.4 Objetivos específicos .....	19
1.5 Justificación de la investigación .....	19
1.5.1 Justificación practica.....	19
1.5.2 Justificación teórica .....	19
1.5.3 Justificación metodológica.....	20
1.6 Limitaciones de la investigación.....	20
1.7 Viabilidad de la Investigación .....	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
2.1 Antecedentes de la investigación .....	21
2.1.1 Antecedentes Internacionales .....	21
2.1.2 Antecedentes Nacionales .....	26
2.1.3 Antecedentes Locales .....	31
2.2 Bases teóricas.....	35
2.2.1 Hidrología .....	35
2.2.2 Ciclo hidráulico .....	35
2.2.3 Hidráulica fluvial y morfología.....	36

2.2.4	Geometría hidráulica .....	37
2.2.5	Caudal dominante .....	39
2.2.6	Clasificación de ríos.....	39
2.2.7	Características sinuosas hidráulicas.....	43
2.2.8	Cuenca hidrográfica.....	43
2.2.9	Parámetros morfológicos de la cuenca.....	44
2.2.10	Precipitación .....	51
2.2.11	Prueba de datos dudosos.....	52
2.2.12	Análisis para los datos de consistencia .....	53
2.2.13	Análisis de frecuencia.....	58
2.2.14	Periodo de retorno .....	60
2.2.15	Secuencia para el análisis .....	61
2.2.16	Pruebas de bondades para ajuste .....	64
2.2.17	Metodología para el cálculo de caudales críticos .....	67
2.2.18	Curva intensidad – duración – frecuencia.....	69
2.2.19	Hietogramas de diseño a partir de curvas IDF .....	72
2.2.20	Modelos 73	
2.2.21	Modelos hidráulicos .....	74
2.2.22	Sistema de información topográfica.....	74
2.2.23	Simulación .....	75
2.2.24	HEC-RAS relacionada con las inundaciones.....	75
2.2.25	Sistema de análisis de ríos con HEC – RAS .....	83
2.3	Definiciones conceptuales.....	85
2.4	Hipótesis 87	
2.5	Variables 87	
2.5.1	Variable dependiente.....	87
2.5.2	Variable independiente .....	88
2.6	Operacionalización de variables (Dimensiones e Indicadores) .....	89
CAPÍTULO III .....		90
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		90
3.1	Tipo de investigación.....	90
3.1.1	Enfoque 90	
3.1.2	Alcance o nivel .....	90
3.1.3	Diseño 90	

3.2 Población y muestra.....	91
3.2.1 Población.....	91
3.2.2 Muestra 91	
3.3 Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	91
3.3.1 Para la recolección de datos .....	91
3.3.2 Para la presentación de datos .....	92
3.3.3 Para el análisis e interpretación de datos .....	94
CAPÍTULO IV.....	95
RESULTADOS.....	95
4.1 Procesamiento de datos.....	95
4.2 Contratación de hipótesis y prueba de hipótesis .....	124
CAPÍTULO V.....	126
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	126
CONCLUSIONES .....	128
RECOMENDACIONES.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS.....	133



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Características sinuosas de ríos .....	43
Tabla N° 2 Denotación de la cuenca según su área. ....	46
Tabla N° 3 Tendencias de cuencas según “ $K_c$ ” .....	47
Tabla N° 4 Clasificación de pendientes .....	48
Tabla N° 5 Características vs Densidad de drenaje.....	51
Tabla N° 6 Valores de $K_n$ . ....	53
Tabla N° 7 Valores críticos d para la prueba Kolmogorov – Simirnov.....	66
Tabla N° 8 Coeficiente de contracción y expansión.....	81
Tabla N° 9 Valores de coeficiente de rugosidad “n” de Manning Típicos.....	84
Tabla N° 10 Operacionalización de Variables (Dimensiones e Indicadores)	89
Tabla N° 11 Plantilla para el tratamiento de datos pluviométricos .....	92
Tabla N° 12 Plantilla para análisis de doble masa .....	93
Tabla N° 13 Plantilla para datos finales de procesamiento.....	93
Tabla N° 14 Datos determinados de la microcuenca .....	96
Tabla N° 15 Hidrografía de la microcuenca .....	97
Tabla N° 16 Pendientes de la micro cuenca .....	97
Tabla N° 17 Datos para la determinación de curva hipsométrica .....	98
Tabla N° 18 Hidrografía de la microcuenca .....	99
Tabla N° 19 Características de la microcuenca .....	101
Tabla N° 20 Datos pluviométricos para la estación Huánuco .....	102
Tabla N° 21 Datos pluviométricos para la estación Huánuco .....	106
Tabla N° 22 Distribución Normal para la estación Huánuco .....	107
Tabla N° 23 Distribución Normal para la estación Huánuco .....	109
Tabla N° 24 Distribución Log-Normal para la estación Huánuco .....	109
Tabla N° 25 Distribución Log-Normal para la estación Huánuco .....	111
Tabla N° 26 Prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov .....	112
Tabla N° 27 Diferentes precipitaciones a partir de la fórmula de Bell .....	112
Tabla N° 28 Intensidades máximas a partir de la fórmula de Bell.....	113
Tabla N° 29 Intensidades máximas de diseño a partir de la fórmula de Bell .....	113
Tabla N° 30 Discretización de caleres diferente mediante Dyck y Peschke .....	114

Tabla N° 31 Intensidad máxima mediante Dyck y Peschke.....	115
Tabla N° 32 Intensidades máximas mediante Dyck y Peschke .....	115
Tabla N° 33 Parámetros para el cálculo de caudales de Dyck y Peschke..	116
Tabla N° 34 Caudales máximos calculados.....	117
Tabla N° 35 Caudales máximos con mayorero .....	117
Tabla N° 36 Matriz de consistencia.....	134
Tabla N° 37 Datos físicos microcuenca .....	141
Tabla N° 38 Hidrográfica de la microcuenca.....	141
Tabla N° 39 Pendiente microcuenca.....	142
Tabla N° 40 Datos polígonos de frecuencia.....	142
Tabla N° 41 Parámetros geomorfológicos .....	143
Tabla N° 42 Precipitaciones Estación Canchan.....	143
Tabla N° 43 Precipitaciones Estación Huánuco.....	144
Tabla N° 44 Precipitaciones Estación Puente Taruca.....	145
Tabla N° 45 Precipitaciones Estación Jacas Chico.....	146
Tabla N° 46 Análisis de consistencia de datos .....	147
Tabla N° 47 Datos para análisis de doble masa .....	148
Tabla N° 48 Datos de análisis final .....	150
Tabla N° 49 Cálculo de precipitaciones .....	151
Tabla N° 50 Distribución Normal.....	152
Tabla N° 51 Resultados Distribución Normal.....	153
Tabla N° 52 Distribución Log-Normal.....	153
Tabla N° 53 Resultados Distribución Log-Normal.....	154
Tabla N° 54 Distribución Log-Normal 3 Parámetros .....	155
Tabla N° 55 Resultados Distribución Log-Normal 3 Parámetros .....	156
Tabla N° 56 Distribución Log-Gumbel.....	156
Tabla N° 57 Resultados Distribución Log-Gumbel.....	157
Tabla N° 58 Prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov.....	158
Tabla N° 59 Intensidad – Método Frederich Bell.....	158
Tabla N° 60 Intensidad – Método Dyck y Peschke .....	159
Tabla N° 61 Cálculo de caudales máximos por diferentes métodos .....	159
Tabla N° 62 Caudales de diseño para la investigación.....	160
Tabla N° 63 Características de la microcuenca .....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 El ciclo hidrológico .....	36
Figura N° 2 Relación geométrica para ríos con diferentes tamaños .....	37
Figura N° 3 Secciones transversales con diferentes materiales desde el más grueso al fino .....	38
Figura N° 4 Relaciones entre ancho y pendiente.....	39
Figura N° 5 Concepto de caudal dominante y Gráfico de variación de la tensión tangencial en función del caudal dominante. ....	39
Figura N° 6 Categorización de ríos por su pendiente .....	41
Figura N° 7 Clasificación morfológica de los ríos.....	43
Figura N° 8 Curvas Hipsométricas.....	49
Figura N° 9 Análisis doble masa.....	55
Figura N° 10 Ejemplo de análisis de doble masa.....	55
Figura N° 11 Hietograma de Diseño .....	72
Figura N° 12 HEC – RAS Método de subdivisión de caudales. ....	77
Figura N° 13 Método de subdivisión de caudales HEC – 2. ....	78
Figura N° 14 La cantidad de energía .....	79
Figura N° 15 Aplicación del principio del momento.....	82
Figura N° 16 Mapa de ubicación de área de estudio .....	95
Figura N° 17 Mapa de parámetros geomorfológicos.....	96
Figura N° 18 Curva Hipsométrica – Polígonos de frecuencia .....	98
Figura N° 19 Mapa de Cobertura Vegetal de la microcuenca de análisis .....	99
Figura N° 20 Mapa de Tipo de Suelo de la microcuenca de análisis .....	100
Figura N° 21 Mapa de Pendientes de la microcuenca de análisis .....	101
Figura N° 22 Grafica de máximas precipitaciones para la estación Huánuco .....	103
Figura N° 23 Precipitaciones Máximas de las 4 estaciones.....	103
Figura N° 24 Precipitaciones Máximas de las 4 estaciones.....	104
Figura N° 25 Histograma de precipitación máxima en 24hrs .....	105
Figura N° 26 Histograma de precipitación mínima en 24hrs.....	105
Figura N° 27 Histograma de precipitación promedio en 24hrs.....	106
Figura N° 28 Grafica de Distribución Normal .....	109

Figura N° 29 Grafica de Distribución Log-Normal.....	111
Figura N° 30 Curvas IDF - Bell .....	113
Figura N° 31 Curvas IDF - Bell .....	116
Figura N° 32 Mapa de elevaciones.....	118
Figura N° 33 Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 10 años .....	119
Figura N° 34 Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 50 años .....	119
Figura N° 35 Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 100 años .....	120
Figura N° 36 Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 150 años .....	120
Figura N° 37 Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 250 años .....	121
Figura N° 38 Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 500 años .....	121
Figura N° 39 Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 500 años .....	122
Figura N° 40 Perfiles de flujo para un periodo de retorno de 100 años .....	123
Figura N° 41 Perfiles de flujo para un periodo de retorno de 250 años .....	123
Figura N° 42 Perfiles de flujo para un periodo de retorno de 500 años .....	123
Figura N° 43 Área de estudio de investigación .....	136
Figura N° 44 Mapa Cobertura Vegetal.....	137
Figura N° 45 Mapa Tipo de Suelo.....	138
Figura N° 46 Mapa Pendientes.....	139
Figura N° 47 Mapa Geomorfológico.....	140
Figura N° 48 Polígono de frecuencia .....	143
Figura N° 49 Precipitaciones máximas Estación Canchan .....	144
Figura N° 50 Precipitaciones máximas Estación Huánuco .....	145
Figura N° 51 Precipitaciones máximas Estación Puente Taruca .....	146
Figura N° 52 Precipitaciones máximas Estación Jacas Chico .....	147
Figura N° 53 Precipitaciones máximas Estación Puente Taruca .....	148
Figura N° 54 Análisis de doble masa .....	149
Figura N° 55 Gráfica de distribución normal .....	153

Figura N° 56 Gráfica de distribución Log-normal .....	154
Figura N° 57 Gráfica de distribución Log-normal 3 parámetros .....	156
Figura N° 58 Gráfica de distribución Log-Gumbel .....	157
Figura N° 59 IDF – Fórmula de Bell .....	158
Figura N° 60 IDF – Fórmula de Bell .....	159
Figura N° 61 Mapa de inundaciones PR=10 años .....	161
Figura N° 62 Secciones de inundación para PR=10 años P1 .....	162
Figura N° 63 Secciones de inundación para PR=10 años P2.....	163
Figura N° 64 Secciones de inundación para PR=10 años P3.....	164
Figura N° 65 Secciones de inundación para PR=10 años P4.....	165
Figura N° 66 Mapa de inundaciones PR=50 años .....	166
Figura N° 67 Secciones de inundación para PR=50 años P1 .....	167
Figura N° 68 Secciones de inundación para PR=50 años P2.....	168
Figura N° 69 Secciones de inundación para PR=50 años P3.....	169
Figura N° 70 Secciones de inundación para PR=50 años P4.....	170
Figura N° 71 Mapa de inundaciones PR=100 años .....	171
Figura N° 72 Secciones de inundación para PR=100 años P1 .....	172
Figura N° 73 Secciones de inundación para PR=100 años P2.....	173
Figura N° 74 Secciones de inundación para PR=100 años P3.....	174
Figura N° 75 Secciones de inundación para PR=100 años P4.....	175
Figura N° 76 Mapa de inundaciones PR=150 años .....	176
Figura N° 77 Secciones de inundación para PR=150 años P1 .....	177
Figura N° 78 Secciones de inundación para PR=150 años P2.....	178
Figura N° 79 Secciones de inundación para PR=150 años P3.....	179
Figura N° 80 Secciones de inundación para PR=150 años P4.....	180
Figura N° 81 Mapa de inundaciones PR=250 años .....	181
Figura N° 82 Secciones de inundación para PR=250 años P1 .....	182
Figura N° 83 Secciones de inundación para PR=250 años P2.....	183
Figura N° 84 Secciones de inundación para PR=250 años P3.....	184
Figura N° 85 Secciones de inundación para PR=250 años P4.....	185
Figura N° 86 Mapa de inundaciones PR=500 años .....	186
Figura N° 87 Secciones de inundación para PR=500 años P1 .....	187
Figura N° 88 Secciones de inundación para PR=500 años P2.....	188
Figura N° 89 Secciones de inundación para PR=500 años P3.....	189

Figura N° 90 Secciones de inundación para PR=500 años P4.....	190
Figura N° 91 Mapa de inundaciones PR=1000 años .....	191
Figura N° 92 Secciones de inundación para PR=1000 años P1.....	192
Figura N° 93 Secciones de inundación para PR=1000 años P2.....	193
Figura N° 94 Secciones de inundación para PR=1000 años P3.....	194
Figura N° 95 Secciones de inundación para PR=1000 años P4.....	195
Figura N° 96 Vista panorámica en punto aleatorio del área a intervenir. ....	196
Figura N° 97 Vista panorámica configurando el dron para que inicie el vuelo. .....	197
Figura N° 98 Vista de dron empleado para la fotogrametría del área de estudio. ....	198
Figura N° 99 Vista de control de dron.....	199
Figura N° 100 Vista de punto de control para el vuelo.....	200

## RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo el de determinar las zonas que se ven afectadas debido a inundaciones causadas por precipitaciones anómalas en la zona del río Huancachupa para el tramo que comprende la localidad denominada Ingenio – Macha los cuales se ubican en la provincia de Huánuco, esto se logró a partir de general un modelo bidimensional en el software HEC-RAS. Para lograr determinar las zonas de inundaciones inicialmente se realizaron procesos de análisis topográfico mediante un levantamiento del terreno mediante drones los cuales facilitaron determinar las características del terreno que es circundante al río Huancachupa, adicionalmente a ello se realizaron un proceso de caracterización de la microcuenca a la cual pertenece el río Huancachupa a partir de imágenes DEM obtenidos de servidores internacionales. Los parámetros geomorfológicos fueron determinados en el software ArcGIS debido a que la información es relevante para determinar los tiempos de escurrimiento de la microcuenca lo cual influye en la capacidad de caudal del terreno. Para generar un modelo de simulación de inundaciones se requirieron informaciones de caudales de diseño para diferentes periodos de retorno los cuales fueron determinados por medios estadísticos obteniéndose los siguientes valores para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 150, 250, 500 y 1000 años son 1320.836, 1834.076, 2112.530, 2294.751, 2546.788, 2933.605 y 3379.185 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Del modelo que se generó en el software HEC-RAS no se pudo identificar zonas de inundación donde se encuentren viviendas, sino que el terreno comprometido es netamente zona agrícola. Debido a la topografía característica de la zona se pudo determinar que la zona no presentará altos niveles de inundación por las características topográficas que presenta.

**PALABRAS CLAVES:** Inundación, simulación, HEC-RAS, caudales, pluviometría, microcuenca, Huancachupa.

## ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the areas that are affected due to floods caused by abnormal rainfall in the Huancachupa river area for the section that includes the town called Ingenio - Macha, which are located in the province of Huánuco, this Se modified from a general two-dimensional model in the HEC-RAS software. In order to determine the flood zones, topographic analysis processes were initially carried out by means of a land survey using drones, which made it easier to determine the characteristics of the land that is surrounded by the Huancachupa River, in addition to this, a process of characterization of the micro-basin was carried out at the which belongs to the Huancachupa River from DEM images obtained from international servers. The geomorphological parameters were determined in the ArcGIS software because the information is relevant to determine the runoff times of the micro-basin, which influences the flow capacity of the land. To generate a flood simulation model, information on design flows was required for different return periods, which were determined by statistical means, obtaining the values for the return periods of 10, 50, 100, 150, 250, 500 and 1000 years. are 1,320,836, 1,834,076, 2,112,530, 2,294,751, 2,546,788, 2,933,605 and 3,379,185 m<sup>3</sup>/s respectively. From the model that is followed in the HECR-RAS software, it was not possible to identify flood zones where houses are located, but rather the compromised land is clearly an agricultural zone. Due to the characteristic topography of the area, it was possible to determine that the area does not have high levels of flooding due to its topographical characteristics.

**KEY WORDS:** Flood, simulation, HEC-RAS, flows, rainfall, micro-basin, Huancachupa.



## INTRODUCCIÓN

La región de Huánuco debido a las características hidrográficas e hídricas de la zona y las características climáticas, es considerada una zona con un alto grado a inundaciones, esto pues debido a que en la zona se encuentran una serie de ríos propensos al desborde debido a cualquier tipo de evento natural. En la localidad denominada San Francisco de Cayran se encuentra ubicado el río Huancachupa el cual en los periodos de invierno presenta un incremento de caudal debido al incremento de las precipitaciones en la zona, a esto se le puede añadir los efectos que tiene el Fenómeno del Niño en el país, lo cual genera como resultado los efectos de desborde de ríos, inundaciones, huaycos, la acumulación de material detrítico en las zonas urbanas, etc. Centrándonos en la problemática de las inundaciones en la zona, esta pues presenta un grave riesgo para la población, esto a causa de la ocupación de viviendas y zonas agrícolas en las zonas que bordean al río, generando una incertidumbre a la población que habita la zona y genera recursos económicos a través de sus cultivos, generando así una problemática con relación a los efectos negativos que pueda tener un desborde y posterior inundación causada por el río Huanchupa. Por ello se plantea un análisis hídrico para la zona lo cual nos ayude a identificar las zonas que se verán afectadas por inundaciones que se presenten, esto a partir de un modelo de simulación ejecutado en el software HEC-RAS. A partir de esto se planteó esta investigación la cual se estructura de la siguiente manera:

**Primer capítulo:** Para esta primera parte de la investigación se planteó dar a conocer la problemática que aqueja a la zona de investigación, así también se plantean los objetivos que se quieren lograr, la justificación que hace que se realice la investigación, las limitaciones que se encontraron y el nivel de viabilidad para la investigación.

**Segundo capítulo:** En este capítulo de la investigación se fundamentan las investigaciones relacionadas y sus respectivos abordamientos a la problemática en común, tanto a nivel nacional como internacional. Adicionalmente se da a conocer los fundamentos teóricos los cuales fueron de utilidad para la obtención de resultados, así también se plantea la hipótesis

de la investigación, la cual será verificada o refutada, con sus respectivas variables y operacionalización de las mismas.

**Tercer Capítulo:** Se fundamentan las bases metodológicas con las cuales se abordó la investigación, el enfoque, alcance, diseño, cual fue la población y muestra para la investigación con las respectivas técnicas con las cuales se realizaron la toma y procesamiento de datos.

**Cuarto Capítulo:** En esta sección de la investigación se presentaron los mapas resultantes del modelo de simulación conjuntamente con las zonas identificadas como propensas a inundaciones, también las características geomorfológicas que presenta la zona de interés.

**Quinto Capítulo:** Finalmente, se presenta la discusión con diversos autores, en la cual se contrastaron los resultados que se obtuvieron y los métodos que se utilizaron en la investigación y los que aplicaron otros autores.

# **CAPÍTULO I**

## **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Según el INDECI (2016), en el Perú a lo largo de la historia se produjo grandes desastres, como son las eventualidades del fenómeno del niño de 1997 y 1998, del cual la población afectada llegó a ser de alrededor de los 120 mil en Piura, de la misma manera alrededor de 72,306 damnificados en la Libertad y el último que se registró fue en los meses de diciembre 2016 a marzo de 2017, este desastre natural dejó 85 muertos, 270 heridos y 20 desaparecidos, con un aproximado de 800,000 damnificados.

Según el COEN (2019), en el mes de diciembre del 2019, se registró una inundación por parte del río, como respuesta ante una alta precipitación que se registra en la zona, lo cual generó un aumento del volumen del caudal como consecuencia a este tipo de eventos el desborde del río, que impactan sobre la estabilidad y rigibilidad de una vivienda, zonas de cultivo y vías de comunicación, en la localidad y distrito de San Francisco de Cayran, en la provincia de Huánuco.

Los ríos y sus cauces y riberas son ecosistemas que se ven afectados por sus propios cambios dinámicos naturales y cambios muy importantes en el uso por causas del hombre. Sin embargo, la función principal del río es evacuar el agua depositada en la cuenca. Por tanto, la red fluvial es el sistema de drenaje natural de la cuenca hidrológica. El gran motor de la dinámica de los ríos es la inundación. Un río sin inundación es un río muerto. Ésta es la importancia de los reservorios y defensas fluviales, el desbordamiento de los ríos es el mecanismo por el cual los ríos deben limpiar regularmente sus propios cauces, este cauce se utiliza para transportar agua, sedimentos y organismos, y tiene su propia forma y diseño del mismo. Por otro lado, cuando se producen inundaciones, por lo que las inundaciones son el riesgo natural más común en la región mediterránea y uno de los riesgos naturales que provocan las mayores pérdidas económicas.

En Huánuco en la localidad del distrito de San Francisco de Cayran y los tramos de Cayran - Chaulan el río en tiempos de invierno, el río tiende a crecer sustancialmente, provocando el problema de las crecidas del río. Como resultado, las inundaciones, la erosión y la acumulación de materiales de arrastre causan daños a los residentes propietarios de sus casas y tierras de cultivo circundantes. Esto es especialmente cierto cuando el problema del calentamiento global causado por la contaminación conduce a un aumento de las precipitaciones, debido al aumento de la temperatura de la tierra y la atmósfera, esto hace que el río aumente el flujo de más agua.

Por lo que los pobladores de esta zona explicaron que las crecidas e inundaciones del río Huancachupa ocasionaban diversas pérdidas, a partir de ello se propuso que el río Huancachupa deba ser analizado. Teniendo en cuenta las dichas cuestiones, se plantea realizar una simulación mediante modelos hidrológicos e hidráulicos del río Cayran y esto nos dará como resultado la identificación de las zonas y áreas sensibles a inundaciones.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuáles son las zonas de inundación y el comportamiento hidráulico e hidrológico por medio del software de modelamiento HEC-RAS del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran, Huánuco - 2021?

### **1.2.2 Problema específico**

¿Cuál es el método de ajuste adecuado para manejar los datos de precipitación para identificar las zonas de inundación?

¿Cuáles son los niveles máximos para los caudales de diseño para los periodos de retorno 10, 50, 100, 150, 250, 500 y 1000 años, para la simulación en el software HEC-RAS?

¿Cuál es el correcto manejo del software HEC-RAS con los sistemas de georreferenciación para la determinación de las zonas de riesgo?

¿Cuáles son las zonas vulnerables a inundaciones presentes en el río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco?

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Identificar las zonas de inundación y el comportamiento hidráulico e hidrológico por medio del software de modelamiento HEC-RAS del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran, Huánuco - 2021.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Proponer método de ajuste adecuado para manejar los datos de precipitación para identificar las zonas de inundación.

Obtener los niveles máximos para los caudales de diseño para los periodos de retorno 10, 50, 100, 150, 250, 500 y 1000 años, para la simulación en el software HEC-RAS.

Proponer el correcto manejo del software HEC-RAS con los sistemas de georreferenciación y datos de topografía para la simulación de zonas de riesgo.

Identificar las zonas de vulnerables a inundaciones en el río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco.

### **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1 Justificación practica**

El aporte de esta investigación al proyecto es que luego de determinar el nivel de riesgo en el río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, se propondrán soluciones para mitigar este riesgo, que luego deberá ser cuantificado y reflejado en el estudio final.

#### **1.5.2 Justificación teórica**

Porque permitirá aplicaciones y métodos para realizar simulaciones hidráulicas con estándares adecuados para ubicar y

diseñar defensas de riberas y estructuras de captación, teniendo en cuenta la modificación de canales de navegación natural y estructuras de canales.

También se debe considerar que la valoración de riesgo que se obtiene en este estudio sea confiable y fidedigno para el planteamiento de impacto del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, considerando también que para un estudio con características similares se obtendrán resultados muy confiables, debido a las características de la situación y el objeto de investigación no es demasiado grande.

### **1.5.3 Justificación metodológica**

El aporte metodológico de esta investigación es determinar su propio método para obtener el nivel de riesgo aplicable al objeto de investigación, y determinar el valor de riesgo investigación similares.

## **1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Para la investigación, existen limitaciones como el costo de los datos meteorológicos, también se limitará al uso del programa de SIG ArcGIS, la cual se obtuvo una licencia gratuita para su utilización y por último al uso de softwares de uso libre como el HEC-HMS y HEC-RAS que tienen una relación complementaria y trabajan de manera óptima con el software ArcGIS, por lo cual puede hacer variar en los resultados obtenidos con esta investigación.

## **1.7 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

El trabajo de investigación presenta las características y condiciones operativas que aseguran el cumplimiento de los objetivos planteados y una correcta interpretación de resultados.

Se debe mencionar que el trabajo de investigación requiere de recursos económicos de operación para la recolección de datos que serán asumidos por el investigador ya que estos a su vez no son considerados costos de inversión alta, y se considera el presente trabajo de investigación viable para su ejecución.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1 Antecedentes Internacionales**

Según Salazar (2018), en el artículo “*Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias*”, se trazó como objetivo general: El de calcular los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno los cuales fueron de 20, 50, 100 y 500 años en la zona con características un poco áridas que pertenecen a la sub cuenca del río Nuevo, con la finalidad de calcular las zonas de inundación en la zona. Esta investigación el autor concluyó: 1) La metodología ARF presentada enfocada con los L-momentos facilita la alimentación del modelo hidrológico e hidráulico en las áreas donde no se encuentren estaciones meteorológicas ni los registros de información histórica para la zona. Adicional a ello este tipo de metodología es una herramienta muy útil para el proceso y tratamiento de datos que permita identificar con mayor certeza para reconocer los cuantiles para los periodos de retorno y hacer la determinación del valor altitudinal de la precipitación, la misma que se usa como base de datos para el modelo hidrológico planteado. Un dato primordial para la modelación del sistema hidrológico es la obtención de datos en formato SIG a partir de las herramientas de extensión del HEC-GeoRas y el HEC-GeoHMS facilitó el procesamiento de datos para la entrada para el acoplamiento con el software HEC-RAS. De la investigación se asentaron conocimientos para futuras investigaciones relacionadas con el acoplamiento de modelos realizados en regiones semiáridas las cuales pertenecen a la cuenca en la cual se incluye el río Nuevo. 2) Debido al aumento demográfico de la zona este factor es determinante para la caracterización impermeable de la zona, esta al igual que el volumen de descarga de escorrentía aumentan por la demografía de la zona. Dado esto pues la constante actualización del Número de Curva para la zona es determinante en cada microcuenca,

lo que se plantea en este trabajo incluye también las propuestas para dicho parámetro de actualización, esta con especial atención en las áreas cercanas con existencia de escurrimiento dentro del casco urbano que se está investigando. 3) De los resultados obtenidos para los periodos de retorno de 20, 50, 100 y 500 años en el análisis de inundación se pudo comprobar que existe un aumento considerable de volumen de caudal, sin embargo, en el análisis de inundación no se identificó un cambio con respecto al área de inundación, esto pues ya que el terreno de estudio presenta una topografía con taludes pronunciados en los márgenes que impiden el desborde de las aguas del río Nuevo. Otra de las características que se pudo determinar en la zona fue la de las profundidades de agua que se alcanzan en diferentes periodos de retorno de los cuales se pudo determinar que para un periodo de retorno de 20 años la altura que alcanza es de 4.8m pero para el cálculo del periodo de retorno de 500 años el valor de profundidad es de 6.0m. Tomando también en cuenta que el aumento de profundidad en la zona se considera una amenaza a la infraestructura cercana a la zona como pueden ser puentes, centros médicos, centros educativos y entre otros relacionados con las actividades sociales que se puedan ver comprometidas. Adicional a este tipo de afectaciones se tiene que tener en cuenta las vías que comunican las actividades sociales a ambos márgenes del río y que crucen con el transcurso del río Nuevo, dado que en los resultados obtenidos de los mapas de inundación se ven comprometidas zonas que comunican a ambos márgenes y estas deben ser accionadas con recursos preventivos para la zona. Dicho evento de amenaza se presenta en la totalidad de las simulaciones para los diferentes periodos de retorno. Finalmente, para las observaciones de este punto el autor plantea el análisis para cada microcuenca que se forme dentro de la cuenca de estudio, para poder establecer e identificar las zonas de inundación o encharcamiento. 4) Adicional al análisis hidrográfico para el área de estudios también se considera la modelación de la estructura de encausamiento en el software HEC-RAS, esto con la finalidad de demostrar la utilidad del diseño planteado. 5) Finalmente,



los resultados obtenidos de esta investigación tienen un nivel de significancia aceptable para ser utilizados en el planteamiento urbano para la zona, y de la misma manera ser usado para estudios que tenga una relación con las autoridades que rigen de autoridad dentro de la zona, con la finalidad de prevenir y mejorar los planes de acción con respecto a eventos de inundación que se presenten en la zona de estudio.

Según Vargas (2017), en su tesis; *“Riesgo físico frente a inundaciones fluviales y pluviales en la cabecera parroquial Rocafuerte del cantón río verde, provincia de esmeraldas, Ecuador”*; presentada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador; se tiene como objetivo general: El de calcular e identificar el riesgo que se presente en las zonas altas de la zona llamada Parroquial Rocafuerte esto ante eventos de inundación pluviales y fluviales definido esto a partir de una caracterización espacial, determinando también las zonas seguras para la población que se vería directamente afectada por dichos eventos: 1) A partir del registro que se obtuvo de los años 2012-2017, se pudo determinar, que los meses que comprenden el periodo de enero a mayo son en los que se presentan los eventos de inundaciones fluviales y pluviales, del cálculo se determinó que para esto periodo de tiempo las precipitaciones esperadas eran de 628.2 mm. Sin embargo, las precipitaciones más extremas se determinaron como 986.5 mm en el 2016 y de 882.1 mm en el 2014. De los estudios realizados cabe mencionar que para el año 2012 se había estimado un valor de 599.5 mm. pero se obtuvieron precipitaciones de 838.1 mm. De ello se pudo concluir que en la realidad se obtuvieron valores mucho mayores a los pre calculados, esto debido a los factores de cambio climático y a los factores humanos que alteran el entorno y generan estos cambios bruscos. Adicionalmente a esto se pudo colegir de la base de datos obtenida para la zona de investigación que la presencia de un desvarío mensual con respecto a las proyecciones realizadas , dando evidencias de que la población se encontraba en una constante peligro a eventos de inundaciones, los que se vio reflejada al momento de que la población hizo la realización de las

encuestas para la caracterización de la vulnerabilidad en la zona, este tipo de eventos ya generaron previamente pérdidas económicas, humanas, daños a la propiedad, afectaciones en los sistemas de servicios básicos, afectaciones en las redes viales como es el caso del puente Rioverde y también una serie de deslizamientos de tierra en la zona. Prueba de ello fueron las crónicas escritas para periódicos locales de la zona las cuales se presentaron en los años 2017 y 2012, las cuales describieron el nivel de peligrosidad que existe en la zona en la que también participaron la población aledaña dando las declaraciones de los eventos suscitados. 2) Las zonas con características de pendientes planas y con ligeras ondulaciones en su cauce son las que representan un riesgo a inundaciones en la zona denominada cabecera parroquial de Rocafuerte en las cuales se logró definir mediante 4 cotas críticas. Estas mismas fueron catalogadas como las probables zonas inundables. Para cada uno de los escenarios se tuvo en cuenta las siguientes características, para el escenario I se obtuvo una altura de cota de 9.06 msnm, en el caso del escenario II la cota fue de 17.64 msnm, para el escenario III se obtuvo una cota de 29.46 y finalmente para el último caso la cota fue de 39.20 msnm, cada una de ellas presenta las siguientes áreas de inundación respectivamente, 0.08; 0.18; 0.40 y 0.43 km<sup>2</sup>. 3) De la caracterización de la zona se logró parametrizar algunas de ellas como son: las precipitaciones tienen un rango anual entre los 500 a 700 mm, la zona es plana con partes escarpadas, el suelo tiene una textura de gruesa y fina, tiene características de llanura en su geoforma y el uso de suelo generalmente es de pastizales y mosaicos agropecuarios. De todo este proceso se obtuvieron los mapas de vulnerabilidad en la zona las cuales fueron catalogadas como alta, media y baja en la cabecera parroquial. De dichos resultados se pudo determinar que la capacidad de reacción, de la población que se viera comprometida frente a este tipo de eventos, es muy baja. 4) De la misma manera se pudo determinar las áreas que se ven comprometidas con los diferentes niveles de riesgo en la zona, tal es para el caso del riesgo bajo el cual abarca un 0.23 km<sup>2</sup> del total del

área, en el caso del nivel medio este abarca 0.08 km<sup>2</sup> y finalmente el riesgo alto abarca 0.07 km<sup>2</sup> de toda el área que se consideró para la investigación. 5) Para ello también se identificaron las zonas de evacuación o zonas seguras para la población afectada, los cuales son: El centro educativo mixto Héctor Lara, la escuela Márquez Flores y la institución educativa Carmen Mideros. Estos fueron seleccionados como los lugares más adecuados debido a la cercanía con vías de transporte importante, una ubicación cercana a centros de salud y cuenta con el espacio adecuado para la implementación de albergues a damnificados por dichos eventos de inundación. 6) Finalmente, las propuestas que se plantearon para la gestión de riesgos en la zona son las áreas de bio retención ya que estas conllevan una menor inversión para su implementación, así también estas contribuyen a un medioambiente seguro para la zona, ya que estas facilitan la expansión vegetal en la zona denominada cabecera parroquial; la implementación de un sistema de alerta temprana es una de las otras propuestas planteadas para la mitigación de los efectos en la zona, estos pueden reducir los impactos económicos y humanos que se puedan ver comprometidos en la zona; una alternativa igual de importante son los planteamientos nos estructurales para la población en la cual se enfocan las charlas de concientización y prevención ante eventos de inundación para la zona, este tipo de actividades también fomenta la capacidad de respuesta efectiva ante una inundación materializada.

Según Mora y Gilberto (2016), realizó la investigación: *“Modelamiento de Zonas de Inundación por Medio de las Herramientas Hec-Ras, Geo-Ras y ArcGIS, Para el Sector Compreendido entre los Municipios de Corrales- Paz De Río A Lo Largo Del Río Chicamocha, en el Departamento de Boyacá”*; presenta por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; tiene como objetivo general: Elaborar el modelado de áreas inundables para la zona de los municipios Corrales-Paz de Río en el cauce del río Chicamocha en el departamento de Boyacá, a partir de la utilización de los softwares HEC-RAS, Geo-RAS y ArcGIS. La investigación llo

a las siguientes conclusiones: 1) De los resultados se obtuvieron características favorables en las condiciones de flujo permanente y sostiene una relación adecuada con los datos hidráulicos y geométricos que fueron parámetros en el modelo. 2) De los resultados se lograron evidenciar las características cualitativas y cuantitativas con respecto a la respuesta del sistema hídrico por eventos de inundación. 3) De los resultados obtenidos se logró determinar el comportamiento hidrológico para los periodos de retorne de 5, 20, 50 y 100 años. 4) El modelo matemático usado por el software HEC-RAS se ajusta a los parámetros que caracterizan al área de la investigación. 5) Se logró con los resultados obtenidos la anticipación de eventos de riesgo para los pobladores de la zona del municipio de Corrales y Paz de Río. 6) Se brinda información confiable con respecto al arte para la modelación hidráulica, estas pueden ser usadas por las autoridades locales para el respectivo uso de la información. 7) Se pudo determinar que las zonas urbanas más afectadas por eventos de inundaciones son las zonas denominada Corrales y Paz de Río, sin embargo, para el perímetro de la localidad denominada Tacso no existe ninguna amenaza por inundaciones. 8) En específico en la zona de Paz de Río, este sería la localidad más afectada por eventos de inundaciones ya que para un periodo de retorno de 5 años presenta un área de inundación del 80% en el área urbana y cuando se tenga los resultados para el periodo de retorno de 100 este porcentaje aumenta al 100% del área urbana. 9) De acuerdo con el análisis de resultados de las precipitaciones de esto se pudo determinar que presenta una alta probabilidad de ocurrencia en precipitaciones en periodos de 10 a 12 años como los eventos sucedidos entre los años del 2002 y 2012.

### **2.1.2 Antecedentes Nacionales**

Según Orellana (2021), realizó la investigación: "*Modelamiento Hidrológico e Hidráulico Para El Análisis de Inundaciones en la Ciudad de Piura Utilizando Hec-Hms y Hec-Ras*"; presentada por la Pontificia Universidad Católica del Perú; tiene como objetivo general: Realizar un modelo hidráulico e hidrológico para la cuenca a la que pertenece

el río Piura con la finalidad de identificar las zonas urbanas que se ven comprometidas por inundaciones y así proponer las medidas estructurales para la mitigación de daños. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: 1) Para los análisis hidrológicos e hidráulicos se emplearon los datos de la estación Pisco para completar los valores de datos faltantes se determinó que para un tiempo específico ya que esta sí tiene una buena relación con los valores de precipitación obtenidas de la estación denominada Pisco. Dado esto, luego de hacer el proceso de validación por procesos estadísticos como la prueba de datos dudosos y las de bondad de ajuste, se estiman las precipitaciones estimadas en una serie de periodos de retorno, se comprueba los altos valores de validez para la investigación. 2) Para la realización del análisis se aplicó la metodología del modelo semi distribuido para poder determinar los resultados de la relación precipitación-escorrentía para los elementos que componen la cuenca, tales como: las subcuencas formadas en la zona, los tramos del cauce en los ríos que lo componen, las confluencias de ríos y salidas de río. Adicionalmente, se hizo utilización del método Kriging en el software ArcGIS para realizar una interpolación de precipitaciones en el periodo de 24hrs y así poder lograr los valores promedio de precipitaciones que corresponde a cada una de las subcuencas. En el caso de las precipitaciones que se analizaron mediante el método de Kriging da a conocer los resultados un poco superiores de los calculados por el método IDW; pero esta variación no es muy significativa debido a que la diferencia es casi nula. 3) De los cálculos realizados para el caudal máximo para el río Piura en un periodo de retorno de 100 años se determinó que el valor es de  $5477 \text{ m}^3/\text{s}$ . Cabe resaltar que para este valor se realizaron hietogramas con la metodología de los bloques alternos, pero si se hubiese tomado en cuenta la metodología de lluvia de tipo I de SCS, el valor calculado sería de  $5650 \text{ m}^3/\text{s}$ , de ellas pues no se presenta una variación significativa. Igualmente, estos valores los valores calculados superan ampliamente a los valores calculados previamente en los estudios del FEN 1998, inclusive realizando las investigaciones en el repositorio del ANA en los estudios del 2014 el

cual se determinó que el valor fue de 4035 m<sup>3</sup>/s. Vale la aclaración de en el estudio del ANA se realizaron mediante el método estadístico y en donde no se consideraron una modelación hidrológica. 4) Particularmente, para la zona es arriesgado tomar un cálculo preciso para la capacidad de caudal del río Piura, esto debido esto es dependiente de la erosión que se presente en la zona y la sedimentación a la que se encuentre el cauce del río entre las avenidas que son recurrentes en la zona. De los cálculos se determinó que un caudal superior es de 1900 m<sup>3</sup>/s son los niveles críticos para desbordes. Lo cual cabe indicar que para un periodo de retorno de 50 años es el que supera el nivel crítico de caudal, lo cual cabe resaltar que la zona no tendría la capacidad de soportar para ese periodo de tiempo si es que el cauce no se modificaría. 5) De los cálculos se pudo determinar que para un periodo de retorno de 50 años o un caudal que supere los 4000 m<sup>3</sup>/s genera un riesgo alto para la población cercana a los márgenes del río, colocando en riesgo a las vidas humanas cercanas. Las características con respecto a las velocidades de flujo en las zonas llanas del área de estudio no se consideran con un nivel alto peligroso debido a que para la investigación se logró calcular que aún sea para un periodo de retorno de 500 años la velocidad de flujo no supera a 1 m/s. Pero tomando en cuenta el periodo de retorno de 50 años lo que causa un alto riesgo son las alturas de los tirantes de la zona ya que estos pueden generar una inundación en los márgenes del río en los cuales se encuentran estructuras civiles y riesgo de sistemas de servicio público. En el modelo para el periodo de retorno de 500 años, la proyección de los tirantes se acerca a los 3 metros en promedio. 6) De la serie de planteamientos para la mitigación de los efectos de las inundaciones en la ciudad de Piura, se propone la edificación de estructuras como embalses o presas. En la actualidad la cuenca de estudio a la cual pertenece el río Piura no presenta estructuras de embalses con la finalidad de mitigar los efectos que generen inundaciones. Finalmente, se da a conocer que la construcción de los embalses no será con una inversión mínima y se requerirán un periodo de tiempo considerable, se debe plantear este

tipo de construcciones ya que estas van a traer un mayor benéfico a largo plazo.

Según Huerta y Pillaca (2020), realizó la investigación: *“Evaluación Hidrológica E Hidráulica del Río Sechín en el Puente Sechín hasta un periodo de retorno de 100 Años en el Distrito de Casma, Provincia de Casma, Departamento de Ancash”* (Tesis de grado); presentada por la Universidad Nacional del Santa; tiene como objetivo Iniciar una caracterización hidráulica e hidrológica aplicada al río Sechín analizado en un periodo de retorno considerado hasta 100 años. La investigación llego a las siguientes conclusiones: 1) A partir de la modelación del río Sechín en el software ArcGIS, se pudo obtener las siguientes características geomorfológicas, como un área de 729.5 km<sup>2</sup>, y una pendiente de 0.16% determinando un número de curva de 77 a partir de la caracterización del suelo. 2) Los valores requeridos para el procesamiento de datos en el software HEC-HMS fueron los de, la infiltración máxima el cual tiene un valor de 7.11 mm, para las pérdidas iniciales el valor de 36.13 mm, con un tiempo de concentración de 54.21 min y con tiempo de retardo de 32.52 min. 3) En el periodo alrededor del año 2000 se registró una crecida de alrededor de 212 mm, la cual se puede realizar una comparación de con el caudal pico obtenido en el software HEC-HMS con un valor de 4149 m<sup>3</sup>/s a partir de un periodo de retorno de 100 años, este valor fue considerado para el cálculo del puente Sechín. 4) Para el proceso de investigación se realizó una caracterización en el software Civil3D en la cuenca del Río Sechín, lo cual se determinó como pendiente máxima el valor de 0.0661, como coeficiente de Manning se determinó los valores de 0.040 ya que en una parte de la zona presenta las características de corriente natural, sin vegetación de canal y cantos rodados; el valor de 0.02 ya que en la zona hay presencia de canales revestidos, concreto y se asientan sobre roca excavada; el valor de 0.050 ya que el suelo tiene una presencia de corrientes naturales, una corriente menor y presencia de cantos rodados con rocas grandes.

Según Oyola y Medina (2019), realizó la investigación: *“Estimación de caudales máximos con fines de prevención de*

*inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso Río Zarumilla – 2018”* (Tesis de grado); presentado por la Universidad Nacional de Tumbes; tiene como objetivo general: Aplicar la metodología de los softwares HEC-RAS y ArcGIS, para identificar las zonas de riesgo para inundaciones en diferentes periodos de retorno. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: 1) De los cálculos se obtuvieron las áreas de inundación de 8.9, 13.5, 31.3, 58.7, 97.6 y 167.6 hc para los sectores denominados La Palma, Los Olivos, Papayal y la zona denominada La Coja, todas ellas localizadas al margen izquierdo del río. 2) De la utilización del programa Hidroesta se logró calcular a partir de promedios de 3 modelos probabilísticos, los cuales fueron: Normal, Log-Normal 3 parámetros y Gumbel. La cual se pudo determinar a partir de los siguientes periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 años los resultados de caudales críticos: 445, 722, 889, 1089, 1231 y 1369 m<sup>3</sup>/s. 3) Se logró determinar que las zonas con un alto valor de riesgo para eventos de inundaciones, son las de llanuras de ambos márgenes del río, los cuales son utilizados por la población como zonas de agricultura. 4) Para la zona de llanuras se logró identificar que estas zonas presentan plantíos de zapallos, yucas, plátanos, limón, etc. esto debido también a la presencia de limos que se originaron a partir de la presencia de espigones en la zona. 5) Para la investigación en las características hidrográficas se lograron determinar que el ancho del cauce va entre los 100 y 150 m, la zona presenta cotas de 34 y 22 m, se presenta también una pendiente de 0.004, las características de velocidad que presenta van entre 0 a 3 m/s y los caudales que se determinaron para la zona van desde 0 hasta un promedio de 1000 m<sup>3</sup>/s. La zona tiene características topográficas de naturaleza plana los cerros presentes en la zona presentan en promedio una altura de 10 m con una longitud de 50 a 100 m, estas se presentan en algunas zonas marginales al río, de los márgenes del río en algunos tramos se presentan estructuras hidráulicas como espigones y muros enrocados y los lechos del cauce en gran parte de ellos tiene una composición arenosa con unos pocos rasgos de vegetación.



### 2.1.3 Antecedentes Locales

Según Tacsá (2020), realizó la investigación: *“Inundación Fluvial Y Pluvial En El Casco Urbano Del Distrito De Jose Crespo Y Castillo, A Fin De Proponer Medidas Estructurales y no Estructurales”* (Tesis de grado); presentada por la Universidad Nacional Hermilio Valdizán; tiene como objetivo general: Plantear las medidas de no estructurales y estructurales para la mitigación de impacto de los eventos de inundaciones de naturaleza fluvial y pluvial en la zona urbana del Distrito de José Crespo y Castillo. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: 1) El trabajo de investigación con la finalidad de mitigar los efectos de las inundaciones pluviales y fluviales en la zona denominada José Crespo Castillo, a partir de la aplicación de la metodología estadística histórica que se ve relacionada con los datos obtenidos en la base de datos históricas brindadas en la plataforma del SENAMHI de las estaciones cercanas a la zona de investigación, del cual se logró obtener el valor de  $4665 \text{ m}^3/\text{s}$ , dicha información es válida para la determinación de la capacidad y utilidad de las obras preexistentes en la zona de investigación, y para las futuras obras que se realizarán en la zona. Dicho esto, se hizo el planteamiento de un sistema de drenaje para el cual se tendrá una capacidad de caudal determinado para la investigación, pero para este sistema se tienen que tener en consideración la topografía y la distribución urbana de la zona. 2) Del análisis de la estación Rupa Rupa se puede deducir que los meses entre enero y marzo se presentan los registros máximos de la cual las lecturas fueron de entre 4 y 4.5 m, lo que indica es que hay presencia de un ensanchamiento de los márgenes en la zona de aguas arriba, los mínimos se presentan en los periodos mensuales de entre julio y septiembre. 3) Como parte de las medidas de mitigación que se tomaron en cuenta en la investigación se tiene el planteamiento de una red de desagüe para la zona y un control constante de los sistemas ya instalados con la finalidad de evitar las obstrucciones en el área, dichos controles se tenían que realizar de manera más recurrente en los meses de intensidad de lluvias, de la misma forma

el tener en cuenta el planeamiento de diques para las zonas marginales al río teniendo en consideración las zonas que presentan una topografía de poca pendiente y se encuentren cercanas las zonas urbanas, finalmente tener en cuenta un plan de reubicación para la población que se encuentre en una zona de alto riesgo. Una de las propuestas se tiene en cuenta la colocación de medidores de nivel de tirante de agua, con la finalidad de anticipar los eventos de inundación que se presenten para la zona. 4) En relación con las medidas no estructurales propuestas para la mitigación se plantean la implementación de grupos multidisciplinarios que estén integrados de la población comunal, la autoridades gubernamentales locales y los técnicos estatales, para generar acciones de diagnóstico con respecto de la zona, de ello también se tiene que realizar planes de seguimiento y acción ante eventuales riesgos para la zona desde el punto de vista analítico con la finalidad de mitigar los efectos que se generen. 5) Considerando también uno de los planteamientos fue el de implementar plantíos de especies vegetales autóctonas para la zona y la del bambú, de las cuales fueron seleccionadas para el control de la erosión en la zona, también se contribuye con este planteamiento el de lograr una estabilización de las orillas y una mejor practica de actividades agrícolas, con la finalidad de mitigar los efectos de las inundaciones en algunas zonas del área de estudio. Con la finalidad de acelerar el proceso de escurrimientos se propuso la edificación de diques esto a partir de uso de terrenos con una humedad considerable, en las zonas de lagos y llanuras aluviales que en algún momento de su existencia fueron secados, con la finalidad de lograr un aumento de la capacidad de descarga a la cual se encuentra sometido y el corte de algunas zonas meandrosas. Otra observación para el planteamiento de soluciones en la zona fue la de edificar diques en las laderas para contrarrestar el desbordamiento del río.

Según Lázaro (2020), realizo la investigación: *“Análisis De Riesgo De Desastre Originado Por Los Fenómenos Hidrometeorológicos A Fin De Reducir La Vulnerabilidad Frente A La Inundación Del Río*

*Huallaga En El Poblado De Colpa Alta, Distrito De Amarilis – Huánuco*” (Tesis de grado); presentada por la Universidad Nacional Hermilio Valdizán; tiene por objetivo general: Realizar un análisis de riesgo originado por fenómenos hidrometeorológicos con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad ante inundaciones en el río Huallaga para el tramo del centro poblado de Colpa Alta. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: 1) De los resultados de caudal máximo para la zona del río Huallaga, se obtuvieron a partir de la base de datos históricos brindados por el SENAMHI y aplicado los parámetros estadísticos se determinó que el método más adecuado para dicho estudio es la del Log-Pearson tipo III. Del cálculo de la proyección de caudales se tomaron en cuenta diversos periodos de retorno los cuales son: 25, 50, 100 años de los cuales se obtuvieron los caudales de 867.60, 944.37 y 1033.13 m<sup>3</sup>/s. De las disposiciones de la Autoridad Nacional del Agua es que para un estudio urbano se tiene que tomar en cuenta el periodo de retorno de 100 años. 2) De la metodología que se plantean las instituciones estatales de seguridad como el CENEPRED y las bases teóricas denominadas SAATY se pudo determinar que la zona de Colpa Alta presenta en gran parte de las zonas un nivel Muy Alto de peligro, esto se determinó a partir de los parámetros de caudal en un periodo de retorno de 100 años el cual se pudo determinar como 1033.13 m<sup>3</sup>/s, se tomó en cuenta que el factor desencadenante fue el del historial de precipitaciones obtenidas en el SENAMHI y los factores condicionantes tirante hidráulico, pendiente, rugosidad, todas ellas trabajando en conjunto hicieron que la caracterización del peligro. 3) Para la modelación que se realizó en el software HEC-RAS se tomaron en cuenta todos los caudales calculados para los diferentes periodos de retorno ya mencionados, obteniendo como resultado con respecto al tirante crítico los valores de 2, 3 y 4m de altura aproximadamente. De los cuales se pudo determinar que las áreas de inundación comprometen ambos márgenes del río en el tramo de estudio. 4) A partir de los resultados obtenidos se plantea que el tipo de estructura para una defensa contra las inundaciones puede ser la de muros de contención de gavión,

concreto armado y mampostería. Debido a las características que presenta el río Huallaga en todo el tramo de estudio como: la sinuosidad, geometría, acciones erosivas, fuerzas de empuje, tipo de suelo, se consideró como óptimo el diseño de una defensa riberena de concreto con una altura de 5m, esta pues se plantea con la finalidad de mitigar la vulnerabilidad en la zona y resguardar las zonas de vida y urbanas presentes en un latente riesgo.

Según Rojas (2019), realizó la investigación: “*Simulación Hidráulica e Hidrológica del Río Chaupihuaranga con el fin de Reducir la Vulnerabilidad ante Máximas Avenidas en 2.5 Km. del Casco Urbano del Distrito de Yanahuanca – Pasco*” (Tesis de grado); presentada por la Universidad Nacional Hermilio Valdizán; tiene por objetivo general: Analizar el comportamiento hidráulico e hidrológico del río Chaupihuaranga, para reducir el riesgo por inundación en el casco urbano del Distrito de Yanahuanca. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: 1) Se determinó las zonas vulnerables del río Chaupihuaranga, para reducir el riesgo por inundación en el casco urbano del Distrito de Yanahuanca mediante el programa Hec-Ras para los tiempos de retorno 10, 25, 50, 100 y 500 años para dicho cálculo se utilizaron la intensidad máxima de 94.962 mm/h, pendiente del cauce 0.031, coeficiente de rugosidad de 0.036 y el área de la cuenca de 789.77 km<sup>2</sup> y el caudal máximo de diseño (ver el cuadro N°139), y el tirante crítico para un periodo de 500 años de retorno es de 6.22 m (ver el cuadro N°1 29) en lo largo del cauce hay desborde del río. 2) Se logró determinar los niveles máximos que alcanzará el caudal con los tiempos de retorno 10, 25, 50, 100 y 500 años con los registros de cinco años de precipitaciones máximas de las tres estaciones meteorológicas cerca de la subcuenca obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) cuya distribución se ajusta a la metodología de Gumbel. Asimismo, se obtuvo las intensidades máximas para los tiempos e retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años para una duración de 150 minutos se obtuvieron 7.803, 9.796, 11.275, 12.43 y 16.135 mm/h respectivamente de la estación Yanahuanca, 8.433, 10.474, 11.987, 13.49 y 16.962

mm/h respectivamente para la estación 12 de Octubre y 10.644, 13.63, 15.839, 18.035, 23.109 mm/h para la estación Cerro de Pasco, de esa forma reducir el riesgo por inundación en el casco urbano del Distrito de Yanahuanca. 3) Se elaboró el mapa de riesgo de inundación con los datos obtenidos e ingresados al software Hec-Ras y analizados para un tiempo de retorno de 500 años, en donde nos arroja la progresiva de mayor tirante crítico y ubicar la defensa ribereña que se eligió diseñar un muro de concreto armado para reducir el riesgo por inundación en el casco urbano del Distrito de Yanahuanca. 4) La mejor alternativa de solución, para reducir el riesgo por inundación en el casco urbano del Distrito de Yanahuanca es el diseño de un muro de concreto armado y/o muro de gaviones, cuya altura es de 3 m y los cálculos están especificados en la alternativa de solución se optó por este diseño, debido a que es un río con fuerte arrastre de rocas, la fuerza de empuje del agua es elevado y características del suelo.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Hidrología**

El autor nos habla sobre que para definir el concepto de hidrología se tiene que partir de que esta es una ciencia natural, que a partir de la etimología se relaciona con cuerpos de agua, dentro de ella se logra realizar la parametrización de los ciclos del agua como también la distribución que se genera, determinar las propiedades físicas y químicas en las cuales se incluyen a los seres vivos que se relacionan directamente con los cuerpos de agua. (Aparicio 1989, pág. 13)

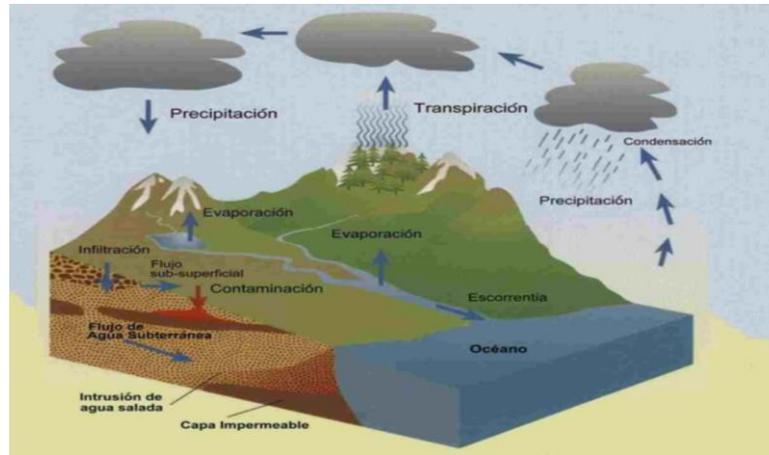
### **2.2.2 Ciclo hidráulico**

Este parámetro se puede definir como el fenómeno terrestre en la cual se realiza una circulación del agua en sus diversos estados en la superficie y en la atmósfera terrestre, uno de los factores importantes que generan este tipo de eventos es la energía solar que llega a percibir el planeta lo cual hace que el agua en estado líquido se evapore para luego por efecto de la gravedad se precipite y que esta

forme parte de la superficie para volver a generar un nuevo ciclo o parte de las reservas subterráneas de agua. (Cahuana & Yugar 2009, pág. 38)

**Figura N° 1**

*El ciclo hidrológico*



Fuente: Cahuana & Yugar (2009)

### **2.2.3 Hidráulica fluvial y morfología**

La hidráulica fluvial es una herramienta que facilitará la caracterización del río, debido a que estos presentan una gran diversidad de características en diferentes casos morfológicos, determinar pues también la estabilidad del caudal, y posteriormente determinar estructuras civiles que mantengan el estado óptimo de un cauce, determinando el comportamiento hidrológico en las cuencas y en el punto de salida la determinación de los caudales, el transporte de sedimentos que esta presenta, así como las implicancias en la morfología y régimen del río. (Rocha, 2003)

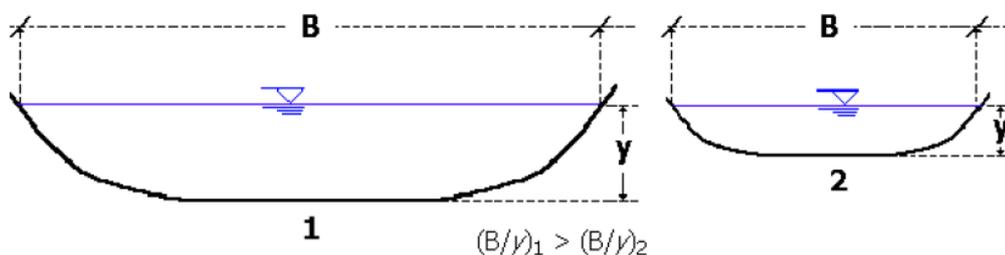
La hidráulica fluvial intenta aprovechar los recursos naturales que se puedan obtener de los ríos y adicionalmente al aprovechamiento de recursos, se intenta realizar una mitigación de efectos que se generan a partir de una avenida crítica. De la naturalidad del río, a comparación de las estructuras hidráulicas como canales, esta pues presenta una interrelación para los variados parámetros del medio en donde se ubica. (García, 2010)

## 2.2.4 Geometría hidráulica

A partir de los estudios realizados en la caracterización de ríos se pudo determinar que la anchura que tiene el río se relaciona con el caudal de la manera siguiente, el ancho de río viene a ser proporcional a la raíz del caudal determinado, dicho de otra manera, un río que posee cuatro veces más un caudal tendrá una anchura del doble en aproximación. Del análisis del movimiento del agua en un traslado libre la velocidad media aumenta con relación a el tamaño de la sección, en otras palabras, mientras sea mayor la dimensión de la profundidad, tirante o calado “y”. Analizando las relaciones matemáticas el producto del ancho, la profundidad y el tirante da como resultado el caudal “Q” y de la primera relación planteada en este ítem, se puede despejar el calado “y” incrementará con el caudal de manera más lenta con la anchura “B”, de la misma manera sucede con la velocidad media. Entonces de la resultante la relación de B/y, esta relación se denomina la relación de forma en la sección, esta relación crecerá de manera lenta al igual que el caudal. Finalmente, como resultante del análisis de relaciones se podría decir, que un cuerpo de más caudaloso genera un cauce ancho y profundo, pero la profundidad es directamente proporcional al ancho, en comparación a un cuerpo de agua menos caudaloso. (Vide, 2004)

Figura N° 2

Relación geométrica para ríos con diferentes tamaños



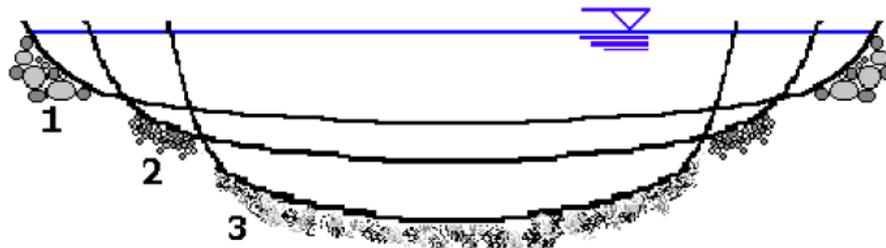
Fuente: (Vide, 2004)

Una de las relaciones que también se puede tener en cuenta para la caracterización del río es que el coeficiente “B/y” incrementa cuando

el material fino es menor a lo largo del cauce del río, dicho de otra forma, si tenemos cauces anchos se puede relacionar a que se presentan materiales gruesos. El efecto de aumentar “B/y” se relaciona con el transporte del río, cuando este transporte es mayor, en resumen, las dimensiones del material y la cantidad de transporte del mismo se relaciona de manera directa con las secciones que se formen en el río. De los transportes de sólidos cuando este aumenta se reduce la sinuosidad, por ende, la forma del cauce toma características rectilíneas. (Vide, 2004)

**Figura N° 3**

*Secciones transversales con diferentes materiales desde el más grueso al fino*

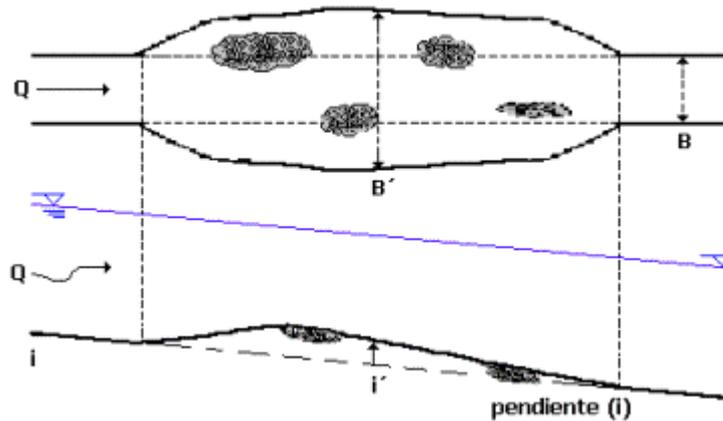


Fuente: Vide (2004)

Para la relación que existe en la profundidad y ancho se relaciona con los efectos erosivos que se presentan en las orillas del río. Ante el ensanchamiento de orillas del río, debido a la baja resistencia en el suelo, genera una disminución para el denominado caudal unitario, en dicho periodo de tiempo se identifica un comprometimiento del material sólido. Por ende, se genera un acrecimiento del fondo que se compensa con la pendiente mayor que se va a generar. (Vide, 2004)



**Figura N° 4**  
Relaciones entre ancho y pendiente

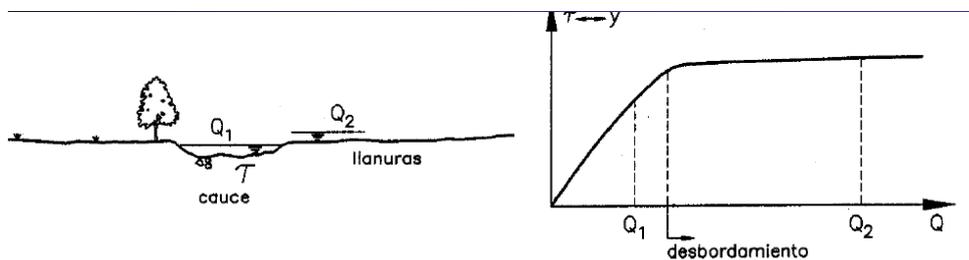


Fuente: Vide (2004)

### 2.2.5 Caudal dominante

La geometría de un cauce es consecuencia de la acción de los caudales, a partir de su magnitud, por la recurrencia o en general por la adición de ambas, son los determinantes. En un río en equilibrio, la avenida que llena el cauce principal es el que realiza un mayor efecto sobre las características entre el cauce, dicho pues lo valores de velocidad o los de tensión tangencial, dado que un caudal superior es de poca ocurrencia y no afecta considerablemente su acción sobre el río. El caudal dominante, formativo o efectivo es: Caudal entre 1,5 y 7 años de periodo de retorno. (Navarra, 2009)

**Figura N° 5**  
Concepto de caudal dominante y Gráfico de variación de la tensión tangencial en función del caudal dominante.



Fuente: Navarra (2009)

### 2.2.6 Clasificación de ríos

Una de las metodologías que se usan para la caracterización de la morfología fluvial a partir de diferentes puntos de vista, la cual

permite identificar y delimitar con facilidad a cualquier cuerpo de agua en este caso ríos determinando sus características principales. Es indispensable tener la consideración de que en el ambiente natural es factible identificar las características intermedias que podrán ser clasificadas de la siguiente forma. (Maza, 1995).

#### **2.2.6.1 Según su Edad**

**Ríos jóvenes:** Este tipo de ríos se encuentran originados en los cauces de montaña, una de las características principales es la presencia de una sección transversa de tipo "V" y tienen una pendiente alta. Una de las características que presenta es la irregularidad y presencian un proceso de degradación. (Jimenez, 2016)

**Ríos maduros:** Estas caracterizan por ubicarse en valle de gran amplitud, con pendientes bajas relativamente, una actividad erosiva en las orillas del río reemplaza a la erosión en las profundidades. Para este tipo de ríos se caracteriza por tener estabilidad y la sección transversal tiene la capacidad de transportar el volumen de sedimentos a lo largo del recorrido. (Jimenez, 2016)

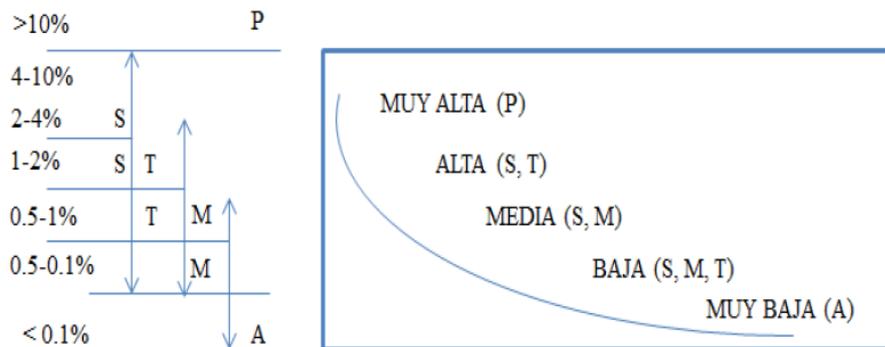
**Ríos viejos:** Ubicado en valles con una amplitud considerable y zonas planas, tiene como característica que el ancho está entre 15 a 20 veces más que el ancho que se promedian de los meandros. Geológicamente presentan pendientes bajas las cuales forman depósitos sedimentarios en los márgenes del cauce del río. Comúnmente se localizan en áreas cercanas a los pantanos o lagos tienen una morfología de herradura esto formado a partir de la desaparición de meandros de manera natural. (Jimenez, 2016)

#### **2.2.6.2 Según su pendiente**

Teniendo en cuenta la pendiente se puede establecer las diferencias con respecto al régimen que se presenta en el río al cual se requiere investigar. Característicamente un río posee una pendiente de entre el 0.5% y el 1.5%, las pendientes de

mayor valor se encuentran en las zonas montañosas y los menores valores en los valles que son próximos a las desembocaduras. En el caso de que un río posea una pendiente superior al 1.5% esta se denominará torrenciales, y si por otra parte la pendiente presente para el río es mayor al 6% estas se catalogan como torrentes. En las zonas denominadas torrentes, a causa de del movimiento de sedimentos, este flujo ya tendría que ser considerado como un flujo no newtoniano. (Maza, 1995)

**Figura N° 6**  
Categorización de ríos por su pendiente



Fuente: Wikipedia

### 2.2.6.3 Según su tipo de fondo

A partir del material que se encuentra en el fondo de la superficie del río estas se pueden clasificar de la siguiente manera, con lechos aluviales, ríos encajados, lecho rocoso o de grava o arena.

Las características de los ríos aluviales es que poseen una alta cantidad de transporte de material sedimentario y que en el transcurso del tiempo estas presentan evoluciones muy notorias en un corto periodo. (Maza, 1995)

De las características de los lechos rocosos, se puede decir que esta presenta una reducida cantidad de transporte de material sedimentario, y a lo largo de tiempo su evolución es lenta, esto pues se pueden dar en años o siglos a causa de que

el material que la compone es de un alto nivel de dureza. (Maza, 1995)

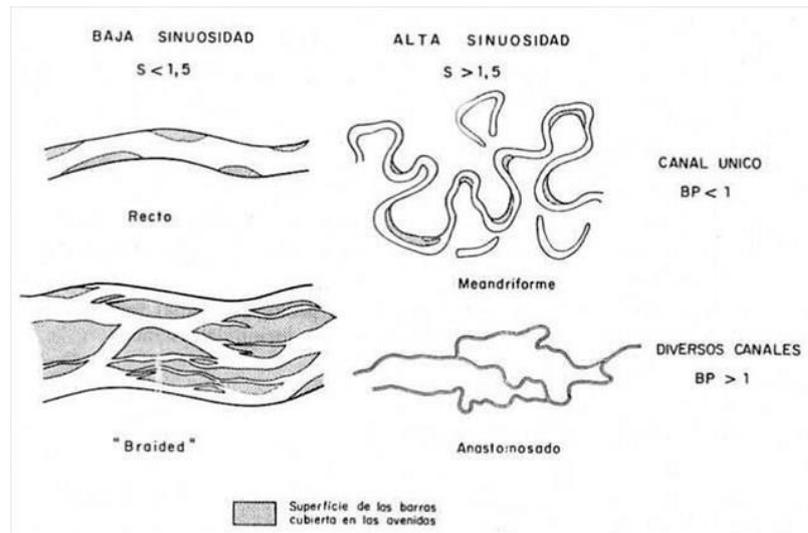
#### **2.2.6.4 Según la forma en planta**

Ríos rectos: Generalmente este tipo de ríos son una idealización humana ya que en la naturaleza no se presentan este tipo de ríos, sin embargo, esto se puede considerar como un estado de transición al río meándrico. (Rocha Felices, 1998)

Ríos entrelazados: Este tipo de ríos se forma a partir de la división en brazos de los ríos los cuales por efecto de la división forman islas entre los brazos. Otra manera de denominarlos es la de Multicanalizados. Las bifurcaciones que se presentan tienden a volver a juntarse en algún punto se dice que el curso del río es divagante y que en general se entrelazan a lo largo de su recorrido. Este tipo de ríos tienen un comportamiento con alta inestabilidad y un comportamiento que no se puede predecir. Otra de las características de este tipo de río es la alta cantidad de material sólido en el fondo del cauce que en muchas circunstancias pueden sobrepasar la capacidad de transporte de la corriente del río. Las islas transitorias que se forman en su recorrido se deben a que se presenta una cantidad de sólidos excedentes que no pueden ser transportados por lo mismo hay presencia de bancos inestables. (Rocha Felices, 1998)

Ríos meándricos: Este tipo de ríos se forman a partir de los ríos aluviales ya que estos por su naturaleza tienden a formar meandros. Esta es la característica principal de la cual tiene una geometría serpenteante. Dicho de otra forma, esto pues refleja que este tipo de ríos no tiene tendencias a mantener un curso rectilíneo, característico de la inestabilidad que tiene. Característicamente, si se presentan meandros a lo largo de un río esto significa que hay un aumento en el recorrido fluvial lo que trae consecuencias en la pendiente disminuyéndola y por ende la velocidad media también se reduce. (Rocha Felices, 1998)

**Figura N° 7**  
*Clasificación morfológica de los ríos*



Fuente: Rocha (1998)

### 2.2.7 Características sinuosas hidráulicas

Esta característica puede darse en cuerpos de agua con una pendiente pequeña, si se presentan altas sinuosidades en los ríos esto da a entender que se tienen una pendiente considerable y como resultado una mayor capacidad de erosión. Para el cálculo de esta característica se tienen en cuenta el planteamiento que hizo Schumm, quien planteó que el desarrollo meándrico en un cuerpo de agua se obtiene a partir de la relación de la longitud del cauce con la longitud del valle que conforma. (Schumm, 1963)

**Tabla N° 1**

*Características sinuosas de ríos*

TIPO DE CANAL	ÍNDICE DE SINUOSIDAD
Rectilíneo	1.00 – 1.20
Transicional	1.20 – 1.50
Regular	1.50 – 1.70
Irregular	1.70 – 2.10

Fuente: Schumm (1963)

### 2.2.8 Cuenca hidrográfica

Una cuenca se refiere a la zona que se drena por un río o un sistema de canales interconectados, y toda la escorrentía del área se

descarga a través de un punto de desfogue. Es un sistema regional o zona geográfica, que se separa por el límite de agua, en donde se presencia el ciclo hidrológico e inciden los factores naturales, políticos, etc. interactúan y cambian a lo largo del tiempo. (Chereque, 1989)

Se puede definir como cuenca a una zona geográfica, que se encuentra relacionado con cuerpos de agua o puntos de esta zona, de la manera que todos los eventos de precipitación dentro de esta zona se escurran en un punto dentro de la zona. Esta también se define como la zona en la que se capta de manera natural de las lluvias que escurren en un punto de salida único. Esta tiene una definición de composición de una serie de vertientes que conforman un sistema de drenajes que están formados a partir de los cursos de agua que llegan a un punto en común colector denominado lecho. (Farias, 2005)

### **2.2.9 Parámetros morfológicos de la cuenca**

Estudiar cuantitativamente las características físicas (formas terrestres) de las cuencas hidrográficas hidrológicas y analizar las redes de cuencas hidrográficas, las pendientes y las formas de las cuencas hidrográficas mediante cálculos numéricos. En este caso, es importante señalar que el levantamiento debe realizarse en una representación geográfica grafica con la información necesaria hidrológica y topográfica. (Bardales, 2008)

Los parámetros físicos para la caracterización de las cuencas son de gran importancia y practicidad, basado en esta información se logra hacer una interpolación de información en dos zonas distintas, donde no se presente la suficiente información: por la falta de datos, o la carencia de registros hidrológicos, este tipo de interpolación se puede realizar solo si se presentan semejanzas geomorfológicas y climáticas entre las áreas que se investigan. (Juella, 2011)

El estudio de los recursos hídricos en una cuenca hidrográfica es un tema complejo, es necesario comprender la gran variedad de características de una cuenca hidrográfica, Muchas de ellas presentan dificultades al momento de representar a través de parámetros o

indicadores que son de gran utilidad para la investigación de cuencas y permiten la comparación con otras cuencas hidrográficas. lavabos.

Para la caracterización de la cuenca dentro de la amplitud de los parámetros que se puedan determinar, se toman en cuenta los siguientes:

#### **2.2.9.1 Parámetros de Forma**

Considerando la trascendencia de la estructura de la cuenca, se elaboran cuantificaciones de características a través de índices o coeficientes, que vinculan el transporte del agua y la respuesta de la cuenca a este evento dinámico.

Los siguientes factores son:

- a) **Área:** Viene a ser la proyección plana en un plano llano, y la forma no regular, que se calcula a posterior de la delimitación de la cuenca. La determinación de este parámetro es muy importante, ya que es la base para determinar otras características (parámetros, coeficientes, relaciones, entre otros); adicionalmente, generalmente el caudal de escorrentía aumenta con el aumento del área de la cuenca, y porque esta área puede estar relacionada con la génesis de sedimentos. La denominada tasa de degradación puede estar relacionada con la erosión del suelo. A través de la relación entre la tasa de generación y remoción de sedimentos se define como la tasa de transporte de la cuenca. (Villón, 2011)

A causa de que la silueta de la cuenca tiene características irregulares, no se pueden utilizar fórmulas geométricas para calcular el área de la cuenca, actualmente se utiliza un software diferente para calcular este parámetro. Por lo tanto, su área se mide en kilómetros cuadrados, y cuando la cuenca es pequeña, se mide en hectáreas.

**Tabla N° 2**

*Denotación de la cuenca según su área.*

ÁREA DE LA CUENCA	
Cuenca Pequeña	$A \leq 250 \text{ km}^2$
Cuenca Grande	$A > 250 \text{ km}^2$

Fuente: Villón (2011)

**b) Perímetro:** Es el valor de longitud del borde que se genera a partir de la proyección de área. (Villón, 2011)

**c) Longitud Axial ( $L_a$ ):** Es la distancia recta que hay desde el punto más alto de la cuenca hasta el punto más bajo de la cuenca. (Villón, 2011)

**d) Índice de Compacidad ( $K_c$ ):** Se calcula por la división de la distancia irregular de la cuenca entre el perímetro de un círculo que tiene la misma área que la cuenca. (Villón, 2011)

$$K_c = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{\text{Perímetro de un círculo de igual área}}$$

$$K_c = \frac{P}{P_o} = \frac{P}{2\pi r}$$

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

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

$$K_c = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

$K_c$ : Índice de compacidad.

$P$ : Perímetro de la zona. (km)

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

Como  $K_c$  tiende a 1, la cuenca tiende a ser circular, el riesgo de inundación en la cuenca aumenta porque no hay diferencia en la distancia relativa entre el punto de división y el punto



central, que es más largo y el tiempo La concentración se acorta, por lo tanto, mayor es la posibilidad de inundaciones continuas.

**Tabla N° 3**

*Tendencias de cuencas según "K<sub>c</sub>"*

ÍNDICE DE COMPACIDAD	TENDENCIA DE CUENCA
$K_c \leq 1$	Redondeada
$K_c > 1$	Alargada

Fuente: Villón (2011)

**e) Rectángulo equivalente:** Se puede definir como reinterpretación geométrica de la cuenca, está a partir de la forma heterogénea de la cuenca y se transforma en una geometría del rectángulo, que presenta una similar área y perímetro, en consecuencia, un igual índice de compacidad, la misma distribución de altura, equivalentes curvas hipsométricas e igual composición de áreas de terreno relacionadas con la cobertura del suelo. De la transformación al rectángulo, se reubican las curvas de nivel de forma paralela al lado menor, en consecuencia, el primer y el último lado menor de las curvas de nivel. (Villon, 2011)

$$A = L \times I$$

$$L = K_c \times \sqrt{\pi \times \frac{A}{2}} \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4K_c^2}{\pi}} \right)$$

$$I = K_c \times \sqrt{\pi \times \frac{A}{2}} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4K_c^2}{\pi}} \right)$$

Donde:

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

L: Lado mayor del rectángulo equivalente.

I: Lado menor del rectángulo equivalente.

K<sub>c</sub>: Índice de gravelius de la cuenca.

### 2.2.9.2 Parámetros de relieve

Es la variación, el desnivel de 2 puntos referencial. Las subidas y bajadas del flujo del caudal son la diferencia de altura del punto más alto del caudal y el más bajo del caudal. La relación entre relieve mayor del flujo y el trayecto en línea recta horizontal más grande del flujo calculada en paralela a la vía fluvial.

#### a) Pendiente media de la cuenca:

$$S = \frac{H}{L}$$

Donde:

*S*: Pendiente media.

*H*: Desnivel total.

*L* : Lado mayor del rectángulo equivalente

Tabla N° 4

Clasificación de pendientes

TIPOS PENDIENTES	CONDICIONES
Pendiente Alta	> 30% mayor velocidad de escorrentía, disminuye la capacidad de infiltración.
Pendiente Baja	< 30% menor velocidad de escorrentía, mayor la capacidad de infiltración.

Fuente: (Villón, 2011)

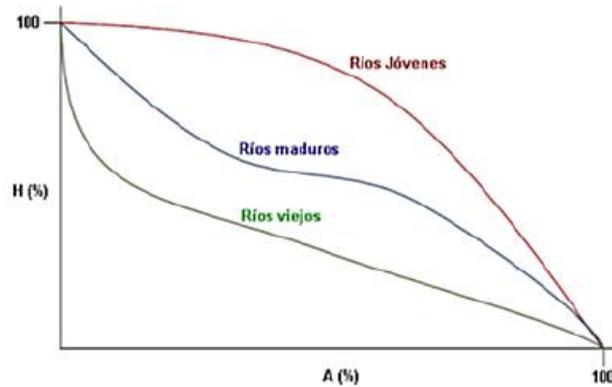
**b) Curva Hipsométrica:** Es una figura del cambio de cota de la cuenca. Se obtiene del plano topográfico, tomando el porcentaje del área por debajo de cierta altura. Inicialmente será el punto más bajo de la cuenca y se basará en el terreno circundante. zona y puntos de salida definidos por ellos. El valor de la altura de la línea alta aumenta, y la zona de salida suele ser el punto más inferior de la cuenca. (Villón, 2011)

Se divide de la siguiente forma:

- **Ríos jóvenes:** Este tipo de cuenca presenta una alta actividad erosiva.
- **Ríos maduros:** Este tipo de cuenca se encuentra en actividades equilibradas.

- **Ríos viejos:** Se refiere a las cuencas sedimentarias.

**Figura N° 8**  
*Curvas Hipsométricas*



Fuente: (Villon, 2011)

### 2.2.9.3 Red de drenaje y sus parámetros

Organización del curso del agua: Las corrientes existentes en la naturaleza se pueden clasificar en 3 tipos que dependen del escurrimiento que se presente, estas también se parametrizan partiendo de características climáticas y físicas de la zona de investigación. (Villón, 2011)

Se puede clasificar como:

- **Corriente efímera:** Se refiere el tipo de corriente que solo transporta agua en el instante en que llueve y luego de que este evento ocurre.
- **Corriente intermitente:** El agua se transporta por un largo periodo temporal, característicamente en periodos de lluvia; en el que el nivel freático es más bajo que el fondo del canal, su contribución se detiene.
- **Corriente perenne:** Siempre contiene agua y puede continuar suministrando agua incluso durante los períodos secos, porque el nivel del agua subterránea siempre se mantiene por encima de la profundidad del canal.

**Orden de corrientes:** Este tipo de clasificación se presenta a partir de la división que haya dentro de la cuenca en los ríos, para obtener las divisiones de los ríos se requiere de un plano elaborado de la cuenca. Las características para el orden se pueden identificar las siguientes formas, las que se consideran de orden 1, las que no presentan ningún elemento tributario, el de orden 2, son los que tributan a los de orden 1, los de orden 3, son los que tributan a los de orden 2, y así sucesivamente. De esta forma, el orden del cauce principal da el valor de la extensión para las corrientes de la zona de investigación. (Villón, 2011)

**Densidad de corriente:** Se plantea partir la proporción entre la cantidad de corrientes y el valor de superficie drenada para la cuenca de análisis. (Villón, 2011)

$$D_c = \frac{N_c}{A}$$

Donde:

$D_c$ : Densidad de corriente.

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

$N_c$ : Numero de corrientes. (corr.)

**Densidad de drenaje:** Se define como la división entre la longitud total de las corrientes de flujo al que pertenece la red de drenaje con el área de la cuenca. (Villón, 2011)

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

Del cual se sabe:

$L$ : Longitud de corrientes. (km)

$D_d$ : Densidad.

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

El valor de la densidad para el drenaje esta indica que tipo de suelo se presenta en la cuenca. Así mismo de ciertos parámetros para la caracterización del nivel de cobertura que se presenta en la zona. Los números críticos representan áreas con

una mínima cobertura vegetal, suelo erosionable o impermeable. Por el contrario, un valor bajo indica que el suelo es duro, erosionable o muy permeable y la cubierta vegetal es alta. A partir de la presencia densidad de la cuenca, establezca los parámetros característicos para el drenaje en la cuenca.

**Tabla N° 5**

*Características vs Densidad de drenaje*

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA	DENSIDAD DE DRENAJE
Regularmente drenada	$0.00 < D_d < 1.00$
Normalmente drenada	$1.00 < D_d < 1.50$
Bien drenada	$D_d > 1.50$

Fuente: Farias (2005)

### 2.2.10 Precipitación

Se define como precipitación al evento en el cual las nubes transforman de estado y se precipitan en la tierra, a partir de ello se puede conocer a las lluvias, garúas, lluvias y nevadas. (Chereque, 1989)

La relevancia que se presenta las lluvias sobre un río debido a que este tipo de eventos genera un incremento en los caudales normales del río. Para la caracterización de precipitación se tiene en cuenta los parámetros de duración, frecuencia e intensidad. Si se presenta que la lluvia excede el valor de la infiltración que soporta el suelo, se presenta una escorrentía en la superficie por consecuencia de la excedencia de la precipitación. Por el contrario, el incremento en el caudal del río no es proporcional a los excesos de lluvia que se presenten en la zona esto causado por consecuencia de los retardos que resultan del proceso de acumulación. (Mejia, 2012)

La precipitación se puede dividir como:

**Precipitación de convección:** Este tipo de vapor se juntan en zonas denominadas células de convección, estas masas se transportan a grandes alturas, donde provocan condensación y precipitación. (Villón, 2011, pág. 71)

**Precipitación orográfica:** El vapor del agua es empujada por el viento hacia las montañas y en forma de nubes ascienden a grandes alturas se condensan y ocurre precipitaciones. (Villón, 2011, pág. 72)

**Precipitación ciclónica:** Ocurre cuando 2 volúmenes de aire en diferentes temperaturas y contenido de humedad, las nubes con altas temperaturas son impulsadas de manera agresiva a grandes alturas, se condensan y se produce la precipitación. (Villón, 2011, pág. 72)

### 2.2.11 Prueba de datos dudosos

Indican que se recomienda que a partir de la metodología planteada por el Water Resources Council que si se identifica los datos dudosos se procederá como sigue. Se define a un dato dudoso a aquel valor que puede afectar de manera relevante a la tendencia que tiene una serie de datos tomados para un análisis estadístico.

Si se eliminan estos valores dudosos puede influir de manera significativa a la serie de datos planteados, lo que a su vez significa que habrá una alteración en los parámetros estadísticos que se calcularán para la caracterización de datos, los cambios principales se notan en las muestras pequeñas. (Chow, Maidment, & W., 1994)

Fórmula para la detección de datos dudosos:

$$Y_H = \bar{Y} + K_n S_Y$$

Donde:

$Y_H$ : Umbral en forma logarítmica.

$K_n$ : A partir de las tablas con un tamaño muestral de  $n$ .

Para el valor que asume ( $K_n$ ) estos se obtienen de la tabla de las cuales se realizaron para detectar valores dudosos con un nivel de significancia del 10% en un formato normalmente distribuido. A partir de ahí se tiene en cuenta que el valor de los logaritmos si es mayor a ( $Y_H$ ) En la ecuación anterior planteada se tiene en cuenta como datos con alta dudosis. Para los valores con una alta tasa de dispersión con respecto al registro histórico se tiene que comparar con los valores de otros registros históricos para corroborar la existencia de estos eventos anómalos en los registros históricos.

Otra fórmula para identificar anomalías inferiores se define de la siguiente manera:

$$Y_L = \bar{Y} + K_{nS_Y}$$

Del cual:

$Y_L$ : Es el umbral de dato dudoso alto

Los valores de picos crecientes que tienen una categoría de dato dudoso bajo pues se pueden eliminar del registro histórico a la cual se puede ajustar a partir de una distribución de probabilidad condicional planteado por el Water Resources Council (1991)

Tabla N° 6

Valores de  $K_n$ .

TAMAÑO DE MUESTRA n	$K_n$	TAMAÑO DE MUESTRA n	$K_n$	TAMAÑO DE MUESTRA n	$K_n$	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: U.S Water Resource Council (1981)

### 2.2.12 Análisis para los datos de consistencia

Se tiene que tener en principal consideración los casos de no homogeneidad e inconsistencia para el planteamiento de la investigación hidrológica, porque si estos aspectos no se identifican y eliminan, se pueden introducir errores importantes en todos los

análisis futuros, lo que resulta en respuestas con un alto nivel de sesgo. (Juella, 2011)

El término de inconsistencia se interpreta como un error de sistema, que se manifiesta como alternancia en la tendencia y el carácter no homogéneo en el análisis se define como el cambio de datos en blanco a lo largo del tiempo.

En términos frecuentes, los datos de medición se toma en cuenta 2 categorías de errores: (a) Errores que son de naturaleza aleatoria o accidental, que se producirán debido a cálculos y análisis, por lo que pueden haber muchas razones para tales errores, las más comunes son: lecturas blandas, daños menores al equipo y colocación incorrecta, errores en los cálculos, copia, impresión e interpretación; y (b) errores sistemáticos, que son más importante, por lo que los valores pueden ser aumentados o disminuidos metódicamente; Estas fallas pueden ser causadas por la mano del hombre, artificiales, naturales, los mismos que suceden como saltos e instintos.

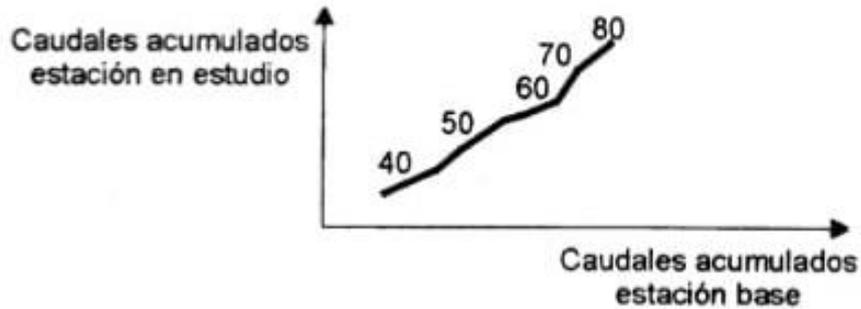
En lo práctico se ven con un mayor punto de interés para los errores sistemáticos producidos a partir de la manipulación de la mano humana y en esto se centra el análisis de consistencia. (Juella, 2011)

#### **2.2.12.1 Análisis de doble masa**

Analizar dos volúmenes correlacionando la precipitación acumulada anual en la estación "X" (estación analizada) con los correspondientes valores de precipitación acumulada anual para un conjunto de estaciones vecinas. Si la estación analizada se observa bien, los puntos deben alinearse, pero si hay espacios o cambios en la pendiente de la línea, significa que las estadísticas de la estación deben ajustarse. El registro a corregir suele ser el más antiguo y se basará en el registro más reciente, porque se cree que los valores recientes fueron producidos con una óptima tecnología que la utilizada a partir de datos históricos. (Villón, 2011)



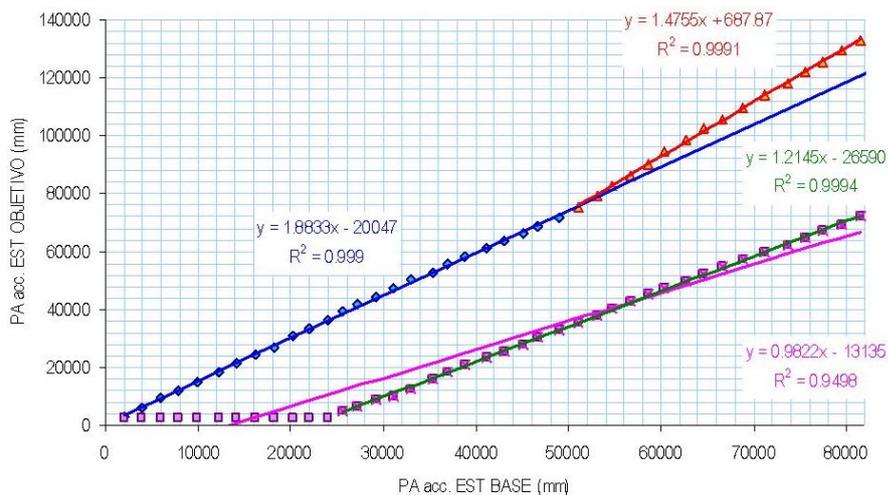
**Figura N° 9**  
Análisis doble masa.



Fuente: Villon (2011)

El análisis de la doble masa en sí también incluye la comprensión de las causas de los fenómenos naturales a través de los puntos de corte en el diagrama, o si estos son causados por errores del sistema. En este último caso, permite calcular el rango de períodos sospechosos y confiables para cada estación en estudio, los cuales deben ser corregidos mediante estándares estadísticos. Para la situación de la Figura 9, el análisis de masa dual permite el análisis estadístico para obtener el período,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ , a estudiar. (Bardales, 2008)

**Figura N° 10**  
Ejemplo de análisis de doble masa.



Fuente: (Bardales, 2011)

### 2.2.12.2 Análisis de homogeneidad

Después de obtener el período de corrección posible y el período de datos que mantendrá su valor original del gráfico

construido para el análisis de masa dual, continuamos realizando análisis estadístico sobre los saltos en la desviación media y estándar.

**a) Consistencia de la Media o prueba T – Student:** Este tipo de proceso estadístico incluye pasar la prueba T para probar si la media de la submuestra ( $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$ ) es estadísticamente igual o diferente) con 95% o 5% de significancia La probabilidad del nivel es la siguiente:

➤ Fórmulas para la determinación de la media y desviación estándar en las muestras, como se define:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \qquad S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \qquad S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n = n_1 + n_2$$

Donde:

$x_i$ : Valores de la serie del periodo 1.

$x_j$ : Valores de la serie del periodo 2.

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$ : Media de los periodos 1 y 2 respectivamente.

$S_1(x), S_2(x)$ : Desviación estándar de los periodos 1 y 2 respectivamente.

$n$ : Tamaño.

$n_1, n_2$ : Tamaño de las submuestras.

➤ Cálculo de  $t$ , calculando ( $t_c$ ) según:

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\bar{d}}}$$

Además:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{0.5}$$

$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{0.5}$$

Donde:

$S_{\bar{d}}$ : Desviación de promedios diferenciados.

$S_p$ : Desviación ponderada.

- Cálculo del t tabular ( $t_t$ ): El valor se tendrá que obtener de las tablas de t de Student, esto con un valor de probabilidad del 95%, significancia del 5%, dicho de otra manera ( $\frac{\alpha}{2} = 0.025$ ) analizando los grados de libertad.

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

- Comparación del ( $t_c$ ) con el ( $t_t$ ):

Si  $|t_c| \leq t_t$  (95%), entonces  $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$  (estadísticamente).

En este caso, siendo las medias ( $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ ) estadísticamente no se debe realizar proceso de corrección.

Si  $|t_c| > t_t$  (95%), entonces  $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$  (estadísticamente).

En este caso, siendo las medias ( $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ ) estadísticamente se debe corregir la información.

**b) Desviación estándar o prueba de Fisher:** Este tipo de estadístico intenta comprobar, por medio de la prueba estadística "F", los posibles identificadores para las desviaciones en submuestras son similares o no, estadísticamente, con un 5% de nivel de significación, se calcula como se muestra:

- Determinación de las variancias de los periodos:

$$S_1^2(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \right] \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2$$

$$S_2^2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \right] \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

➤ Cálculo del F, calculando ( $F_c$ ), según:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \quad \text{Si: } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \quad \text{Si: } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

➤ Comparación del ( $F_c$ ) con el ( $F_t$ ):

Si  $F_c \leq F_t$  (95%), entonces  $[S_1(x) = S_2(x)]$   
(estadísticamente).

En este caso, siendo las medias  $[S_1(x) = S_2(x)]$   
estadísticamente no se debe realizar proceso de  
corrección.

Si  $F_c > F_t$  (95%), entonces  $[S_1(x) \neq S_2(x)]$   
(estadísticamente).

En este caso, siendo las medias  $[S_1(x) \neq S_2(x)]$   
estadísticamente se debe corregir la información.

### 2.2.13 Análisis de frecuencia

A partir de estudios considerables en el campo de la hidrología es que hay registros antiguos de sucesos hidrológicos que nos ayudaran a poder interpretar y así obtener la posibilidad de poder predecir que se dé en el futuro. Esta situación se desarrolla en la evaluación de la frecuencia de sequías, precipitaciones, inundaciones y etc. Este estudio es conocido como análisis de frecuencia. (Chow, Maidment, & W., 1994)

Este análisis estadístico de frecuencia estudios, inicia con el proceso de los datos reales para que luego determine la frecuencia o probabilidad del diseño.

En lo práctico, el análisis de frecuencia es solo la realización del arreglo de datos hidrológicos a una serie de ecuaciones matemáticos

ya definidas para el tipo distributivo de probabilidad. (Chow, Maidment, & W., 1994)

Para este análisis, se tendrá en cuenta tres supuestos:

- Los datos reales estudiados detallan sucesos de naturaleza aleatoria.
- Los procesos naturales son estáticos con respecto al tiempo.
- Las variables de la población se pueden evaluar desde la muestra.

Para los eventos hidrológicos los procesos aleatorios definen que el cambio climático no perjudicará la salida de sucesos. El curso estable con el tiempo se define que presenta sucesos independientes y repartidos idénticamente a través de una guía de probabilidad que con el tiempo no varía. (Juella, 2011)

#### **2.2.13.1 Modelos y procesos hidrológicos**

Un modelo matemático del flujo de agua en un río incluye metodologías numéricas de algunas fórmulas obtenidas mediante una gran cantidad de supuestos para predecir el valor del planteamiento en las variables planteados para la hidráulica (calado, velocidad, caudal, etc.). (Bladé, y otros, 2012)

Aplicar modelos matemáticos para simular fenómenos hidrológicos naturales y tratarlos como un proceso o sistema. Aplicar modelos matemáticos para simular fenómenos hidrológicos naturales y tratarlos como un proceso o sistema. (Chow, Maidment, & W., 1994)

Los fenómenos que cambian, especialmente los que cambian con el tiempo, se denominan procesos. De hecho, una de las características de los fenómenos hidrológicos es cambiantes a lo largo del tiempo, por lo que se puede denominarse proceso hidrológico. Si ignora las posibilidades de las variables involucradas en tales procesos y considera que el modelo sigue la ley del determinismo, pero no la ley de la

probabilidad, entonces el modelo y proceso se describen como deterministas. De lo contrario, si considera las posibilidades de ocurrencia de variables, introduzca el concepto de probabilidad son descritos como estocásticos o probabilísticos. (Chow, Maidment, & W., 1994)

Para los procesos estocásticos depende del tiempo, ya que las variables se someten parcial o totalmente por la ley del azar, es por eso que se identifican por la probabilidad, por lo que estos procesos necesitan de datos reales mientras que los procesos probabilísticos son independientes del tiempo. Por ello podemos decir que el proceso probabilístico hace predicciones a diferencia que los procesos estocásticos o aleatorios.

La mayoría de los procesos hidrológicos son más o menos aleatorios. Se supone que son deterministas o probabilísticos, con la finalidad de una simplificación en su análisis.

#### **2.2.14 Periodo de retorno**

Dentro de este intervalo de tiempo, se puede promediar un promedio de al menos un evento igual o superior a la clase X. Por lo tanto, si un evento del mismo valor i superior que X tiene una ocurrencia en el año T, el valor probable es que ocurra P es similar a 1 en T casos. (Villón, 2011)

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

Donde:

$T$ : Periodo de retorno.

$P(x)$ : Valor probable que ocurra un evento  $\geq x$

Cuando se da el suceso anual mayor, el período de retorno viene hacer el valor proyectado del número de años antes de que suceda dicho evento con una dimensión igual o mayor que un suceso de diseño predefinido. Esta situación es desfavorable, porque indica que hay un intervalo de tiempo en T años entre un suceso de esta

magnitud y, por ello, la probabilidad de que suceda esta magnitud en un período imprevisto sigue siendo T-1, independientemente de tales sucesos. Podría suceder en el año anterior o en el año más reciente. (Rivano, 2004)

### **2.2.15 Secuencia para el análisis**

El procedimiento de análisis se da de la siguiente manera: (Rivano, 2004)

- Comprobar la fiabilidad de los datos hidrológicos.
- Proponer algún modelo de probabilidad.
- Para cada modelo seleccionado se evaluará los parámetros estadísticos de la función de distribución de probabilidad.
- Para una prueba se tiene que identificar el modelo de probabilidad que describa mejor el fenómeno.
- Para el período de retorno los valores para diseñar se evaluarán.

#### **2.2.15.1 Análisis de confiabilidad de datos hidrológicos**

Se puede decir que en las pruebas de confiabilidad en evaluaciones depende principalmente de la distancia, prolongación, exactitud y el nivel representativo de los registros disponibles. (Rivano, 2004)

Antes de utilizar la información seleccionada en este sitio, se debe verificar si hay posibles errores. Si el error es obvio, debe examinarse y cambiar antes del análisis de frecuencia. (Monsalve, 2011)

#### **2.2.15.2 Modelo de distribución de probabilidades**

La capacidad de un modelo de probabilidad para adaptarse a los datos de precipitación depende de la flexibilidad y las propiedades de forma inherentes de la función de distribución de probabilidad(fdp). Cuantos más parámetros tenga el modelo, más general será su función de distribución de probabilidad y mejor será el ajuste de los datos. (Rivano, 2004)

No existe una base teórica perfecta en hidrología para comprobar la lógica de funciones específicas para hacer el estudio de probabilidad. Debido a que no hay un proceso teórico para determinar qué modelo de probabilidad es mejor en un análisis de frecuencia específico. Por lo general, comprueba y compara la aplicabilidad o consistencia de muchas distribuciones y toma en cuenta el arreglo de los datos disponibles, la conveniencia del cálculo y la consistencia con múltiples muestras. (Chereque, 1989)

**a) Distribución normal:** para este tipo de función de densidad se puede definir como:

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

Donde:

$f(x)$ : Función densidad.

$x$ : Variable independiente.

$\mu$ : Parámetro de localización.

$S$ : Parámetro de escala

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011, p. 26)

**b) Distribución Log Normal:** para este tipo de función de densidad se puede definir como:

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

Donde:

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

$\alpha, \beta$ : Parámetro de distribución.

Esta función no necesariamente es simétrica, los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  se estiman a partir de “ $n$ ” observaciones ( $x_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$ ). (Aparicio 1989)



$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

**c) Distribución Pearson de Tipo III:**

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

Condiciones para validar la distribución Pearson de Tipo III

$$\begin{array}{ll} x_0 \leq x < \infty & 0 < \beta < \infty \\ -\infty \leq x_0 < \infty & 0 < \gamma < \infty \end{array}$$

Donde:

$x_0$ : Parámetros de posición.

$\gamma$ : Parámetros de forma.

$\beta$ : Parámetros de escala

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011, p. 29)

**d) Distribución Log Pearson de Tipo III:**

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

**e) Distribución Gumbel:** Este tipo de distribución se denomina valores de Tipo I, para este tipo de función de densidad se puede definir como:

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

De la metodología de momentos, se obtuvo:

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

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

$\alpha$ : Parámetro de concentración.

$\beta$ : Parámetro de localización.

De acuerdo con Chow, Maidment, & W. (1994), se puede expresar la distribución de la siguiente manera:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

$x$ : Valor de probabilidad

$\bar{x}$ : Media

$k$ : Factor de frecuencia.

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011, p. 29, 30)

### **2.2.16 Pruebas de bondades para ajuste**

Según Villón (2006) Dice que definir a un estudio de bondad a la comprobación visual y de un proceso estadístico, también observar la frecuencia empírica que se presentan para la serie analizada, la cual se ajusta para determinados valores de probabilidades teóricas seleccionadas en el momento, de los parámetros calculados a partir de los valores muestrales. Se tiene la finalidad cuantificar la certidumbre que se calcula a partir de plantear una hipótesis sobre una determinada población.

No es posible afirmar que una zona determinada tenga valores hidrológicos con un valor de certidumbre aceptable o en algunos casos la data encontrada no está totalmente completa y tiene vacíos que limitarán un análisis de proyección en cuanto a los caudales para un tiempo de retorno específico, siendo este un problema generalizado para estudios hidrológicos o relacionados a la hidráulica se tiene que analizar los datos calculados a priori y determinar su grado de certidumbre para poder así identificar la “mejor” opción para una determinado estudio en la rama de la hidrología.

Una solución para determinar la más óptima distribución y por ende una mejor proyección de valores son las pruebas de bondad de ajuste, en las ramas de hidrología se suelen usar de manera más recurrente por su mejor adaptación a las distribuciones, las siguientes:

### 2.2.16.1 Prueba $\chi^2$

Planteada por Karl Pearson, ese tipo de prueba se aplica en casos de verificación de la bondad en las distribuciones Normales y Log-Normales.

En la aplicación de este tipo de prueba, el paso inicial es particionar lo datos en  $k$  intervalos de clase, para este tipo de parámetro se puede definir como:

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

Donde:

$\theta_i$ : N° observado de eventos.

$\varepsilon_i$ : Se calcula de la siguiente manera:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)] \quad i = 1, 2, 3, \dots, k$$

Donde:

$F(S_i)$ : Es la función de distribución de probabilidad.

$F(I_i)$ : Es la misma función en el límite inferior.

$n$ : Es el número de eventos.

Cuando ya se determine el valor de la variable “D” para las funciones de distribución que se considere, calculando el valor de variable aleatoria de distribución  $\chi^2$  para  $v = k - 1 - m$  en grado de libertad y la significancia de  $\alpha$ , del cual  $m$  sería la cantidad de parámetros que se estiman a partir de datos.

En caso se deba cumplir la aceptación de una distribución dada, se tiene en cuenta:

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

El valor de  $\chi^2_{1-\alpha, k-1-m}$  se rescata de los valores dados en la tabla en la función distributiva  $\chi^2$ .

Señalando que la prueba  $\chi^2$ , desde un punto de vista matemático solo debería usarse para comprobar la normalidad

de las funciones normal y Log normal. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011, p. 30 - 32)

### 2.2.16.2 Prueba Kolmogorov – Smirnov

Un método para verificar la conformidad de una distribución también le permite elegir el mejor ajuste, es decir, el mejor ajuste.

La prueba consiste en comparar el valor absoluto máximo de la diferencia  $D$  entre las funciones de distribución de probabilidad observadas.  $F_o(xm)$  y la que se estimó  $F(xm)$ :

$$D = \text{máx}/F_o(xm) - F(xm)/$$

Con un valor crítico  $d$  que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de ( $\chi^2$ ) que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(xm) = \frac{1 - m}{n + 1}$$

Del cual se sabe:

$m$ : Es el número de orden de dato ( $xm$ ) en una lista de mayor a menor.

$n$ : Es el número total de datos. (Aparicio, 1989)

Tabla N° 7

Valores críticos  $d$  para la prueba Kolmogorov – Simirnov

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

Fuente: Aparicio (1989)

## **2.2.17 Metodología para el cálculo de caudales críticos**

### **2.2.17.1 Métodos empíricos**

Generalmente se derivan de métodos racionales. Tienen gran difusividad. Sin embargo, debido a que el proceso de escorrentía es muy complicado, pueden contener grandes errores. Se pueden utilizar fórmulas directas que afectan por área de cuenca y coeficiente de escorrentía. Para resumir, encontramos estos métodos: método Mac Math, método racional y método Burkli-Zieger. (Villón, 2011)

### **2.2.17.2 Métodos históricos**

Incluyen investigar y recopilar datos sobre inundaciones que ocurren en ríos. De hecho, aunque el método histórico puede permitirnos calcular los parámetros de avenidas que pasó hace un tiempo, no puede permitirnos predecir la proporción de una gran avenida ocurrió hace muchos años, y no se les permitió prever una proporción de avenidas mayor que el máximo conocido, aunque hubiera muchas posibilidades. Este método debe superar dos dificultades principales para proporcionar información útil:

- La falta de registros históricos y la forma de calcular de los datos recopilados en general se refieren al nivel más que al costo.
- Frente a la segunda dificultad, se adopta el llamado método directo o método hidráulico, que se introducirá más adelante. (Chereque, 1989)

### **2.2.17.3 Correlación hidrológica métodos**

Se utiliza en casos de que no se dispone de dos datos: hidrología (palanca hidráulica máxima) y precipitación; dicho caso se aplica la correlación con los datos de caudal máximo de cuencas adyacentes o cercanas, en términos de topografía, suelo geológico y tipo de cobertura. Las características de los

parámetros morfológicos son similares a las de la cuenca estudiada. (Chereque, 1989)

#### **2.2.17.4 Métodos hidráulicos**

Para estos métodos se utilizan fórmulas hidráulicas que en su mayoría de ellos se puede establecer con una exactitud del desnivel del agua y también se puede comprender el gasto máximo instantáneo. Por ello se tiene en cuenta la observación y medida de los tipos del tramo del río, es decir, que no tenga mucho deslizamiento, en el caso de muros laterales macizas o fijas: rocas, buena cobertura vegetal, rellenos, etc. Para calcular el gasto máximo, su altura está dada por trazos o marcas que se dejan en la sección del flujo del río. Para determinar del gasto se utiliza la fórmula de Manning-Strichler.

$$Q = \frac{1}{n} \times R_H^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$Q$ : Caudal.

$n$ : Coeficiente de chezy.

$R_H$ : Radio hidraulico.

$S$ : Pendiente.

#### **2.2.17.5 Métodos estadísticos probabilísticos**

Se trata en evaluar magnitudes de las avenidas máximas, que incluyen registros (series) basados en el caudal máximo anual instantáneo conocido, mediante extrapolación, mediante su posible distribución en diferentes períodos de retorno, para evaluar el tamaño de la mayor inundación, el más utilizado es Gumbel o distribución de valor extremo, log-Pearson Tipo III, logaritmo normal.

#### **2.2.17.6 Métodos hidrológicos**

Su objetivo es representar matemáticamente la formación de avenidas en la zona de aplicación. Evaluar el tiempo y

determinar el período de retorno de la precipitación pluvial, al calcular la esorrentía producida en un punto del río de estudio, hasta que se establezca o trace la posible línea de proceso hidrológico. Reproducen este fenómeno de forma aceptable basándose en parámetros como la precipitación máxima y los parámetros físicos de la cuenca. Debido a la irregularidad de las precipitaciones en la cuenca, existe la ventaja de inferir algunas de sus variables, y la determinación de la pérdida por infiltración puede estar distorsionada al evaluar las crecidas pluviales. Entre los métodos hidrológicos, los siguientes métodos son más destacados:

- Método de hidrograma unitario.
- Método de isócronas.

#### **2.2.18 Curva intensidad – duración – frecuencia**

Cabe señalar que estas curvas son las que se obtienen al conectar datos que representan la intensidad promedio en diferentes periodos de tiempo, y todas corresponden a la misma frecuencia o período de recurrencia. (Villón, 2011)

Los IDF son una parte de la creación relacionada con la vehemencia de las precipitaciones, la longevidad de la misma y el valor de frecuencia de la que se puede representar, en otras palabras, su probabilidad de finura o su periodo de retorno. (Chereque, 1989)

La intensidad es la velocidad de la precipitación temporal, es decir, la unidad de tiempo de profundidad (mm / h). Estos pueden ser de intensidad inmediata o intensidad media en el período de lluvia. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011)

Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

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

Donde:

*i*: Intensidad de promedio.

*P*: Es la profundidad de la lluvia (mm).

$T_d$ : Es la duración de la lluvia, dada usualmente en horas.

De acuerdo a la (Norma Técnica de Edificaciones OS 060), Las curvas IDF son curvas definidas por la familia o usando fórmulas para vincular la intensidad de la precipitación y la frecuencia (tiempo de préstamo inversa) para el sitio web o en el área especificada por análisis estadístico y edición curva.

Si no se tiene información del gráfico, pero sí el valor de la precipitación máxima diaria (24 horas), el método desarrollado para tal fin puede ser utilizado para encontrar precipitaciones de menos de 24 horas de duración e intensidad. El grado correspondiente se relaciona con la cantidad máxima de lluvia diaria, por ejemplo, el uso de patrones de lluvia, la ecuación de la intensidad de la precipitación (curva IDF) en el tiempo, etc.

Para especificar también la intensidad integrada del proyecto, para el tiempo de respuesta seleccionado, se puede usar la prueba de hidrología "de IDF" de IDF para la hora de devolución seleccionada. IILA – SENAMHI – UNI (1993)

Se puede deducir la siguiente fórmula:

$$I_{t,T} = \frac{P_{24T}}{t_g} \times \left( \frac{t + b}{t_g + b} \right)^{n-1}$$

Para:

$$t \leq t_g$$

Donde:

$P_{24T}$ : Precipitación máxima en 24 horas para T años de período de retorno, estimado para el sitio.

$t_g$ : Duración con la cual se iguala la precipitación de 24 horas, en promedio 15,2 horas para el Perú.

$t$ : Duración en horas.

$b$  y  $n$ : Parámetros de tiempo y de duración, respectivamente.



De acuerdo al manual de carreteras de Hidrología, hidráulica y drenaje, nos proporciona las siguientes formulas del método ILLA – SENAMHI – UNI. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2011)

$$I_{t,T} = a(1 + K \log T) \times t^{n-1}$$

Para los datos de lluvia ( $P_{t,T}$ ), se presenta la siguiente fórmula:

$$P_{t,T} = a(1 + K \log T)t^n$$

Estas fórmulas son válidas para ( $3 \leq t \leq 24$ ) horas

Si  $t < 3$  horas se usa:

$$I_{t,T} = a(1 + K \log T) \times (t + b)^{n-1}$$

Donde:

$I_{t,T}$ : Intensidad de la lluvia (mm/hora).

$a$ : Parámetro de intensidad (mm).

$K$ : Parámetro de frecuencia.

$b$ : Parámetro de tiempo (horas).

$n$ : Parámetro de duración.

$t$ : Duración (hora)

$$P_{24T} = \varepsilon_g \times (1 + K \log T)$$

$$a = \left(\frac{1}{t_g}\right)^n \times \varepsilon_g$$

Donde:

$P_{24T}$ : Máxima precipitación en 24 horas para periodos de retorno  $T$ .

$T$ : Tiempo de retorno.

$t_g$ : Duración de la lluvia diaria asumiendo un promedio de 15.2 horas para el Perú; pudiendo ser diferente según la condición local.

$K$ : Parámetro de frecuencia según zona.

$b$ : 0.5 horas (costa, centro y sur), 0.4 horas (sierra), 0.2 horas (costa norte y selva).

$\varepsilon_g$ : Parámetros para determinar  $P_{24T}$ .

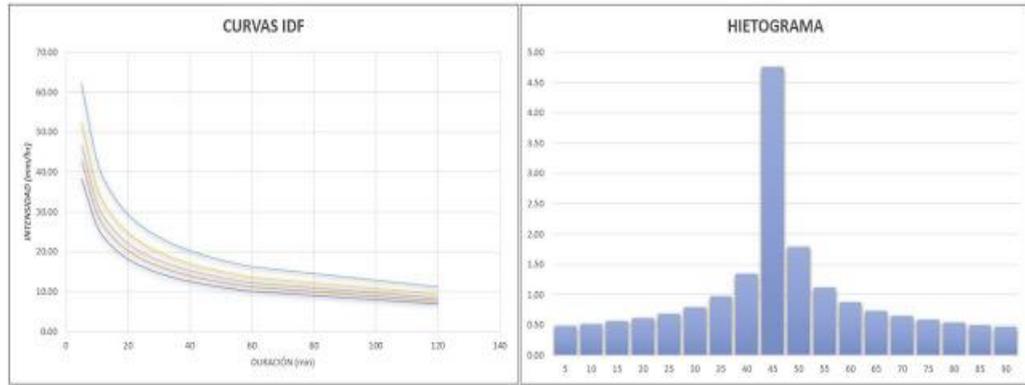
### 2.2.19 Hietogramas de diseño a partir de curvas IDF

Las metodologías más modernas utilizan los valores de lluvia o los valores de intensidad para el diseño, también requiere de la distribución del tiempo, dicho de otra forma, este tipo de metodología utiliza la distribución de las tormentas que se observan a lo largo del tiempo. Una de las formas de obtenerlo es a partir de la curva IDF, en la que se utiliza el método de bloque alternativo, que es un método sencillo. El método de bloques alternos es una forma sencilla de desarrollar un espectrograma de diseño utilizando una curva de duración de frecuencia. El mapa de agua de diseño generado por este método especifica la profundidad de precipitación de  $n$  intervalos El período de tiempo continuo de duración  $\Delta t$ , la duración total es  $Td = n\Delta t$ . Después de seleccionar el período de recuperación de diseño, lea la intensidad de cada duración  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,  $4\Delta t$ , etc. de la curva IDF. Y multiplicando la intensidad y la duración para obtener la profundidad de precipitación correspondiente.

Diferencias de diferencia entre los valores de secuencia de profundidad profunda, hay bloques alternos que son verdaderos y se fueron del dispositivo central para crear un automóvil de diseño.

Tomando la diferencia entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, los bloques se encuentran alternativamente en orden descendente en los lados derecho e izquierdo del bloque central para formar un histograma de diseño. Cada unidad de tiempo adicional  $\Delta t$  aumentará la cantidad de precipitación. Estos incrementos o bloques se reorganizan en orden cronológico para que la intensidad máxima aparezca en el centro de la duración deseada  $Td$ , mientras que los otros bloques se disponen alternativamente a la derecha e izquierda del bloque central en orden descendente para formar el diseño.

**Figura N° 11**  
*Hietograma de Diseño*



Fuente: Ingeniería Hidráulica

### 2.2.20 Modelos

Para modelos se refiere a la determinación del sistema, determinación y valoración de las opciones posibles de administración que realicen que la suposición obtenida de los objetivos planteados, y se deben comprobar dos períodos previos. Esto se llega a realizar a partir de la obtención de información de las bases de datos, modelación de escenarios e información geográfica para la zona. (Palomino, 2004)

Un ejemplo relaciona a algo incógnito o desconocido (artículo o ilusión) con algo entendido o conocido (acceso). Para este caso en particular el modelado se encuentra realizado en el software HEC-RAS, el acceso son los gastos que se generará para diferentes periodos de retorno y lo incógnito sería el valor del tirante hidráulico y el espejo de agua en cada sección del estudio. (Chow, Maidment, & W., 1994)

#### 2.2.20.1 Clasificación de modelos

Los modelos se clasifican según el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), como sigue:

- a) Modelos Físicos:** Está dado por la disminución a escalas, que se encargan de conseguir un sistema real. Simular los cauces en canales abiertos son comunes en los modelos físicos.

**b) Modelos Matemáticos:** Se trata de fórmulas que representa el resultado de un factor del sistema hidrológico por el cambio de las condiciones meteorológicas.

### **2.2.21 Modelos hidráulicos**

Se define a un modelo hidrológico como la representación de algo real que denominaremos prototipo, esto a partir de la concepción física o matemática. A partir del análisis matemático es representado por expresiones analíticas. Para el caso del modelo físico se presenta la representación de la cuenca hidrográfica y también se tiene en cuenta los parámetros del parámetro del ciclo hidrológico.

Dicho esto, pues se plantean las bases para realizar un modelo matemático las cuales pueden ser usadas en la toma de decisiones relacionadas.

De la diversidad de métodos de predicción relacionadas con la hidrología, se pueden en algunos casos la escorrentía mensual, mientras que algunos otros se centran en tormentas individuales. (Andrade, 2011)

### **2.2.22 Sistema de información topográfica**

Definimos al levantamiento topográfico como una serie de acciones que se realizan en la zona con la finalidad de recolectar la información que de facilidades de identificación de coordenadas rectangulares que se puedan interpretar sobre el terreno, de manera directa o indirecta a través de cálculos, la cuales conllevaran a la representación gráfica de un terreno que se levantó con este tipo de metodología, de ello también se pueden determinar áreas y volúmenes de tierra en los casos que se soliciten. (Pachas, 2009)

El levantamiento topográfico, lo resume como “el proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra”. Torres & Villate (2001)

Este tipo de actividades tienen la finalidad de determinar cómo se configura el terreno y en que posición de la tierra se encuentra, teniendo en cuenta elementos naturales o edificaciones levantadas

por el hombre. Para el levantamiento topográfico se recolectan datos para lograr la representación gráfica bidimensional o tridimensional para la elaboración de mapas que se relacionen con el área de estudio. (Casanova, 2002)

### **2.2.23 Simulación**

Es el cambio de diseñar y proyectar un modelo de un sistema o recurso dinámico e implica la experimentación del con la finalidad de comprender el proceso al cual se encuentra sometido, dicho de otra manera, también se encarga de apreciar diversas estrategias para la acción del sistema. (Bardales, 2008)

Dicho esto, la simulación será una imitación del funcionamiento de un proceso o de un sistema existente en la realidad a lo largo de un periodo de tiempo, ya sea de forma manual o mediante una computadora, para simular la generación de historia artificial que involucra el sistema de observación histórica. Características operativas del sistema actual.

### **2.2.24 HEC-RAS relacionada con las inundaciones**

El HEC-RAS es el software de libre acceso relacionado con el modelamiento hidráulico de los cuales se pueden determinar los perfiles de flujo de la zona de análisis, esto basado en la teoría del flujo unidimensional, las utilidades que presenta este software facilita los cálculos de perfiles hidráulicos que se encuentren en un régimen permanente, no permanente y transporte de los materiales sedimentarios o la visualización de fondo móvil, también se puede determinar la calidad del agua presente.

HEC-RAS es responsable de calcular el área dimensional de la sección transversal de cuerpos de agua laminares graduales en canales naturales o artificiales. Los flujos de agua subcrítico, supercrítico y multifásico; se puede utilizar el software para calcular dichas áreas. Los temas que se tratan en esta sección son: Una ecuación para calcular el perfil base; se calcula las secciones divididas por canal; cálculo del coeficiente "n" de Manning para canales con

secciones variables; factor de carga; evaluación de la caída de fricción; pérdida por contracción y expansión; procedimiento de cálculo; determina la dimensión del fondo crítico, aplicando la ecuación del momento.

#### 2.2.24.1 Ecuación para el cálculo de secciones

Estas se pueden calcular a partir de la sección transversal que presente u otra metodología es la de la resolución de la ecuación de energía, a partir del método de pasos estándar. Por lo tanto, la ecuación de energía es:

$$y_2 + z_2 + \frac{(v_2)^2 \alpha_2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{(v_1)^2 \alpha_1}{2g} + h_e$$

Donde:

$y_1, y_2$ : Tirantes.

$z_1, z_2$ : Cota de terreno.

$v_1, v_2$ : Velocidades media.

$\alpha_1, \alpha_2$ : Coeficiente de velocidad.

$g$ : Gravedad.

$h_e$ : Pérdida de energía.

Para la pérdida de energía ( $h_e$ ) se plantea:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{(v_2)^2 \alpha_2}{2g} - \frac{(v_1)^2 \alpha_1}{2g} \right|$$

Donde:

$L$ : Distancia de descarga.

$\bar{S}_f$ : Desnivel.

$C$ : Factor de perdidas.

La longitud de descarga ( $L$ ), se determina como:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

Donde:

$L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$ : Distancias entre las secciones de flujo de desborde derecha, eje del canal, e desborde izquierdo, respectivamente.

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ : Media aritmética de los caudales entre secciones en la llanura de desborde derecha, eje del canal y desborde izquierda, respectivamente.

### 2.2.24.2 Subdivisión de la sección transversal y cálculo de la conductividad

El programa lo que realiza es una serie de subdivisiones en superficies de flujo con el perímetro mojado por medio de tramos en las cuales el valor de  $n$  (factor de Manning) son idénticas a del margen transversal (donde el valor de  $n$  cambia), véase en la (Figura N°12). El flujo de agua se da con la siguiente ecuación:

$$Q = K(S_f)^{0.5}$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}}$$

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

Se define como:

$K$ : Conductividad

$n$ : Coeficiente de Manning

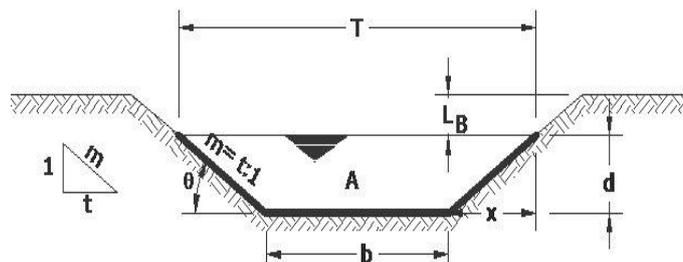
$A$ : Área mojada

$R$ : Radio hidráulico

$P$ : Perímetro mojado.

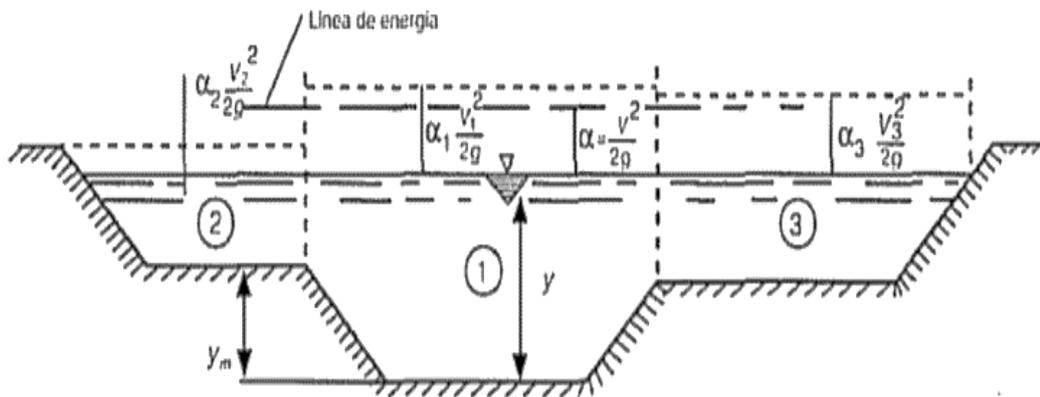
El software calcula aumenta los márgenes para lograr una capacidad del movimiento de los márgenes derecho e izquierdo. El gasto del canal del medio se cuenta como elemento del gasto sencillo. El gasto absoluto de para una sección se calcula haciendo una sumatoria de 3 divisiones de gastos (derecha, el canal e izquierda).

Figura N° 12  
HEC – RAS Método de subdivisión de caudales.



El software cuenta con la metodología de calcular los caudales en cada punto que se localice en los perímetros mojados (Figura N°13). El gasto será la sumatoria total de ambos márgenes. Esta técnica es usada por el programa HEC-2. Esta fue para el software HEC-RAS adoptada con la finalidad de la restauración de los archivos basados en HEC-2.

**Figura N° 13**  
Método de subdivisión de caudales HEC – 2.



Fuente: Villon (2011)

### 2.2.24.3 Factor de rugosidad compuesto en el canal principal

El software establece si en caso el cauce principal logre subdividirse o en su defecto pueda ser empleado por un factor de rugosidad variado, teniendo los criterios que se especifican como sigue: la conformación del talud del cauce es más grande que la relación 5/1 y tiene más de un factor de rugosidad, será calculado un factor de rugosidad compuesto, “ $n_c$ ”.

Si se quiere determinar el “ $n_c$ ”, el cauce es fraccionado en N secciones, de uno con un factor pre calculado de perímetro mojado “ $P_i$ ” y una rugosidad “ $n_i$ ”.

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i (n_i)^{1.5})}{P} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Donde:

$n_c$ : Factor de rugosidad compuesto.



$P$ : Perímetro mojado.

$P_i$ : Perímetro mojado de la subdivisión  $i$ .

$n_i$ : Factor de rugosidad de la subdivisión  $i$ .

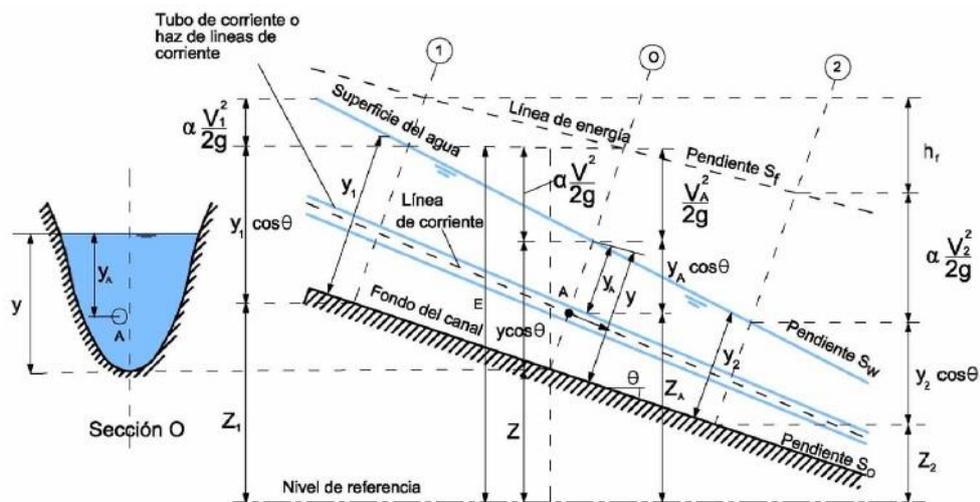
La determinación “ $n_c$ ” compuesto debe ser verificado.

#### 2.2.24.4 Evaluación de la carga media energética cinética

El software HEC – RAS emite imágenes de agua de un tramo en estudio, da información del área que abarca el agua y cuanta energía presenta en cada una de las secciones. En la altura para el agua que se calcula, también se determina el valor de la energía que se obtiene a partir del flujo de carga de energía en tres partes de una sección.

Figura N° 14

La cantidad de energía



Fuente: Villon (2011)

Donde:

$V_1$ : Velocidad para la sub-área uno.

$V_2$ : Velocidad para la sub-área dos.

Para determinar el valor de la energía cinética es primordial la obtención del factor  $\alpha$  que se relaciona con la velocidad. El factor de “ $\alpha$ ” es hallado de acuerdo a:

$$\alpha = \frac{Q_1(V_1)^2 + Q_2(V_2)^2 + \dots + Q_N(V_N)^2}{Q\bar{V}^2}$$

La ecuación también puede ser interpretada a partir de términos de conductividad y área como se muestra:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[ \frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{K_t^3}$$

Del cual:

$A_t$ : Área total de cauce

$K_t$ : Conductividad total

$A_{lob}, A_{ch}, A_{rob}$ : Área del cauce en sus tres partes

$K_{lob}, K_{ch}, K_{rob}$ : Conductividad en sus tres partes

#### 2.2.24.5 Pérdidas por fricción

Viene hacer el producto de la distancia de descarga de energía y la pendiente de fricción.

La pendiente del desnivel de energía:

$$S_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2$$

Por medio de HEC – RAS, presenta una serie de alternativas para la pendiente de fricción en el tramo de interés”  $S_f$ ”, son las siguientes:

a) Promedio de Conductividades:

$$S_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

b) Pendientes de Fricción:

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

c) Media Geométrica de la Pendiente de Fricción:

$$S_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}}$$

d) Media Armónica de la Pendiente de Fricción:

$$S_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}}$$

#### 2.2.24.6 Análisis de pérdidas a causa de contracciones y expansiones

Con el software de HEC – RAS los cálculos de las pérdidas a causas de expansiones y contracciones, se determinan por la fórmula:

$$h_{ce} = C \left| \frac{(v_2)^2 \alpha_2}{2g} - \frac{(v_1)^2 \alpha_1}{2g} \right|$$

Se sabe:

C: Coeficiente de contracción y/o expansión.

El software interpreta que la contracción se da porque la rapidez que tiene la carga de aguas abajo contiene mayor cantidad que la rapidez de carga en la parte superior del río. También se da si fuera lo contrario, en el caso que la rapidez de carga de aguas arriba contiene mayor cantidad que la de la parte inferior del río, software colige que una extensión de cauce se está suscitando. Los valores de la variable “C” se puede cuantificar de la siguiente manera:

Tabla N° 8

Coeficiente de contracción y expansión

	CONTRACCIÓN	EXPANSIÓN
Sin Transición	0.00	0.00
Transición Gradual	0.10	0.30
Sección Típica de Puentes	0.30	0.50
Transición Abrupta	0.60	0.80

Fuente: Manual de referencia hidráulica de HEC – RAS

#### 2.2.24.7 Determinación del tirante crítico

El software HEC – RAS cuenta con 2 metodologías para el cálculo del tirante crítico: un “Procedimiento Parabólico” y el “Procedimiento Secante”.

Para la realización del procedimiento parabólico tiene la ventaja de la velocidad de cálculo, sin embargo, solo tiene la capacidad de determinar en mínimo de energía.

El procedimiento parabólico es la metodología base en el programa. Ahora si el procedimiento parabólico no arroja resultados esperados, entonces el programa automáticamente usará el procedimiento secante. (López, 2014)

### 2.2.24.8 Aplicación de la ecuación de momento

La ecuación de momento puede ser:

$$\Sigma F_x = m \times a$$

La fórmula que se logra obtener a partir de la ecuación del momento, puede ser: (Figura 15)

$$Q\rho\Delta V_x = P_2 - P_1 + W_x - F_f$$

Donde:

$P$ : Presión hidrostática.

$W_x$ : Peso del agua en la dirección "x".

$F_f$ : Pérdidas por fricción.

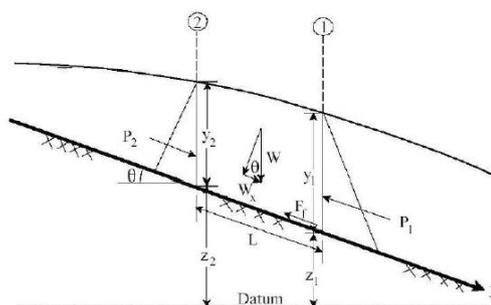
$Q$ : Caudal.

$\rho$ : Densidad del agua.

$\Delta V_x$ : Cambio de velocidad.

Figura N° 15

Aplicación del principio del momento



Fuente: Villon (2011)

La aplicación del momento en el HEC-RAS se da a partir del modelo matemático siguiente:

$$\frac{(Q_2)^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{(Q_1)^2 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1$$

### **2.2.25 Sistema de análisis de ríos con HEC – RAS**

El software HEC-RAS su nombre deriva de las siglas en inglés que en español sería, HEC (Centro de Ingeniería Hidrológica) y RAS (Sistema de Análisis de Ríos), es un programa que muestra la modelación Hidráulica en moderación permanente y no permanente, también el transporte de sedimentos y análisis sobre la calidad del agua en flujos abiertos, ríos y canales artificiales. (Villon, 2011)

Este software HEC - RAS facilita el cálculo de los parámetros hidráulicos del cauce y los perfiles del agua. El programa desarrolla el cálculo, de los niveles del área de agua de un cauce progresivamente variado. El método que se modela puede abarcar de un solo río o una red de ríos. El módulo del estudio del cauce, estará comprendido por el régimen subcrítico, supercrítico o los dos. (Villon, 2011)

#### **a) Importancia de HEC – RAS**

- Pronosticar las superficies de inundación y moderación del río o sistema de ríos para diferentes períodos de retorno.
  - Diagnosticar las variables hidráulicas para proyectos de estructuras hidráulicas en los ríos como, puentes, alcantarillas, cunetas, etc.
  - Limitar las fajas marginales de los ríos.
  - Definir la altura óptima para el proyecto de una carretera, que puede ser afectada debido a un desborde del cauce río.
- (Villon, 2011)

**Tabla N° 9**

Valores de coeficiente de rugosidad "n" de Manning Típicos

<b>COEFICIENTE DE RUGOSIDAD "n" de MANNING TÍPICOS</b>			
TIPO DE CAUCE Y DESCRIPCIÓN	Valor de "n"		
	Mínimo	Normal	Máximo
D: Cauces naturales menores (ancho superior, a nivel de crecida, menor que 30 m)			
D1: Cauces en planicie			
Limpio recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
Igual que arriba, pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas.	0.040	0.048	0.055
Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
Tramos con mucho pasto, pozos profundos o recorrido de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2: Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
Fondo: grava, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
Cantos rodados y algunas rocas.	0.040	0.050	0.070
E: Cauces con planicie de crecidas			
Pastos sin arbustos			
Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
Pastos altos	0.030	0.035	0.050
Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivos maduros arincados	0.025	0.030	0.045
Campos de Cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
Arbustos			
Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.160
Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
Arboles			
Sauces densos, en verano y rectos	0.710	0.150	0.200
Tierra clara con ramas sin brotes	0.030	0.040	0.050
Igual que arriba, pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
F: Cursos de agua importadas (Ancho superior, a nivel de inundación, mayor que 30 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva			
Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

Fuente: Chow, 1994

## 2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES

**Avenida:** “La definimos como una escorrentía superficial muy grande Inundaciones de tierras causadas por exceder la capacidad de transporte del canal alrededor. Como todos sabemos, las inundaciones han traído varios problemas. El campo de la actividad humana”. (López, 2014)

**Caudal crítico:** “Se puede definir al termino como, a la condición en la que el valor del desplazamiento medio esta equivalente a un valor crítico del mismo, en general los valores de profundidad y las velocidades críticas de Belanger están es sus puntos más críticos. De la misma manera se puede referir a una velocidad de Reynolds en el que el caudal pasa de un estado laminar o no turbulento, a otro estado”. (Lazaro, 2020)

**Cauce:** “Se puede definir como cauce a la zona física en el cual se transporta en agua en un curso determinado, los cuales se limitan por orillas o riberas. (López, 2014)

**Ciclo hidrológico:** “Esta determinado al cambio experimentado por el agua en el ambiente natural, en sus tres estados de la materia, estas pueden estar ubicadas en las zonas superficiales o subterráneas”. (Mejia, 2012)

**Cuenca hidrográfica:** “Se puede definir como cuenca a la zona física la cual tienen la característica de ser drenada por un punto en común para todos los flujos de agua que se encuentren dentro de ella, de la cual se puede plantear relaciones sociales y económicas”. (López, 2014)

**Cuencas grandes:** “Es un tipo de característica la cual tiene una dimensión mayor a los 250km<sup>2</sup>”. (Villón, 2011)

**Cuencas pequeñas:** “Es un tipo de característica la cual tiene una dimensión menor a los 250km<sup>2</sup>”. (Villón, 2011)

**Gradiente hidráulico:** “Este término se puede definir como el valor con el que experimenta el cambio de energía en unidades de longitud que recorre el agua, dicho de otra manera, este término define la pérdida o variación del potencial hidráulico que se mide en el sentido del flujo”. (Lazaro, 2020)

**Hidráulica:** “Es una de las especialidades de la física que se basa en estudiar y analizar las propiedades mecánicas de los cuerpos líquidos que se encuentren sometidos a una fuerza”. (Aparicio, 1989)

**HEC RAS:** “Es un programa en el cual a partir de modelos matemáticos se logra hacer un modelo de simulación de un cuerpo de agua, en la cual se pueden identificar zonas de inundación y exportar mapas e información de las simulaciones que se realicen en dicho software”. (Villon, 2011)

**Inundación:** “La evacuación de agua de canales naturales o artificiales se debe al aumento de la cantidad de agua que habitualmente puede almacenar, o debido a una posible avería del canal”. (López, 2014)

**Periodo de retorno:** “El período de regresión o retorno (T) es el intervalo promedio en el que el valor extremo expresado en años alcanza o excede el valor "x" al menos una vez”. (Villón, 2011)

**Pendiente de un cauce:** “Es uno de los parámetros que se pueden identificar en un río, dicho pues de esta característica en ella se puede determinar el comportamiento físico en el que se comporta a partir de una serie de tránsitos de avenidas, de la misma forma se pueden determinar las capacidades de aprovechamiento que se presenta para el desarrollo energético y en la estabilización de cauces”. (Villón, 2011)

**Pendiente crítica:** “Es el valor específico de la pendiente en el fondo del canal, para el cual conduce el flujo Q en un estado uniforme y mínima



energía específica, es decir, Hay conexiones críticas en todas sus partes, formando un flujo crítico uniforme”. (Lazaro, 2020)

**Precipitación:** “Se define pues como el material gaseoso que por efectos gravitatorios y de entornos pueden regresar a la superficie de la tierra en un estado líquido”. (Chereque, 1989)

**SENAMHI:** “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), esta institución estatal del Perú se encarga de los estudios de clima, hidrología y meteorología del país con la finalidad de brindar la información que pueda ser utilizada para proyectos de inversión como para la prevención de efectos climáticos adversos”. (SENAMHI)

**Simulación:** “Se define a esta terminología como la serie de procesos experimentales que se realicen en una determinada zona con el fin de analizar el comportamiento que tengan durante un evento no real pero que pueda suscitarse en algún periodo de tiempo”. (López, 2014)

## **2.4 HIPÓTESIS**

La evaluación del comportamiento hidráulico e hidrológico por medio de la simulación hidráulica permitirá identificar las áreas de inundación del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco 2021.

## **2.5 VARIABLES**

### **2.5.1 Variable dependiente**

La identificación de las zonas de inundaciones aledañas a el ámbito de estudio requiere de un procesamiento y simulación de los datos obtenidos para la investigación, esto a través del software HEC-RAS.

La variable dependiente es:

Áreas de inundación

### **2.5.2 Variable independiente**

El tipo de comportamiento que tenga el componente hídrico determina la ubicación de zona vulnerables, durante los periodos de retorno planteados, así mismo es una de las características importantes para analizar las causas que generan el riesgo.

La variable independiente es:

Comportamiento hidráulico e hidrológico

## 2.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (DIMENSIONES E INDICADORES)

**Tabla N° 10**

*Operacionalización de Variables (Dimensiones e Indicadores)*

	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	
INDEPENDIENTE	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO	Hidrología	Precipitación. (mm)	Carta Nacionales.
			Periodos de retorno. (años)	Hietograma. (mm – hr)
			Hidrograma. (m <sup>3</sup> /s – hr)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
		Hidráulica	Tirante Hidráulico. (m.)	Área Hidráulico. (m <sup>2</sup> )
Perímetro mojado (m)	Espejo de agua (m)			
		Radio Hidráulico. (m)	Velocidad. (m/s)	
		Número de Froud		
DEPENDIENTE	ÁREAS DE INUNDACIÓN	Mapas	Escala.	
			Tamaño.	
		Cotas. (msnm)		
	Riesgo de inundación	Superficie de agua. (m <sup>2</sup> )		

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 Enfoque**

Se define como enfoque cuantitativo al tipo de investigación que se encarga de la recolección y análisis de datos con la finalidad de responder cuestiones y demostrar hipótesis, esta metodología se basa en la medición numérica y el uso de herramientas estadísticas para la determinación de la veracidad del resultado que se obtenga. (Hernández, 2014)

Se busca comprobar la hipótesis previamente establecida, así como los objetivos trazados, en esta investigación tiene un enfoque cuantitativo.

##### **3.1.2 Alcance o nivel**

Se puede definir a una investigación con un alcance descriptivo si la finalidad de esta es especificar y analizar las propiedades y todo lo que compete a la investigación que se relacionen con fenómenos para someterlos a un análisis; dicho de otra manera, pues se pretende medir y recoger información de conceptos o fenómenos a las que se refiera la investigación. (Hernández, 2014)

Comprende un estudio de alcance descripción del objetivo y variables planteadas anteriormente en esta investigación, por ello tendrá un alcance de caracterización de los parámetros morfométricos de forma, relieve y relativos al drenaje de la cuenca del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha.

##### **3.1.3 Diseño**

Se define a un diseño no experimental, si dicha investigación no altera a conveniencia los valores de las variables, sino por el contrario

trata de utilizar la veracidad de los valores para determinar algún comportamiento. (Hernández, 2014)

## **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1 Población**

Se define a población al conjunto de casos con similares características y especificaciones en el cual se pretenderá identificar un resultado de investigación. (Hernández, 2014)

Teniendo en cuenta el objeto de estudio, la población de la investigación se encuentra en el distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco.

### **3.2.2 Muestra**

Se define como muestra a una parte de la población en la cual se puedan interpretar resultados de manera confiable, pues dentro de ellas se encuentra en grupo de población representativa, con la finalidad de disminuir los trabajos que se requieran en el tratamiento de una población. (Hernández, 2014)

La muestra de trabajo de Investigación es el tramo de Ingenio – Macha del río Huancachupa, que comprende 2 km. aproximadamente de río estudiado.

Por lo tanto, este tipo de muestra es determinística y no probabilística ya que obedece a los propósitos específicos de la investigación.

## **3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

### **3.3.1 Para la recolección de datos**

Según se define para la recolección de datos se presenta como la capacidad para la representación de valores acopiados en campo de investigación, ya que esta no solo se basa en el análisis de los resultados sino se incluye dentro de ella la descripción de la muestra testeada. (Hernández, 2014)

Para este estudio, las técnicas utilizadas en la recolección de datos son la observación y el análisis; esto se obtuvo investigando las condiciones que desencadenan las inundaciones y tratando de establecer características periódicas de los fenómenos meteorológicos que pueden desencadenar riesgos de inundaciones en el área de estudio.

### 3.3.2 Para la presentación de datos

Para la presente investigación se tomaron para la presentación de datos plantillas para el proceso realizadas en hojas Excel para el tratamiento de información obtenida de la base de datos estatales para la investigación, se presenta a continuación la tabla para la recolección de datos pluviométricos de estaciones, y sus posteriores tratamientos:

**Tabla N° 11**

*Plantilla para el tratamiento de datos pluviométricos*

ESTACIÓN -														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO
1989													0	0
1990													0	0
1991													0	0
1992													0	0
1993													0	0
1994													0	0
1995													0	0
1996													0	0
1997													0	0
1998													0	0
1999													0	0
2000													0	0
2001													0	0
2002													0	0
2003													0	0
2004													0	0
2005													0	0
2006													0	0
2007													0	0
2008													0	0
2009													0	0
2010													0	0
2011													0	0
2012													0	0
2013													0	0

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 12**

*Plantilla para análisis de doble masa*

AÑO	ESTACIÓN - CANCHAN		ESTACIÓN - HUÁNUCO		ESTACIÓN - PUENTE TARUCA		ESTACIÓN - JACAS CHICO	
	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum
1989								
1990								
1991								
1992								
1993								
1994								
1995								
1996								
1997								
1998								
1999								
2000								
2001								
2002								
2003								
2004								
2005								
2006								
2007								
2008								
2009								
2010								
2011								
2012								
2013								

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 13**

*Plantilla para datos finales de procesamiento*

Datos de análisis Final																
AÑO	PRECIPITACIONES MÁXIMAS MENSUALES (mm)												PMÁX. PRECIPITACIÓN	PMÍN. PRECIPITACIÓN	PMED. PRECIPITACIÓN	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic				
1989														0.00	0.00	
1990														0.00	0.00	
1991														0.00	0.00	
1992														0.00	0.00	
1993														0.00	0.00	
1994														0.00	0.00	
1995														0.00	0.00	
1996														0.00	0.00	

1997														0.00	0.00
1998														0.00	0.00
1999														0.00	0.00
2000														0.00	0.00
2001														0.00	0.00
2002														0.00	0.00
2003														0.00	0.00
2004														0.00	0.00
2005														0.00	0.00
2006														0.00	0.00
2007														0.00	0.00
2008														0.00	0.00
2009														0.00	0.00
2010														0.00	0.00
2011														0.00	0.00
2012														0.00	0.00
2013														0.00	0.00
MÁX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
MÍN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00
MEDIA														0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

La mayoría de las tablas tienen una estructura similar con la cual se pretende realizar un análisis organizado para la presentación y cálculo de valores que se tienen en cuenta para la investigación.

En su mayoría todas fueron realizadas en hojas Excel y resultados obtenidos en el software HEC-RAS también fueron presentados en manera automática en el mismo software.

### 3.3.3 Para el análisis e interpretación de datos

El proceso de análisis de datos se realiza en conjunto con hojas de cálculos realizadas desde cero para el análisis de los estadísticos pertinentes para la validación de datos de pluviometría obtenido de servidores estatales las cuales tendrán que someterse a análisis de valides.

Todo el proceso se realizó en el software Excel y aplicación de datos en el programa HEC-RAS la cual finalmente procesará los valores para obtener una imagen manejable en softwares de procesamiento geográfico para la elaboración de mapas que se logren interpretar con mayor facilidad

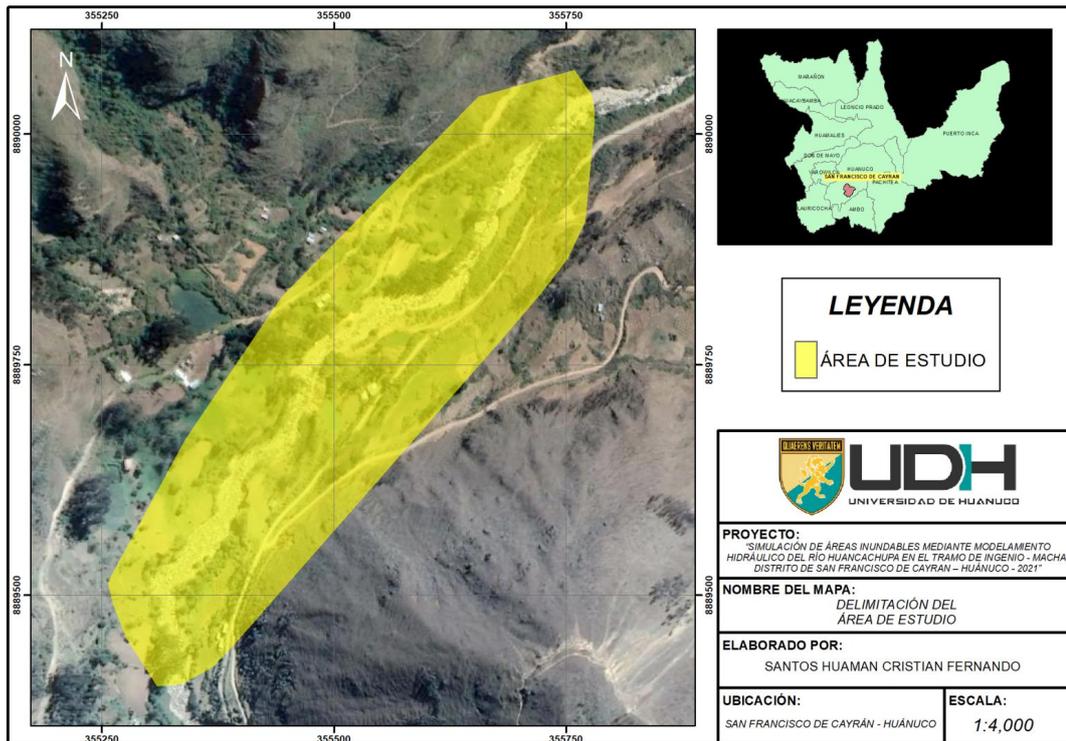


# CAPÍTULO IV RESULTADOS

## 4.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

Inicialmente se tiene que plantear la ubicación exacta de la zona de estudio esto se logrará a partir de la generación de un mapa satelital que no de una vista de la zona de análisis como se muestra a continuación:

**Figura N° 16**  
*Mapa de ubicación de área de estudio*

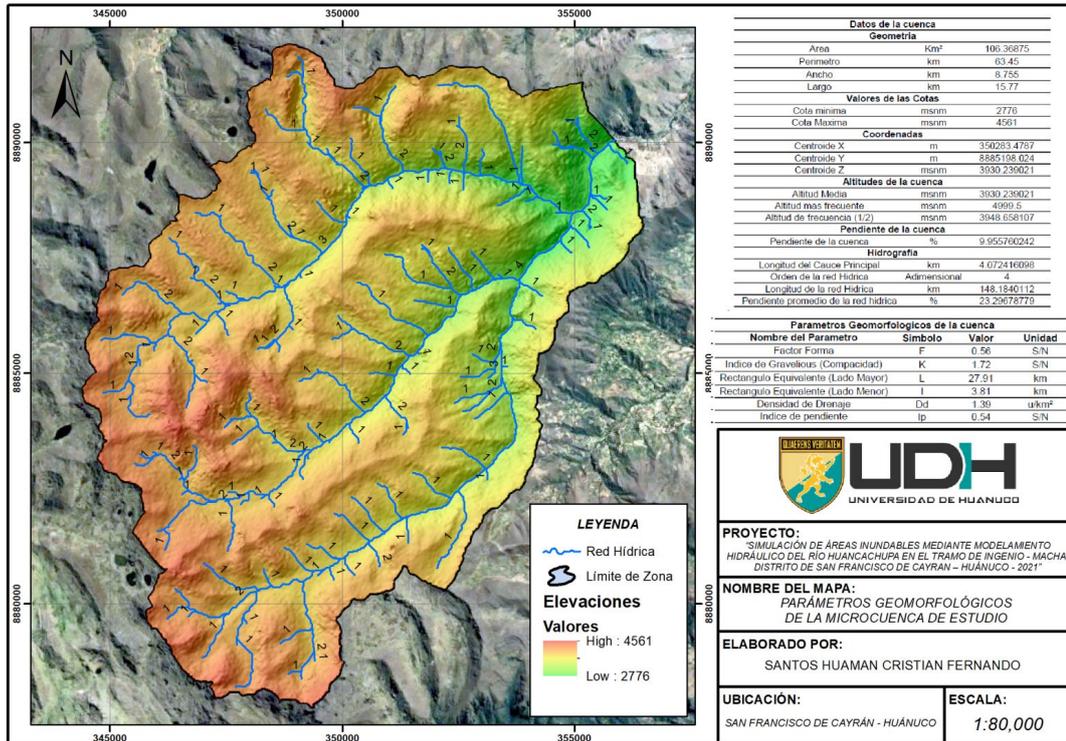


Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

A partir de ahí podemos identificar el río en el cual se quiere hacer el trabajo de investigación de caudales máximos, el río en cuestión es denominado río Huancachupa este es uno de los ríos tributarios para del río Huallaga en la región de Ambo, de ello podemos delimitar la microcuenca a la cual pertenece dicho río.

**Figura N° 17**  
**Mapa de parámetros geomorfológicos**



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

Del mapa se puede identificar la división de los ríos y su categoría del cual se pueden identificar los datos y los factores para la microcuenca los cuales serán útiles para la determinación de los caudales de diseño.

**Tabla N° 14**

Datos determinados de la microcuenca

Datos de la microcuenca		
Geometría		
Área	Km <sup>2</sup>	106.36875
Perímetro	km	63.45
Ancho	km	8.755
Largo	km	15.77
Valores de las Cotas		
Cota mínima	msnm	2776
Cota Máxima	msnm	4561
Coordenadas		
Centroide X	m	350283.4787
Centroide Y	m	8885198.024
Centroide Z	msnm	3930.239021
Altitudes de la cuenca		
Altitud Media	msnm	3930.239021
Altitud más frecuente	msnm	4999.5
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	3948.658107
Pendiente de la cuenca		
Pendiente de la cuenca	%	9.955760242
Hidrografía		
Longitud del Cauce Principal	km	4.072416098
Orden de la red Hídrica	Adimensional	4
Longitud de la red Hídrica	km	148.1840112
Pendiente promedio de la red hídrica	%	23.29678779

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°14 sirve de base para identificar las características geométricas que presenta la microcuenca del río Huancachupa, a partir de esta información se lograron identificar una serie de parámetros que serán posteriormente mostrados.

Tabla N° 15

*Hidrografía de la microcuenca*

Hidrografía de la microcuenca					
Orden	Cantidad	Longitud (Km)	Coincidencias (A)	Pendiente prom (B)	A*B
1	160	74.26	5984	29.803	178339.46
2	30	38.12	3062	17.764	54393.15
3	4	31.73	2627	15.519	40768.77
4	1	4.07	328	18.547	6083.36
Longitud Total		148.18	12001		279584.75
<b>Pendiente promedio</b>				23.29678779	

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La tabla N°15 se obtiene a partir de la caracterización en el software ArcGIS, estos valores representan las repeticiones de las pendientes a lo largo de toda la microcuenca de los ríos, así como su longitud y la pendiente que cada sector de río presenta, con la finalidad de obtener en valor de la pendiente promedio de los ríos que se encuentran en la microcuenca, el cual es de un 23% aproximadamente.

Tabla N° 16

*Pendientes de la micro cuenca*

PENDIENTE DE LA MICROCUENCA				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10	5	385172	1925860
10	20	15	264194	3962910
20	30	25	29115	727875
30	40	35	3710	129850
40	50	45	780	35100
50	60	55	205	11275
60	70	65	106	6890
70	80	75	23	1725
80	90	85	11	935
90	100	95	6	570
<b>Total</b>			683322	6802990
<b>Pendiente promedio de la Cuenca</b>			9.96	

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°16 presenta la caracterización de las pendientes del terreno de la microcuenca, esto a partir de la caracterización en el software y mediante un promedio de ocurrencia por el promedio da un valor de 9.96% de pendiente.

Tabla N° 17

Datos para la determinación de curva hipsométrica

Min	Max	Promedio	Áreas (Km²)	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Áreas en %	Área Sobre la Curva (%)	
2776	3118	2947	2.68	2.68	104.09	2.51	97.49	
3118	3355	3236.5	4.19	6.87	99.90	3.92	93.57	
3355	3557	3456	6.75	13.62	93.15	6.32	87.25	
3557	3733	3645	9.02	22.63	84.14	8.45	78.80	
3733	3887	3810	12.50	35.13	52.29	11.70	67.10	
3887	4019	3953	19.35	54.48	52.29	18.12	48.97	
4019	4146	4082.5	22.44	76.92	29.85	21.01	27.96	
4146	4288	4217	18.45	95.37	11.40	17.28	10.68	
4288	4561	4424.5	11.40	106.77	0.00	10.68	0.00	
			106.7693			100		

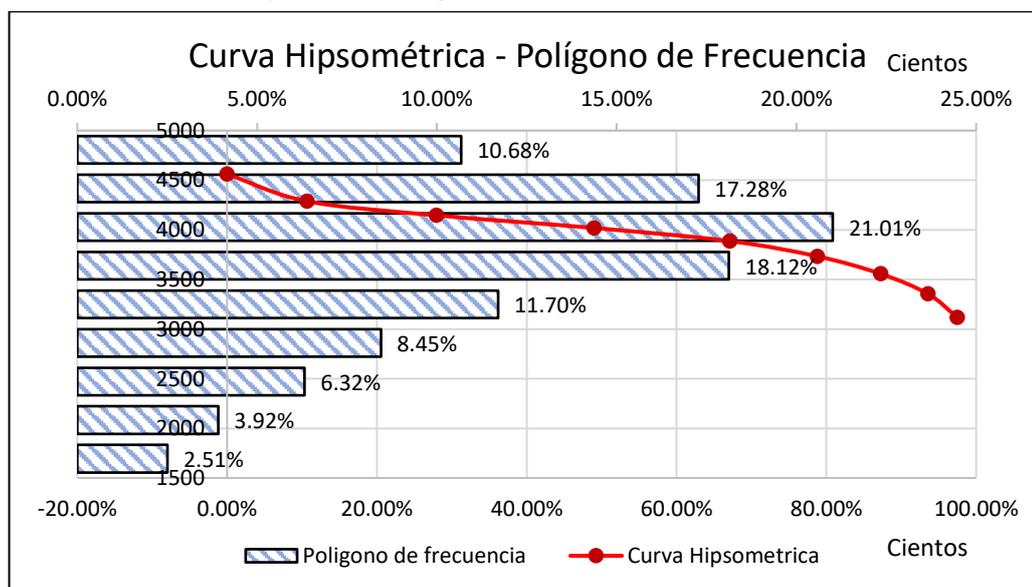
Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°17 presenta los valores de área entre alturas de la cuenca con la finalidad de caracterizar una curva hipsométrica y un polígono de frecuencia para la microcuenca.

Figura N° 18

Curva Hipsométrica – Polígonos de frecuencia



Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

La Figura N°18 representa a las variaciones de alturas de la microcuenca, en ella se pueden identificar la distribución de zonas altas, medias y bajas, para el gráfico se presenta que un 21% de la microcuenca se encuentra alrededor de los 4000 msnm.

Tabla N° 18

Hidrografía de la microcuenca

Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca				
Nombre del Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	
Factor Forma	F	0.56	S/N	
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	1.72	S/N	
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	27.91	km	
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	I	3.81	km	
Densidad de Drenaje	Dd	1.39	u/km <sup>2</sup>	
Índice de pendiente	Ip	0.54	S/N	

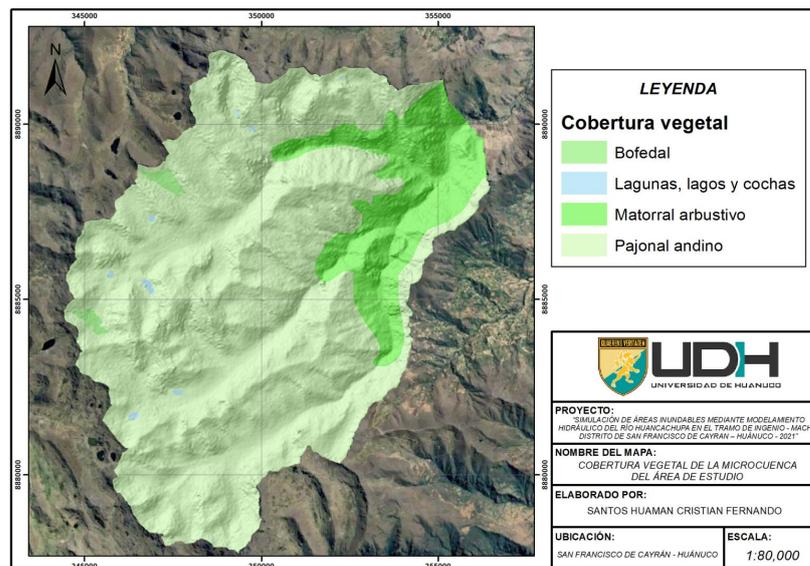
Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°18, presenta la información relacionada a los parámetros geomorfológicos de la microcuenca, a partir del cual pues se pudo determinar que el valor del factor de forma es de 0.56, con un índice de Gravelius de 1.72, una densidad de drenaje de 1.39 y el índice de pendiente de 0.54. Dichos valores ayudan a caracterizar de manera previa el comportamiento con relación al escurrimiento de la microcuenca.

Figura N° 19

Mapa de Cobertura Vegetal de la microcuenca de análisis



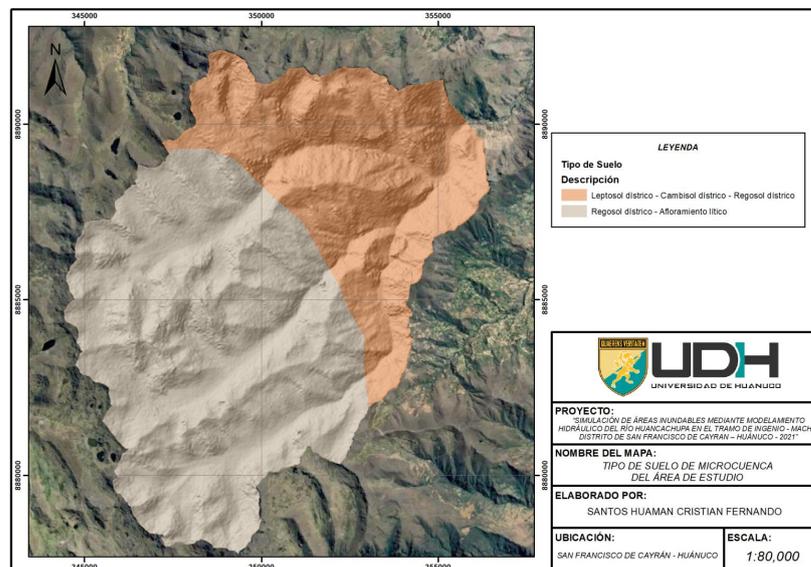
Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

Para el cálculo de la delimitación de la microcuenca se toma como punto de desfogue el punto inicial de área de investigación y así poder delimitar de una manera más precisa la microcuenca. A partir de ello pues se identifican las características de suelo como la cobertura vegetal de la zona que serán de relevancia para los cálculos del caudal. La zona de interés presenta características de bofedales, lagunas, matorrales y pajonal.

Figura N° 20

Mapa de Tipo de Suelo de la microcuenca de análisis



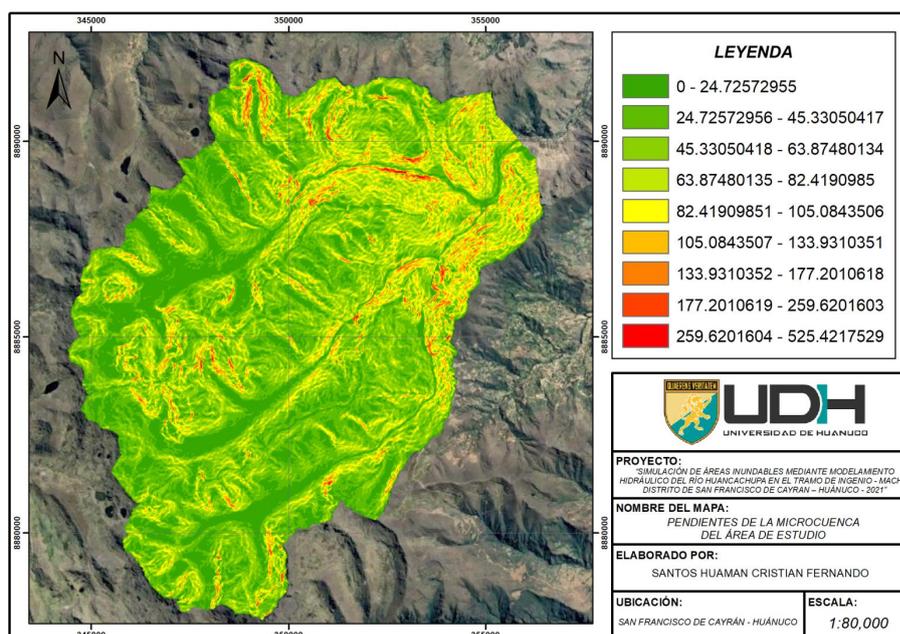
Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

La Figura N°20, presenta la caracterización de tipo de suelo que abarca la zona, de ello pues se identificó que la micro cuenca tiene los tipos de suelos de leptosol districo y regosól districo. Estas características son de relevancia puesto que estas características se relacionan directamente con la escorrentía e impermeabilidad que tiene la micro cuenca.

**Figura N° 21**

*Mapa de Pendientes de la microcuenca de análisis*



Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

La Figura N°21, presenta los valores de pendiente de manera visual presentando los valores críticos con la coloración rojiza, y las de baja pendiente con coloración verdusca, como se muestra en la leyenda del mapa.

**Tabla N° 19**

*Características de la microcuenca*

N°	ÁREA (has)	COBERTURA	TEXTURA	PENDIENTE	C
1	75.872	0 - 20	Media	9.956	0.610
2	27.524	0 - 20	Fina	9.956	0.670
3	1706.862	0 - 20	Media	9.956	0.610
4	8866.594	80 - 100	Media	9.956	0.430

Fuente: Elaboración Propia

### **Interpretación:**

La Tabla N° 19, presenta las características de la cobertura y textura del suelo con la finalidad de obtener los valores de la constante para el cálculo de los caudales de diseño que se presentaran en las siguientes tablas.

**Tabla N° 20**

*Datos pluviométricos para la estación Huánuco*

ESTACIÓN - HUÁNUCO														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO
1989	56.79	43.79	98.19	20.79	14.8	11.5	0	2.5	12	67.9	41.29	59.09	428.64	98.19
1990	45.79	13.5	34.7	52.2	32.59	15.1	1.5	7.09	10.89	86.8	77	59.2	436.36	86.8
1991	25.7	44.29	93.4	29.1	3	10.1	4.8	0	8.5	33.4	40.2	39.59	332.08	93.4
1992	43.09	88.69	66.19	20.6	0	14.39	0	37.2	4	97.4	37.4	21.6	430.56	97.4
1993	18.1	40.9	76.8	25.89	16.79	12.3	6.09	6.3	8	17.2	97.3	50.09	375.76	97.3
1994	81.19	57.5	41.29	57.59	23.39	0	0	0	32.7	64.4	20.39	41	419.45	81.19
1995	38.7	50.4	50.29	26	3.59	1.39	1.2	0.4	7.19	23.2	48.79	59	310.15	59
1996	59.5	33.09	41.7	69.3	23	0	0.1	5.3	2.29	23.6	57.79	15.69	331.36	69.3
1997	54.59	41.59	26.5	15.1	9.6	2.2	0	9.6	7.59	29.79	41.5	47.29	285.35	54.59
1998	93.5	63	66.9	3.09	2.79	2.09	0	2.79	3.79	29.29	64.5	34	365.74	93.5
1999	81.69	88.5	109.3	22.29	18.39	15.1	8.6	0.6	57.59	20.79	33.79	58.2	514.84	109.3
2000	68.19	89.59	148.1	30.29	10.1	16	3.59	17.1	11.89	9.5	61	77.19	542.54	148.1
2001	45.2	36.2	85.19	46.2	10.39	3.29	8.39	10.19	7.4	36.9	72.69	55.79	417.83	85.19
2002	29.5	56.4	83.09	56.5	18.2	2.9	12.8	4.09	8.39	109.8	40.79	21	443.46	109.8
2003	44.7	26.89	70.5	24.6	14.3	0.3	0.1	9.39	12.6	17.1	77.3	83.09	380.87	83.09
2004	33.59	31.7	56.9	31.2	24.79	5.09	5.59	16.7	16.2	28.6	34.79	104.59	389.74	104.59
2005	32.59	45	92.69	12.6	1.39	0	2	8.6	5.8	51.5	26.29	106.9	385.36	106.9
2006	81.9	48.4	112.69	38.59	2	6.19	3.5	2.9	11.39	49.09	66.69	89.09	512.43	112.69
2007	33.9	6.9	81.59	35.79	7.8	1.89	6.69	3.9	4.4	59.2	40.59	70.3	352.95	81.59
2008	29.79	90.8	91.3	36.29	3.59	5.5	0.1	2	33.4	38	50.9	68.09	449.76	91.3
2009	68	72.5	90.8	85.9	14.19	10.3	12.3	4.4	11	44.59	40.2	59.59	513.77	90.8
2010	21.79	85.9	91.59	19	3.4	2.59	4.9	7.19	14.1	26.7	55.09	81.9	414.15	91.59
2011	76.8	64	141.6	43.9	21.1	1.89	1.89	3.7	22.6	67.69	56.59	132.3	634.06	141.6
2012	78.59	55.7	30.1	74.8	13.69	3.79	7.8	3.4	4.9	75	94.5	154.69	596.96	154.69
2013	36.2	90	92	33.59	5.69	10.69	12.5	22.1	6.59	37.79	71.3	76.09	494.54	92

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°20, presenta los resultados recolectados del SENAMHI de la estación de Huánuco, estos valores se obtienen de los registros históricos, de estos valores pues se pudo identificar los valores acumulados anuales y las máximas precipitaciones por año tomadas cada 24hrs.



**Figura N° 22**

*Grafica de máximas precipitaciones para la estación Huánuco*



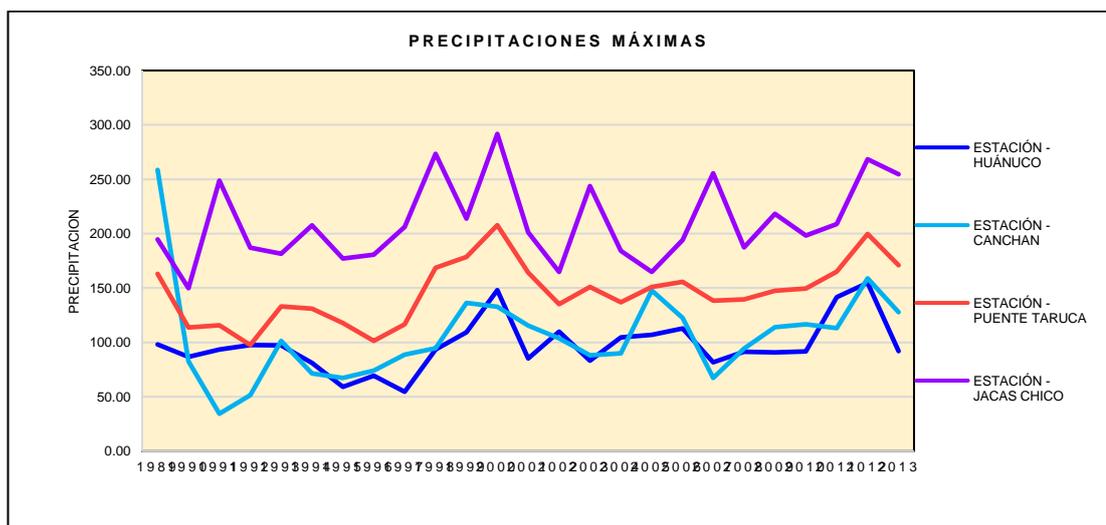
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°22, se pueden identificar los periodos donde se encuentran anomalías en la precipitación, estos valores serán sometidos a un análisis de confiabilidad de datos, este tipo de análisis se realizaron para las 4 estaciones que son más cercanas al área de estudio esto a causa que la zona no cuenta con una estación en particular las cuales fueron las estaciones de Canchan, Huánuco, Puente Taruca y Jacas Chico.

**Figura N° 23**

*Precipitaciones Máximas de las 4 estaciones*



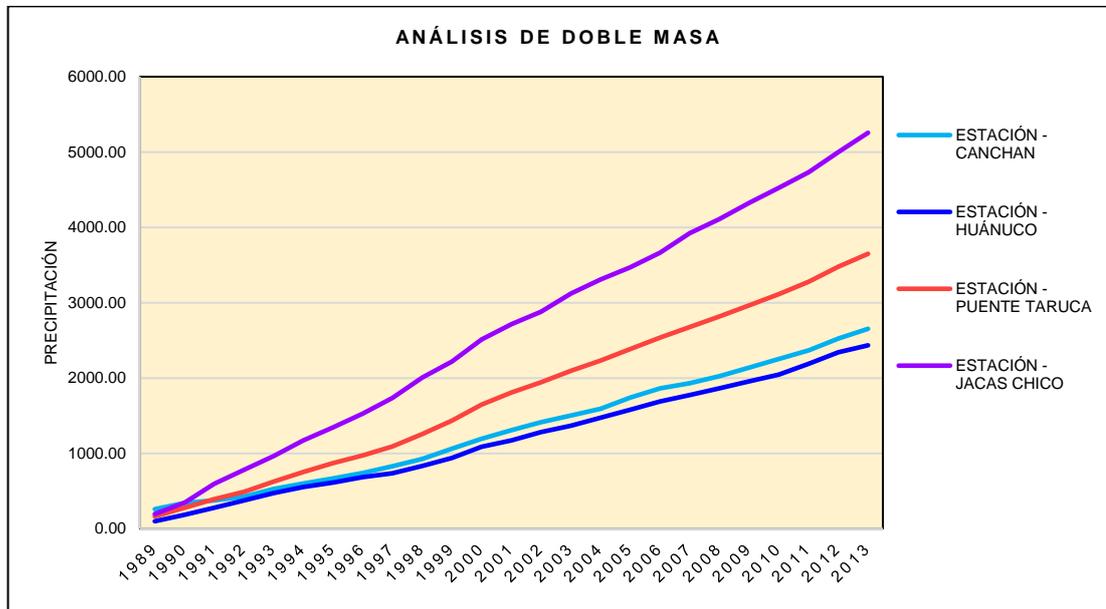
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°23, se presenta las estaciones de Canchan, Huánuco, Puente Taruca y Jacas Chico, de esto se puede realizar un análisis de doble masa para la identificación de la estación más idónea.

**Figura N° 24**

*Precipitaciones Máximas de las 4 estaciones*



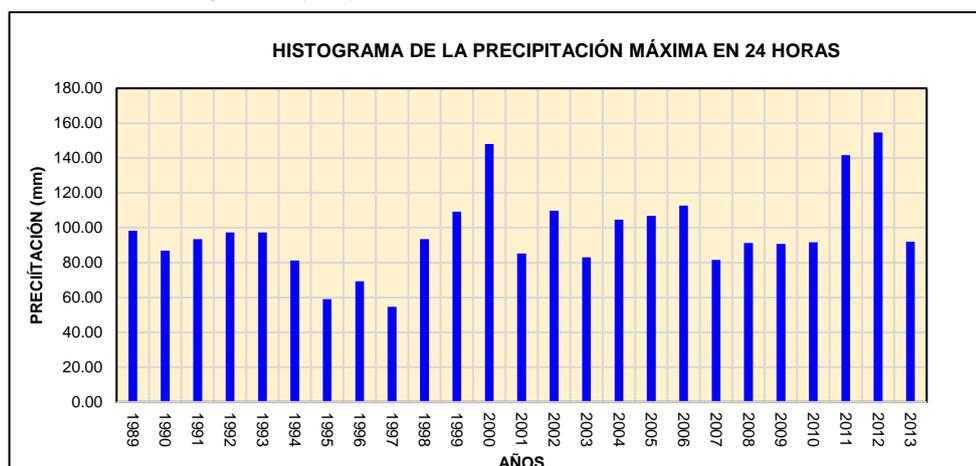
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°24, del análisis de doble masa se logra identificar la estación con menos variaciones y con un poco cantidad de quiebres se escoge como estación base la estación de Huánuco, debido a que es la que tiene un menor quiebre y una menor pendiente debido a que el río Huancachupa no tiene un gran volumen tributario para el río Huallaga, la estación de Jacas Chico no se toma en cuenta ya que la precipitación es tomada directamente en el río Huallaga donde confluye no solo el río Huancachupa sino varios más ríos tributarios.

**Figura N° 25**

*Histograma de precipitación máxima en 24hrs*



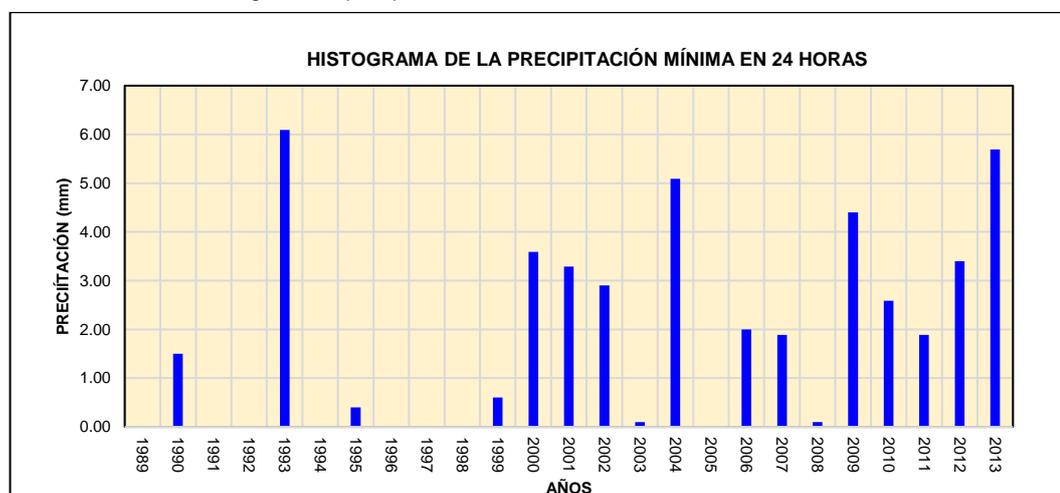
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°25, se presentan a partir de los valores históricos de precipitación los valores máximos de la estación para identificar y contrastar que sean los más adecuados y en qué años se vieron picos de precipitación.

**Figura N° 26**

*Histograma de precipitación mínima en 24hrs*



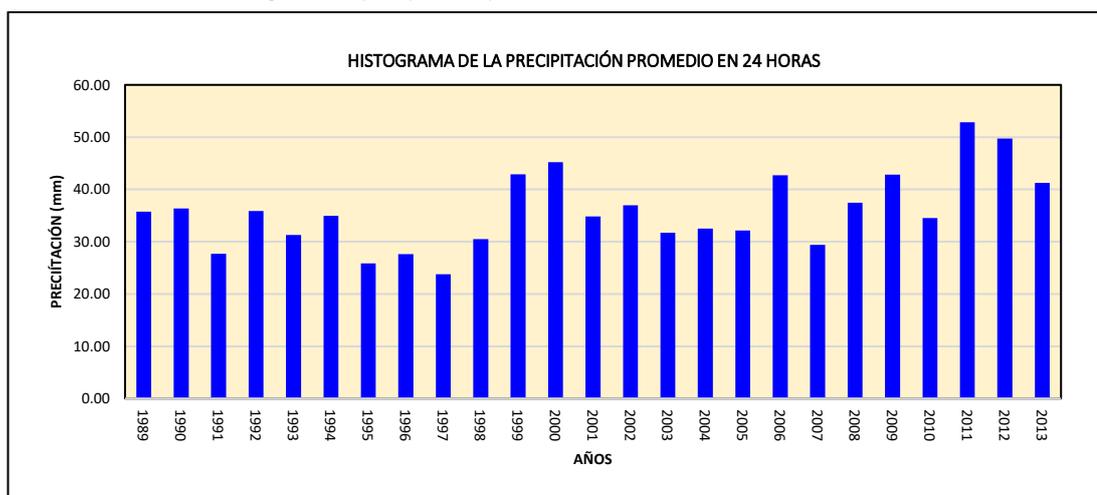
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°26, se presenta los valores de precipitación mínima y poder identificar los años en los cuales los valores mínimos no son tan consistentes.

**Figura N° 27**

*Histograma de precipitación promedio en 24hrs*



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°27, a partir de los valores históricos de precipitación se determinaron los valores promedios de precipitación con la finalidad identificar el volumen promedio de precipitación e identificar las inconsistencias de los valores.

**Tabla N° 21**

*Datos pluviométricos para la estación Huánuco*

CÁLCULO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO USANDO LAS DISTRIBUCIONES NORMAL, LOG-NORMAL, LOG-PEARSON III, Y GUMBEL PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS ANUALES 1989 - 2013				
<b>ESTACIÓN:</b>		HUÁNUCO		
<b>LATITUD:</b>		-9.9655556		
<b>LONGITUD:</b>		-76.2369444		
<b>ALTITUD:</b>		2090		
<b>REGIÓN:</b>		HUÁNUCO		
<b>PROVINCIA:</b>		HUÁNUCO		
<b>DISTRITO:</b>		-		
N°	ESTACIÓN	AÑO	P mensual máx (mm)	Log P
1	HUÁNUCO	1989	98.19	1.99207
2	HUÁNUCO	1990	86.80	1.93852
3	HUÁNUCO	1991	93.40	1.97035
4	HUÁNUCO	1992	97.40	1.98856
5	HUÁNUCO	1993	97.30	1.98811
6	HUÁNUCO	1994	81.19	1.90950
7	HUÁNUCO	1995	59.00	1.77085
8	HUÁNUCO	1996	69.30	1.84073

9	HUÁNUCO	1997	54.59	1.73711
10	HUÁNUCO	1998	93.50	1.97081
11	HUÁNUCO	1999	109.30	2.03862
12	HUÁNUCO	2000	148.10	2.17056
13	HUÁNUCO	2001	85.19	1.93039
14	HUÁNUCO	2002	109.80	2.04060
15	HUÁNUCO	2003	83.09	1.91955
16	HUÁNUCO	2004	104.59	2.01949
17	HUÁNUCO	2005	106.90	2.02898
18	HUÁNUCO	2006	112.69	2.05189
19	HUÁNUCO	2007	81.59	1.91164
20	HUÁNUCO	2008	91.30	1.96047
21	HUÁNUCO	2009	90.80	1.95809
22	HUÁNUCO	2010	91.59	1.96185
23	HUÁNUCO	2011	141.60	2.15106
24	HUÁNUCO	2012	154.69	2.18946
25	HUÁNUCO	2013	92.00	1.96379
<b>PROMEDIO (mm)</b>			97.356	1.97612
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			23.917	0.10544
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.)</b>			0.246	0.05336
<b>COEFICIENTE DE ASIMETRÍA</b>			0.803	-0.08090
<b>K/6</b>			0.134	-0.01348
<b>N°</b>			25.000	25.00000
<b>MÁXIMO</b>			154.690	2.18946

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°21, se presenta en resumen los valores de precipitaciones máximas de la estación Huánuco con la cual se determinan los parámetros estadísticos para determinar el mejor parámetro de distribución que se ajuste a los valores para luego determinar las proyecciones de precipitaciones.

Tabla N° 22

*Distribución Normal para la estación Huánuco*

m	P mensual máx (mm)	Media	Desviación Estándar	P (X) =m/n+1	Z = X-Xm/S	f(Z)	F(Z)	Delta
1	54.59			0.0385	-1.788	0.081	0.0369	0.0016
2	59.00			0.0769	-1.604	0.110	0.0544	0.0225
3	69.30			0.1154	-1.173	0.200	0.1204	0.0050
4	81.19	97.3560	23.91710	0.1538	-0.676	0.317	0.2495	0.0957
5	81.59			0.1923	-0.659	0.321	0.2549	0.0626
6	83.09			0.2308	-0.596	0.334	0.2754	0.0447
7	85.19			0.2692	-0.509	0.351	0.3055	0.0363

8	86.80	0.3077	-0.441	0.362	0.3295	0.0218
9	90.80	0.3462	-0.274	0.384	0.3920	0.0458
10	91.30	0.3846	-0.253	0.386	0.4001	0.0154
11	91.59	0.4231	-0.241	0.388	0.4047	0.0183
12	92.00	0.4615	-0.224	0.389	0.4114	0.0501
13	93.40	0.5000	-0.165	0.394	0.4343	0.0657
14	93.50	0.5385	-0.161	0.394	0.4360	0.1025
15	97.30	0.5769	-0.002	0.399	0.4991	0.0779
16	97.40	0.6154	0.002	0.399	0.5007	0.1147
17	98.19	0.6538	0.035	0.399	0.5139	0.1399
18	104.59	0.6923	0.302	0.381	0.6188	0.0735
19	106.90	0.7308	0.399	0.368	0.6551	0.0757
20	109.30	0.7692	0.499	0.352	0.6912	0.0780
21	109.80	0.8077	0.520	0.348	0.6986	0.1091
22	112.69	0.8462	0.641	0.325	0.7393	0.1069
23	141.60	0.8846	1.850	0.072	0.9678	0.0832
24	148.10	0.9231	2.122	0.042	0.9831	0.0600
25	154.69	0.9615	2.397	0.023	0.9917	0.0302

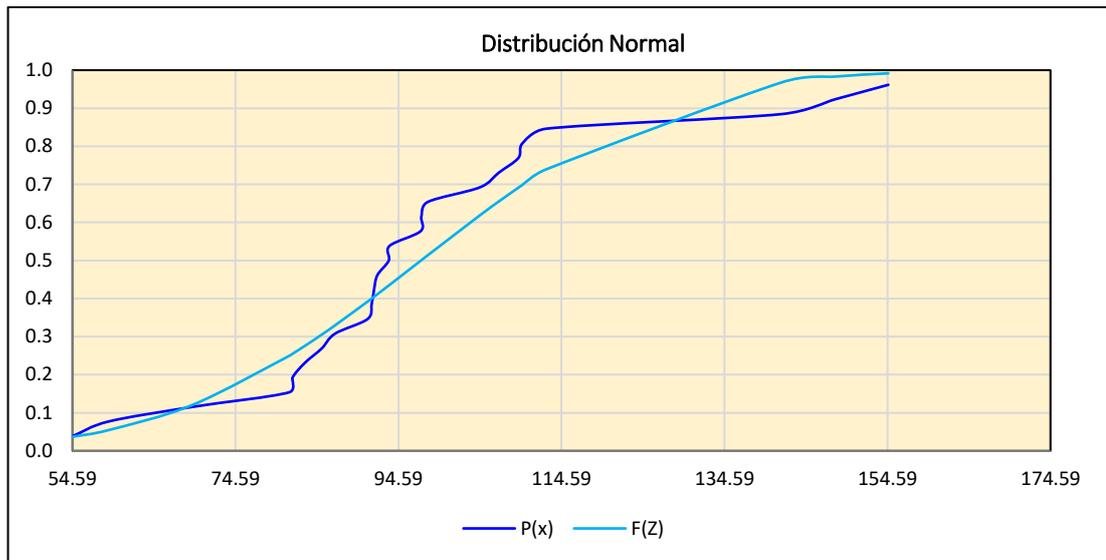
0.1399	<	0.2720
SE AJUSTA		
$\Delta$ teórico		0.1399
$\Delta$ tabular		0.2720
n		25.0000

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°22, presenta la distribución normal de los valores de precipitación de la estación Huánuco, el cual presenta un delta teórico de 0.13 el cual es menor al valor de del delta tabular, del cual se puede determinar que los valores se ajustan a la distribución.

**Figura N° 28**  
 Grafica de Distribución Normal



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°28, presenta la distribución gráfica normal de ajuste en los valores de precipitación comparado con los valores tabulares para así determinar la confiabilidad visual del ajuste.

**Tabla N° 23**

*Distribución Normal para la estación Huánuco*

CUADRO DE RESUMEN		
T	P(mm)	Delta
50	146.486	0.13994
100	153.006	0.13994
150	156.555	0.13994

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°23, presenta las precipitaciones calculadas para los periodos de retorno de 50, 100, 150 años, estos valores sirven para determinar el valor del caudal a partir de fórmulas.

**Tabla N° 24**

*Distribución Log-Normal para la estación Huánuco*

m	X	Y=LnX	P(x)	Media Ln(X)	Desv. Estándar Ln(X)	Z = (X-Xm)/S	f(z)	F(z)	Delta
1	54.59	4.000	0.038	4.5502	0.2428	-2.2667	0.0023	0.0117	0.0268
2	59.00	4.078	0.077			-1.9467	0.0042	0.0258	0.0511

3	69.30	4.238	0.115	-1.2840	0.0104	0.0996	0.0158
4	81.19	4.397	0.154	-0.6318	0.0166	0.2638	0.1099
5	81.59	4.402	0.192	-0.6116	0.0167	0.2704	0.0781
6	83.09	4.420	0.231	-0.5365	0.0171	0.2958	0.0650
7	85.19	4.445	0.269	-0.4337	0.0176	0.3322	0.0630
8	86.80	4.464	0.308	-0.3566	0.0178	0.3607	0.0530
9	90.80	4.509	0.346	-0.1710	0.0178	0.4321	0.0859
10	91.30	4.514	0.385	-0.1484	0.0178	0.4410	0.0564
11	91.59	4.517	0.423	-0.1354	0.0178	0.4462	0.0231
12	92.00	4.522	0.462	-0.1170	0.0177	0.4534	0.0081
13	93.40	4.537	0.500	-0.0548	0.0176	0.4782	0.0218
14	93.50	4.538	0.538	-0.0504	0.0176	0.4799	0.0585
15	97.30	4.578	0.577	0.1137	0.0168	0.5453	0.0317
16	97.40	4.579	0.615	0.1180	0.0168	0.5469	0.0684
17	98.19	4.587	0.654	0.1512	0.0165	0.5601	0.0937
18	104.59	4.650	0.692	0.4113	0.0144	0.6596	0.0327
19	106.90	4.672	0.731	0.5013	0.0136	0.6919	0.0389
20	109.30	4.694	0.769	0.5927	0.0126	0.7233	0.0459
21	109.80	4.699	0.808	0.6115	0.0124	0.7296	0.0781
22	112.69	4.725	0.846	0.7185	0.0113	0.7638	0.0824
23	141.60	4.953	0.885	1.6591	0.0029	0.9515	0.0668
24	148.10	4.998	0.923	1.8440	0.0020	0.9674	0.0443
25	154.69	5.041	0.962	2.0233	0.0014	0.9785	0.0169

0.1099	<	0.2720	$\Delta$ teórico	0.1099	
SE AJUSTA			$\Delta$ tabular	0.2720	
				n	25.0000

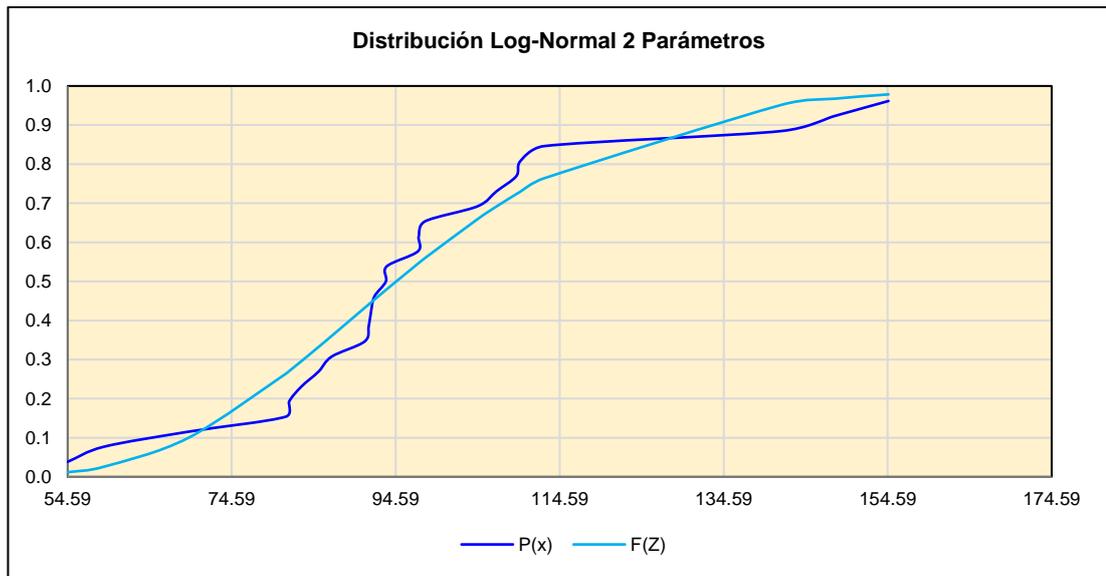
Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°24, presenta la distribución log-normal de los valores de precipitación de la estación Huánuco, el cual presenta un delta teórico de 0.10 el cual es menor al valor de del delta tabular, del cual se puede determinar que los valores se ajustan a la distribución.



**Figura N° 29**  
*Grafica de Distribución Log-Normal*



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°29, presenta la distribución gráfica log-normal de ajuste en los valores de precipitación comparado con los valores tabulares para así determinar la confiabilidad visual del ajuste.

**Tabla N° 25**

*Distribución Log-Normal para la estación Huánuco*

CUADRO DE RESUMEN		
T	P(mm)	delta
50	155.855	0.10991
100	166.519	0.10991
150	172.627	0.10991

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°25, presenta las precipitaciones calculadas para los periodos de retorno de 50, 100, 150 años, estos valores sirven para determinar el valor del caudal a partir de fórmulas.

Para el análisis estadístico de los valores para los valores de pluviometría se tomaron en cuenta las siguientes distribuciones Normal, Log-Normal, Log-Normal 3 Parámetros y Log-Gumbel, como se mostraron en los cuadros anteriores se aplicaron las hojas de cálculo para determinar todos

los valores (Los cuadros de todas las distribuciones estadísticas se encuentran adjuntas en los anexos).

**Tabla N° 26**

*Prueba de bondad de ajuste Smirnov – Kolmogorov*

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV	
RESUMEN	
DISTRIBUCIÓN	DELTA TEÓRICO
NORMAL	0.1399
LOG-NORMAL	0.1099
LOG-NOMAL 3P	0.1023
LOG-GUMBEL	0.1508

Min	0.1099	=	LOG-NORMAL
-----	--------	---	------------

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°26, de los estadísticos se pudo determinar que la distribución más adecuada para el tratamiento de los datos pluviométricos es la del Log-Normal.

**Tabla N° 27**

*Diferentes precipitaciones a partir de la fórmula de Bell*

DIFERENTES PRECIPITACIONES - FÓRMULA DE BELL						
T	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
10	58.75	75.41	86.58	108.50	134.57	165.57
50	78.54	100.80	115.73	145.04	179.89	221.34
100	87.06	111.74	128.29	160.78	199.41	245.35
150	92.04	118.14	135.64	169.98	210.83	259.40

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°27, presenta a partir de la proyección de la precipitación con el ajuste log-normal, los resultados de diferentes valores de precipitación determinado para diferentes periodos de minutos en diferentes periodos de retorno.

**Tabla N° 28**

*Intensidades máximas a partir de la fórmula de Bell*

INTENSIDADES MÁXIMAS PARA DIFERENTES DURACIONES - FÓRMULA DE BELL						
T	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
10	58.75	37.70	28.86	18.08	11.21	6.90
50	78.54	50.40	38.58	24.17	14.99	9.22
100	87.06	55.87	42.76	26.80	16.62	10.22
150	92.04	59.07	45.21	28.33	17.57	10.81

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°28, determinación de intensidad es por la fórmula de Frederick Bell en diferentes periodos de retorno en diferentes minutos.

**Tabla N° 29**

*Intensidades máximas de diseño a partir de la fórmula de Bell*

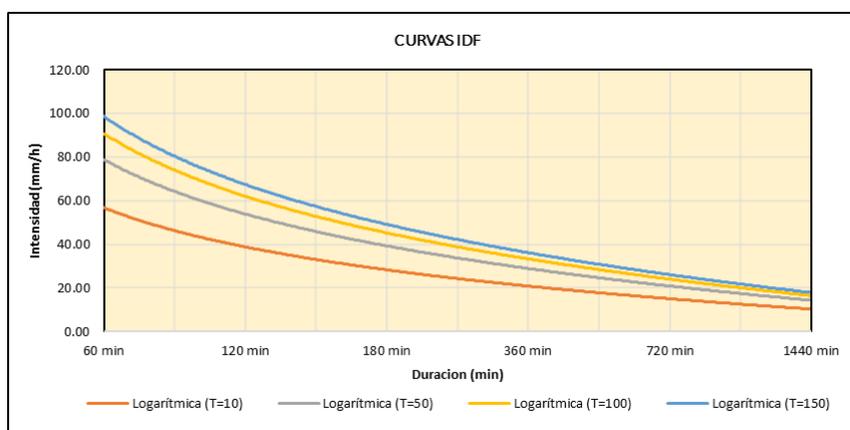
INTENSIDADES MÁXIMAS DE DISEÑO - FÓRMULA DE BELL						
T	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
T=10	56.26	38.34	30.63	20.87	14.22	9.69
T=50	78.13	53.24	42.53	28.98	19.75	13.45
T=100	90.00	61.32	48.99	33.38	22.75	15.50
T=150	97.76	66.61	53.22	36.26	24.71	16.83

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°29, presenta los resultados de intensidades máximas con ajustes de precipitación para los periodos de retorno, los cuales sirven de base para la determinación de caudales de diseño.

**Figura N° 30**  
*Curvas IDF - Bell*



Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

La Figura N°30, presenta la curva IDF para las intensidades de precipitación en diferentes duraciones y periodos de retorno, calculadas con la metodología Frederich Bell.

Tabla N° 30

Discretización de caleres diferente mediante Dyck y Peschke

DISCRETIZACIÓN DE VALORES EN DIFERENTE DURACIONES - DYCK Y PESCHKE						
P24H	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
98.190	44.362	52.756	58.384	69.431	82.568	98.190
86.800	39.216	46.636	51.612	61.377	72.990	86.800
93.400	42.198	50.182	55.536	66.044	78.540	93.400
97.400	44.005	52.332	57.914	68.872	81.903	97.400
97.300	43.960	52.278	57.855	68.801	81.819	97.300
81.190	36.682	43.622	48.276	57.410	68.272	81.190
59.000	26.656	31.700	35.082	41.719	49.613	59.000
69.300	31.310	37.234	41.206	49.002	58.274	69.300
54.590	24.664	29.330	32.459	38.601	45.905	54.590
93.500	42.243	50.236	55.595	66.114	78.624	93.500
109.300	49.382	58.725	64.990	77.287	91.910	109.300
148.100	66.912	79.572	88.061	104.723	124.537	148.100
85.190	38.489	45.771	50.654	60.238	71.636	85.190
109.800	49.608	58.994	65.287	77.640	92.330	109.800
83.090	37.540	44.643	49.406	58.754	69.870	83.090
104.590	47.254	56.195	62.190	73.956	87.949	104.590
106.900	48.298	57.436	63.563	75.590	89.892	106.900
112.690	50.913	60.547	67.006	79.684	94.761	112.690
81.590	36.862	43.837	48.514	57.693	68.609	81.590
91.300	41.249	49.054	54.287	64.559	76.774	91.300
90.800	41.024	48.785	53.990	64.205	76.353	90.800
91.590	41.380	49.210	54.460	64.764	77.018	91.590
141.600	63.975	76.080	84.196	100.126	119.071	141.600
154.690	69.889	83.113	91.979	109.382	130.078	154.690
92.000	41.566	49.430	54.704	65.054	77.362	92.000

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°30, presenta los valores de intensidad de precipitación que se calculan a partir de la metodología Dyck y Peschke para el cálculo de intensidades máximas.

**Tabla N° 31**

*Intensidad máxima mediante Dyck y Peschke*

<b>INTENSIDAD MÁXIMA - DYCK Y PESCHKE</b>						
<b>AÑO</b>	<b>60 min</b>	<b>120 min</b>	<b>180 min</b>	<b>360 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
1	44.362	26.378	19.461	11.572	6.881	4.091
2	39.216	23.318	17.204	10.229	6.082	3.617
3	42.198	25.091	18.512	11.007	6.545	3.892
4	44.005	26.166	19.305	11.479	6.825	4.058
5	43.960	26.139	19.285	11.467	6.818	4.054
6	36.682	21.811	16.092	9.568	5.689	3.383
7	26.656	15.850	11.694	6.953	4.134	2.458
8	31.310	18.617	13.735	8.167	4.856	2.888
9	24.664	14.665	10.820	6.433	3.825	2.275
10	42.243	25.118	18.532	11.019	6.552	3.896
11	49.382	29.363	21.663	12.881	7.659	4.554
12	66.912	39.786	29.354	17.454	10.378	6.171
13	38.489	22.886	16.885	10.040	5.970	3.550
14	49.608	29.497	21.762	12.940	7.694	4.575
15	37.540	22.322	16.469	9.792	5.823	3.462
16	47.254	28.097	20.730	12.326	7.329	4.358
17	48.298	28.718	21.188	12.598	7.491	4.454
18	50.913	30.273	22.335	13.281	7.897	4.695
19	36.862	21.919	16.171	9.615	5.717	3.400
20	41.249	24.527	18.096	10.760	6.398	3.804
21	41.024	24.393	17.997	10.701	6.363	3.783
22	41.380	24.605	18.153	10.794	6.418	3.816
23	63.975	38.040	28.065	16.688	9.923	5.900
24	69.889	41.556	30.660	18.230	10.840	6.445
25	41.566	24.715	18.235	10.842	6.447	3.833

Fuente: Elaboración Propia

**Interpretación:**

La Tabla N°31, valores de intensidades de precipitación máximas con la metodología Dyc y Peschke.

**Tabla N° 32**

*Intensidades máximas mediante Dyck y Peschke*

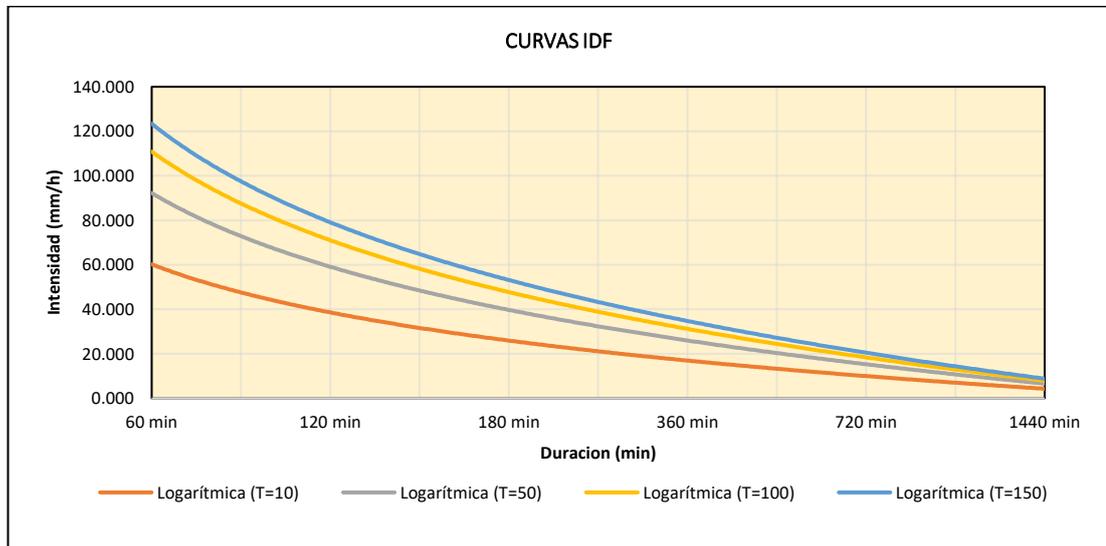
<b>INTENSIDADES MÁXIMAS AJUSTADAS - DYCK PESCHKE</b>						
<b>T</b>	<b>60 min</b>	<b>120 min</b>	<b>180 min</b>	<b>360 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>T=10</b>	61.385	36.500	26.929	16.012	9.521	5.661
<b>T=50</b>	94.020	55.904	41.246	24.525	14.583	8.671
<b>T=100</b>	112.969	67.172	49.559	29.468	17.522	10.418
<b>T=150</b>	125.779	74.789	55.178	32.809	19.508	11.600

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°32, se presenta en síntesis las intensidades ajustadas para la metodología Dyck y Peschke.

**Figura N° 31**  
*Curvas IDF - Bell*



Fuente: Elaboración propia

### Interpretación:

La Figura N°31, presenta la curva IDF para las intensidades de precipitación en diferentes duraciones y periodos de retorno, calculadas con la metodología Dyck y Peschke.

Obtenidas las intensidades se procede al cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno que servirán en la simulación del HEC-RAS en su identificación de zonal vulnerables a inundaciones.

Para el cálculo de caudales máximos se tomaron en cuenta 3 métodos, los seleccionados fueron: el Método racional, Método Mac Math y el Método Mac Math con Dyck y Peschke, de los cuales los resultados fueron:

**Tabla N° 33**

*Parámetros para el cálculo de caudales de Dyck y Peschke*

Imáx DYCK PESCHKE	
C (Ponderado)	0.460
Tiempo de Concentración	77.03

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°33, presenta los parámetros requeridos para determinar los caudales con la fórmula de Dyck y Peschke el C ponderado es el valor con el cual se puede caracterizar el suelo que se presenta en la microcuenca y el tiempo de concentración para la microcuenca.

Tabla N° 34

*Caudales máximos calculados*

CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS (m3/s)			
T(años)	MET. RACIONAL	MET. MAC MATH	MET. MAC MATH CON DYCK PESCHKE
10	691.811	1016.028	1055.425
50	1059.598	1410.828	1616.522
100	1273.122	1625.023	1942.273
150	1417.464	1765.193	2162.481
250	1622.833	1959.068	2475.791
500	1949.846	2256.619	2974.889
1000	2342.914	2599.373	3574.346

Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°34, presenta los resultados de caudales de diseño los cuales se calculan por las metodologías del método racional, método Mac Math y el de Dyck Peschke. Del cual se optó por tomar valores de caudales determinados por Mac Math ya que son los valores intermedios de caudales.

Tabla N° 35

*Caudales máximos con mayoreo*

CAUDALES DE DISEÑO CON FACTOR DE MAYORACIÓN	
T(años)	MET. MAC MATH
10	1320.836
50	1834.076
100	2112.530
150	2294.751
250	2546.788
500	2933.605
1000	3379.185

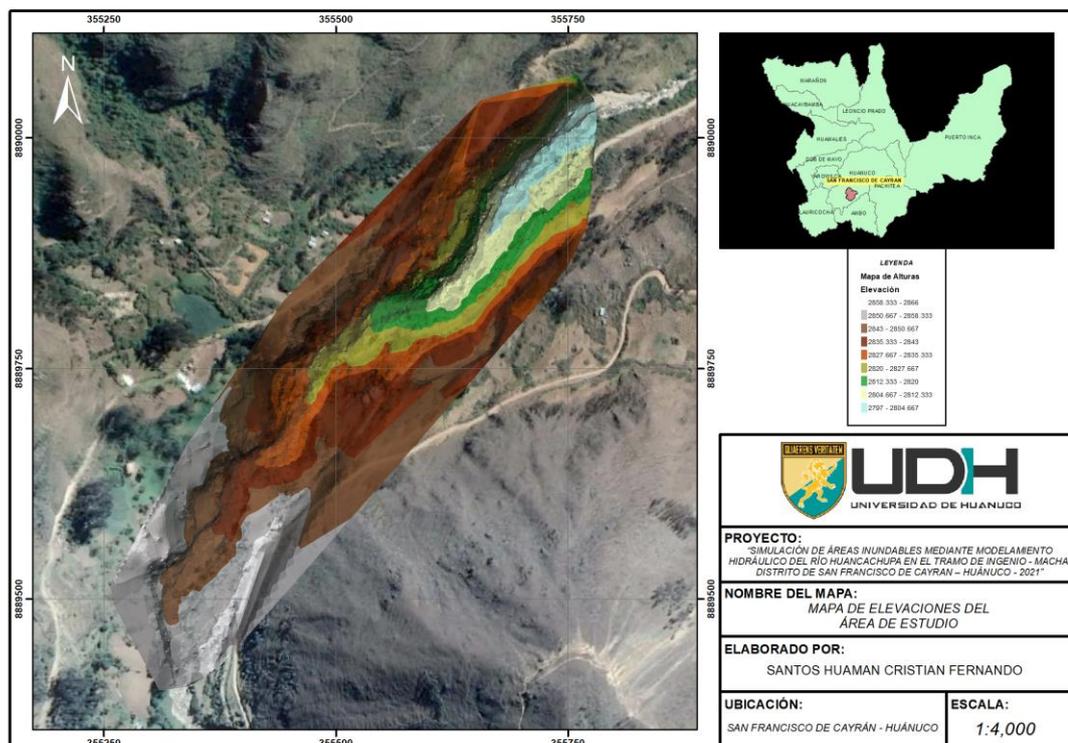
Fuente: Elaboración Propia

### Interpretación:

La Tabla N°36, presenta los valores de caudal seleccionados multiplicados por un valor de mayoreo del 1.3 para obtener un margen de seguridad en el modelo hidráulico en la simulación.

De los periodos de retorno se procede a hacer la simulación bidimensional en el software HEC-RAS, para lo cual se requiere obtener una imagen bidimensional del terreno que se obtiene de un levantamiento topográfico para la zona de impacto directo, como se muestra:

**Figura N° 32**  
*Mapa de elevaciones*



Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

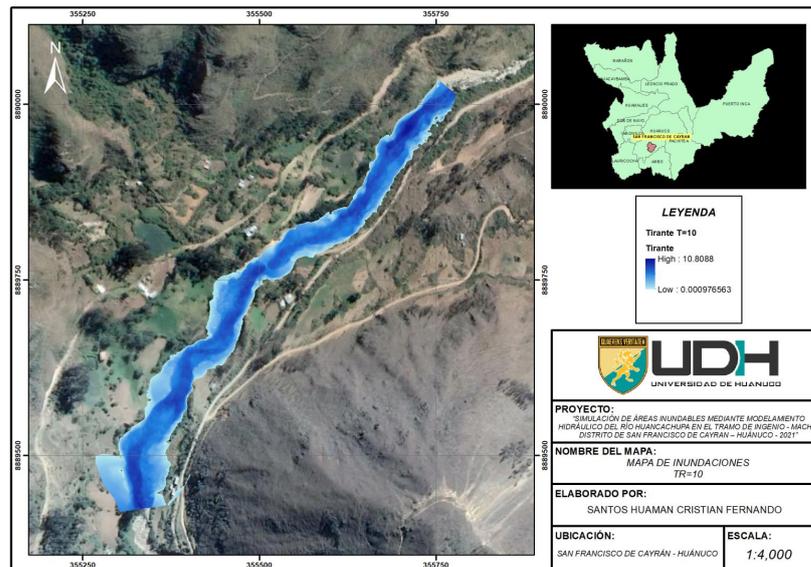
La Figura N°32, presenta el modelo 3D que se pudo obtener a partir del levantamiento topográfico de la zona de interés. Con ello se podrá realizar la simulación de inundación en el software HEC-RAS.

Teniendo en cuenta cada uno de los periodos de retorno y un valor de “n” de Manning promedio para el cauce principal y para los bancos o riberas del río, para cada uno de ellos se obtienen los siguientes resultados de forma visual, que se muestran a continuación:



**Figura N° 33**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 10 años*



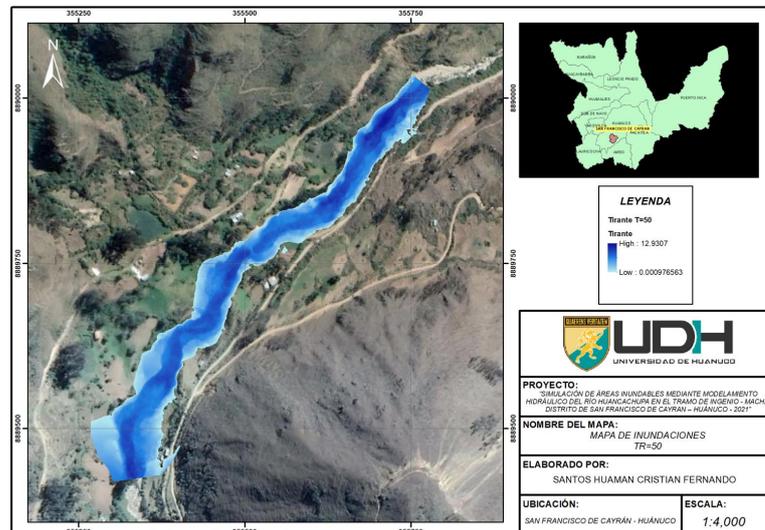
Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

La Figura N°33, presenta las zonas de inundación que se obtuvieron a partir de la simulación en el software HEC-RAS, para el periodo de retorno de 10 años con su respectivo caudal que se obtuvo en la Tabla N°35.

**Figura N° 34**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 50 años*



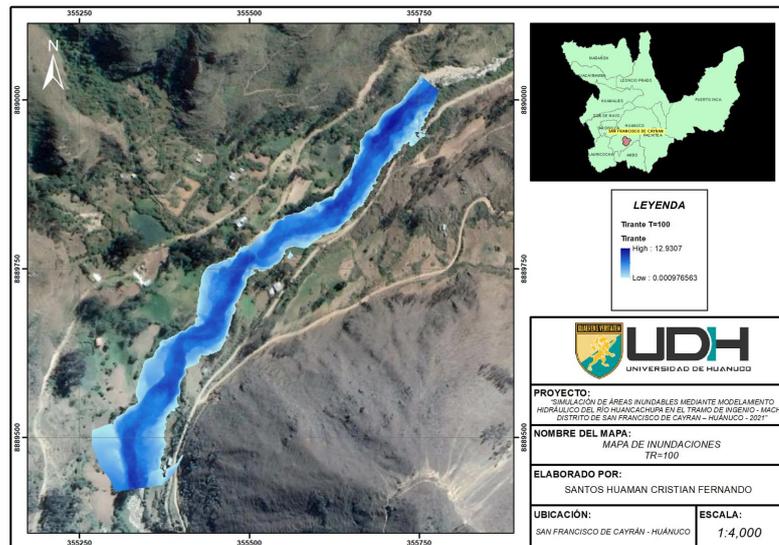
Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

La Figura N°34, presenta las zonas de inundación que se obtuvieron a partir de la simulación en el software HEC-RAS, para el periodo de retorno de 50 años con su respectivo caudal que se obtuvo en la Tabla N°35.

**Figura N° 35**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 100 años*



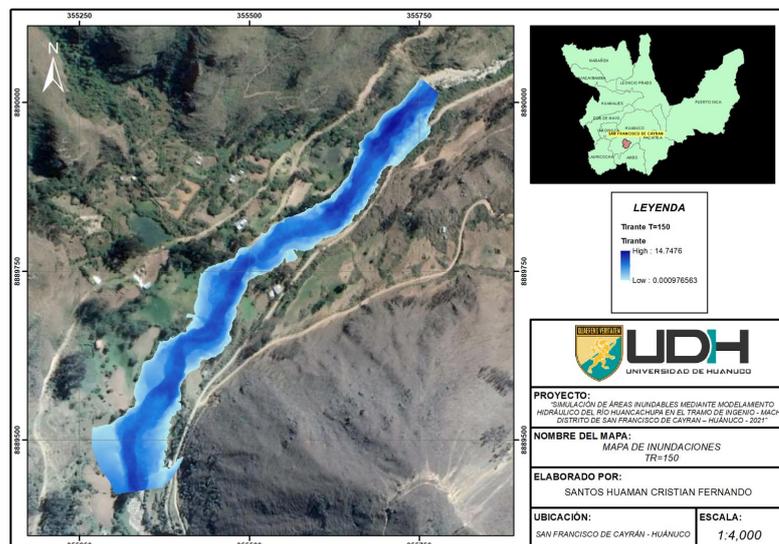
Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

La Figura N°35, presenta las zonas de inundación que se obtuvieron a partir de la simulación en el software HEC-RAS, para el periodo de retorno de 100 años con su respectivo caudal que se obtuvo en la Tabla N°35.

**Figura N° 36**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 150 años*



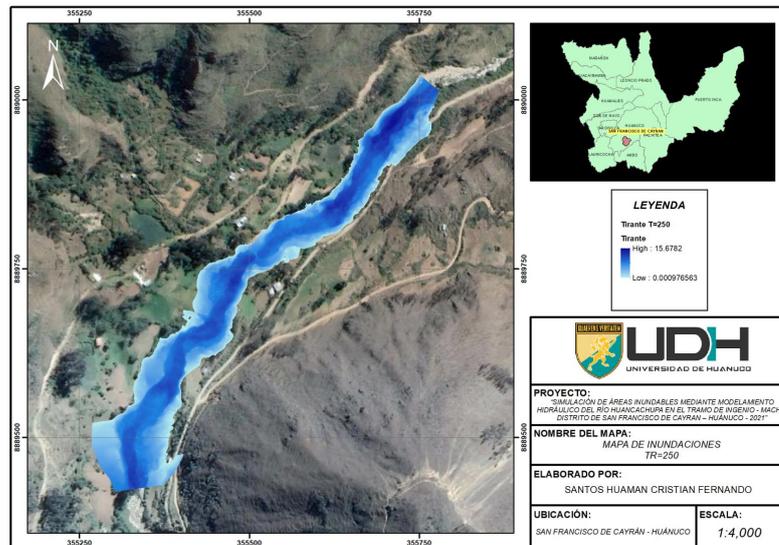
Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

La Figura N°36, presenta las zonas de inundación que se obtuvieron a partir de la simulación en el software HEC-RAS, para el periodo de retorno de 150 años con su respectivo caudal que se obtuvo en la Tabla N°35.

**Figura N° 37**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 250 años*



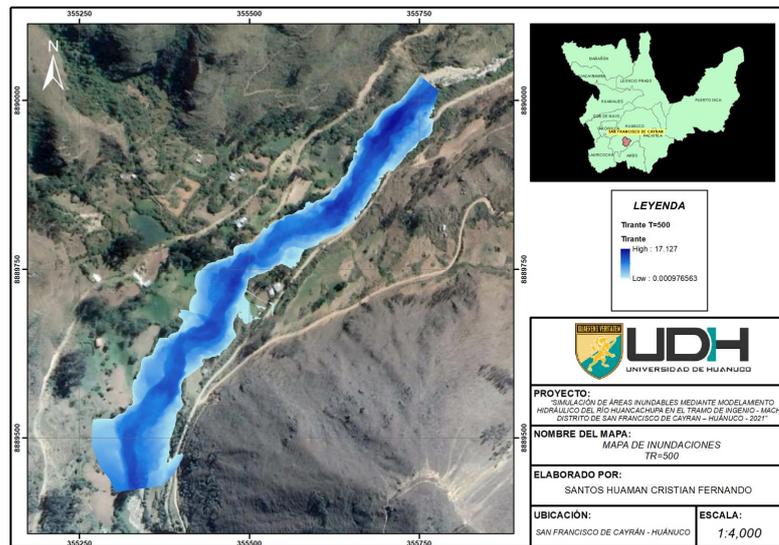
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°37, presenta las zonas de inundación que se obtuvieron a partir de la simulación en el software HEC-RAS, para el periodo de retorno de 250 años con su respectivo caudal que se obtuvo en la Tabla N°35.

**Figura N° 38**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 500 años*



Fuente: Elaboración propia

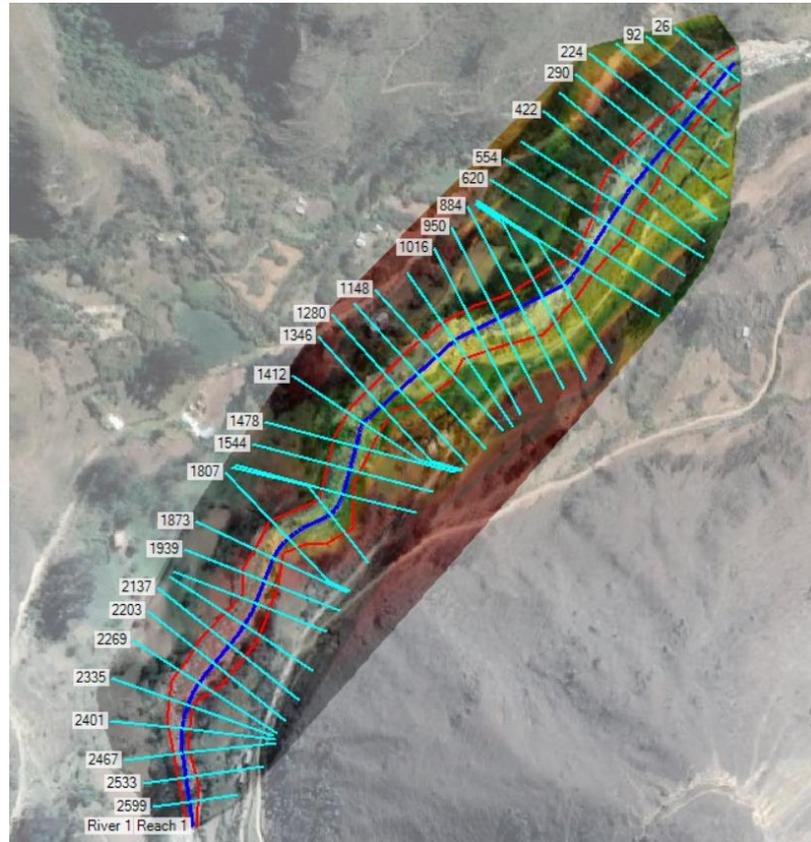
**Interpretación:**

La Figura N°38, presenta las zonas de inundación que se obtuvieron a partir de la simulación en el software HEC-RAS, para el periodo de retorno de 500 años con su respectivo caudal que se obtuvo en la Tabla N°35.

A partir de las simulaciones en diferentes periodos de retorno se puede obtener los perfiles para la identificación de las zonas más vulnerables al efecto de inundaciones por precipitaciones anómalas, las secciones se pueden identificar de la siguiente manera:

**Figura N° 39**

*Mapa de inundaciones para un periodo de retorno de 500 años*



Fuente: Elaboración propia

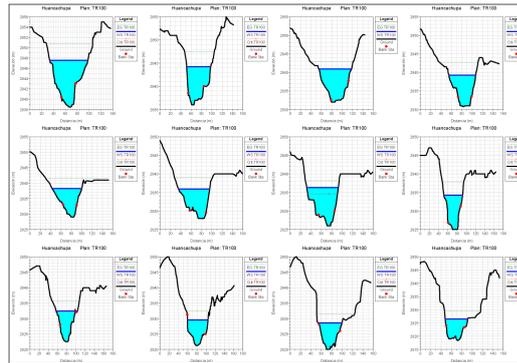
**Interpretación:**

La Figura N°39, presenta las secciones que se pudieron modelar en el software HEC-RAS, de los perfiles enumerados.

De los cuales se pueden realizar los perfiles de inundación para los diferentes periodos de retorno, como se muestran en las siguientes figuras:

**Figura N° 40**

*Perfiles de flujo para un periodo de retorno de 100 años*



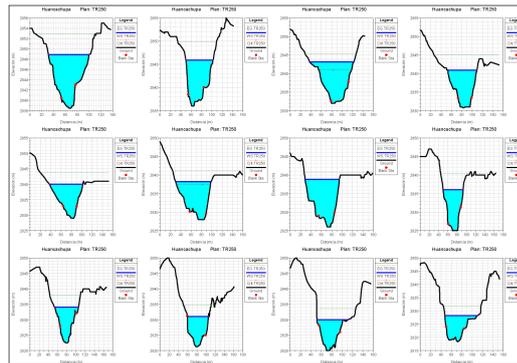
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°40, perfiles de inundación en una simulación en el software HEC-RAS con un periodo de retorno de 100 años.

**Figura N° 41**

*Perfiles de flujo para un periodo de retorno de 250 años*



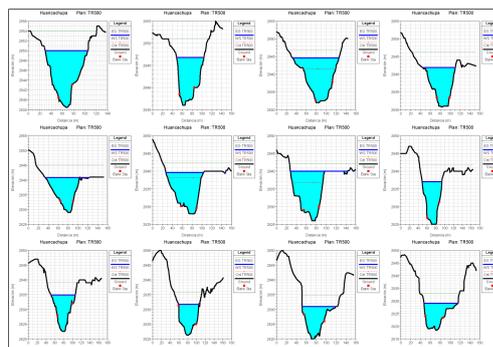
Fuente: Elaboración propia

**Interpretación:**

La Figura N°41, perfiles de inundación en una simulación en el software HEC-RAS con un periodo de retorno de 250 años.

**Figura N° 42**

*Perfiles de flujo para un periodo de retorno de 500 años*



Fuente: Elaboración propia

### **Interpretación:**

La Figura N°42, perfiles de inundación en una simulación en el software HEC-RAS con un periodo de retorno de 500 años.

De los perfiles de flujo se identifican los tramos más críticos para inundación en la zona debido a efectos del río Huancachupa (los perfiles de las secciones se encuentran en los anexos para todos los periodos de retorno de análisis).

Los resultados obtenidos para la identificación de zonas con alta vulnerabilidad en la zona del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, distrito de San Francisco de Cayran – Huánuco, han sido completados de manera satisfactoria y se procederá a la contrastación de hipótesis.

## **4.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS**

**H<sub>1</sub>:** La evaluación del comportamiento hidráulico e hidrológico por medio de la simulación hidráulica permitirá identificar las áreas de inundación del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco 2021.

Inicialmente la investigación se centró en obtener una caracterización de la micro cuenca a la cual pertenece en río Huancachupa el cual arrojó los valores de la Tabla N°14 en ella se pudieron determinar los valores del área los cuales rondan alrededor de los 106 km<sup>2</sup> y con un perímetro de 63 km, estos valores ayudan a caracterizar mejor la forma que tiene y poder obtener así unas características geométricas los cuales se muestran en la Tabla N°18 en ella pues podemos identificar que el factor de forma adquiere un valor de 0.56 este valor pues nos da indicios de cómo será el escurrimiento dentro de la cuenca que se está caracterizando. Una vez determinado eso pues se procede a identificar el tipo de terreno en se tiene y cuál es el uso que se le da los cuales se muestran en las Figuras N°19-20. Una vez concluida la caracterización de la cuenca, se procedió a recolectar información pluviométrica de las estaciones con las que cuenta la región obteniéndose así una comparativa de consistencia visual de los datos los cuales se mostraron

en la Figura N°24 de la cual se determinó que la estación más adecuada para la proyección de caudales es la estación Huánuco, la cual presentó un menor nivel de quiebre y se encontró en un volumen de precipitación aceptable con el cual trabajar. Determinada la estación más óptima se procedió a determinar los valores de caudales para los diferentes periodos de retorno de interés los cuales fueron obtenidos mediante pruebas de ajuste y de consistencia, dichos valores son presentados en la Tabla N°34 a partir de dichos valores se usó un factor de mayoraje el cual hace generar una mayor seguridad para la investigación, estos valores se presentaron en la Tabla N°35. Finalmente, una vez obtenidos los valores de estimación para caudales de diseño en diferentes periodos de retorno se procedió a realizar los modelos de simulación para inundaciones los cuales son presentados en las Figuras N°33-38, identificando así las zonas de inundación para la zona y cuáles son los puntos críticos para la investigación, de la misma simulación se pudieron extraer los perfiles para las diferentes secciones del río.

Presentado los resultados se puede decir que la hipótesis fue validada ya que la investigación logró con éxito evaluar el comportamiento hidráulico a partir de las vistas en secciones del río los cuales fueron obtenidos de la simulación en el software HEC-RAS identificación así en las Figuras N°33-38 las zonas de inundación causadas por el río Huancachupa.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Esta investigación se realizó con la finalidad de determinar áreas con gran potencial de inundación a causa del desborde del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco, para ellos se realizó la recolección de información geoespacial y datos pluviométricos con un grado de validez importante para la obtención de resultados confiables y apegados a la realidad, todos los datos tienen una relación significativa entre sí para la simulación adecuada y poder obtener mapas con identificaciones de inundaciones en las zonas altamente comprometidas.

Dado el caso de la Figura N°17 ahí se observa la delimitación que se obtiene para la micro cuenca que contiene al río Huancachupa, de ella se obtuvieron los valores geomorfológicos para una adecuada aplicación de la escurrimiento y cuál es el volumen de agua que no será mitigada por el terreno y que incrementará el caudal generando así una inundación por la poca capacidad de contención de agua para el tramo del río Huancachupa.

De la Tabla N°21, se determina que la estación más idónea es la estación Huánuco y con estos valores se plantean los estadísticos para la determinación de la distribución más adecuada para la serie de datos, la cual se presenta en la Tabla N°26 a partir de una prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov se obtuvo que la distribución más adecuada para la serie de datos es la del Logaritmo Normal con 2 parámetros, esta información está relacionada directamente con el cálculo de intensidades máximas.

De las Tablas N°29 y N°32 mediante las metodologías de Frederich Bell y las de Dyck y Peschke se determinan las intensidades para diferentes periodos de retorno y con una duración de intensidad determinada, estos valores pueden también ser interpretados a partir de las curvas IDF que se presentan en las Figuras N°30 y N°31 para ver el comportamiento que tienen las intensidades en diferentes duraciones.

En la Tabla N°34 se logra obtener los valores de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, para los cuales se plantearon 3 diferentes metodologías y se escogió el que se encuentra entre los valores medios



debido a la confiabilidad de los valores, de ello en la Tabla N°35 se calculan los cálculos de diseño con un factor de mayorero para tener un margen de seguridad al momento de calcular las áreas de inundación.

Desde la Figura N°33 hasta la N°38 se obtienen las simulaciones en el software HEC-RAS para diferentes periodos de retorno, en el cual se puede identificar las áreas de vulnerabilidad por el desborde del río, de las cuales se identifican que las zonas de alta inundación so de áreas de cultivo en la zona, se observa que el tramo de investigación no presenta zonas urbanas densas. De ellas se pueden obtener la Figura N°41 al N°42 se ven los perfiles de inundación que se obtienen para diferentes periodos de retorno.

## CONCLUSIONES

Se logra hacer la caracterización de la microcuenca a la cual pertenece el río Huancachupa a partir de imágenes DEM que contengan el área de estudio, las imágenes pueden ser obtenidas de servidores internacionales para una mejor modelación de la microcuenca.

Se puede obtener los valores de parámetros geomorfológicos para la microcuenca a partir de herramientas automatizadas del software ArcGIS para hacer uso de ellas en los cálculos del cálculo de caudales máximos y determinar la geografía de la zona.

Los caudales de diseño para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 150, 250, 500 y 1000 años son 1320.836, 1834.076, 2112.530, 2294.751, 2546.788, 2933.605 y 3379.185 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Para los periodos de retorno con sus caudales respectivos se simulan en el software HEC-RAS de las cuales se pudo identificar que las zonas afectadas son directamente zonas de cultivo en la zona ya que no se presenta una densidad poblacional alta como se muestra en las imágenes satelitales.

Los niveles de inundación no son demasiados altos esto debido a que la topografía de la zona es muy accidentada la cual evita que el agua desborde de manera accidental, sin embargo, esto no quiere decir que no tenga una inundación considerable, por el contrario, estas zonas que se inundan incluyen vías de comunicación para los pequeños centros poblados dispersos que se formaron en la zona.

## RECOMENDACIONES

Se tiene que tomar en cuenta que la zona de estudio al ser definido como una microcuenca que en su mayoría las imágenes satelitales no serán altamente definidas ya que las visualizaciones DEM son más generales.

Las herramientas del software ArcMap para hidrología son de gran ayuda para determinar las características de área, perímetro, altura, entre otros, estas herramientas tienen que ser utilizadas con los conceptos previos para la caracterización hidrológica para lograr una correcta interpretación de los datos obtenidos del software.

Previamente a calcular los caudales de diseño se tiene que identificar los métodos más adecuados para las características de la cuenca o microcuenca de la cual se desea determinar dichos valores, si el lugar de estudio no cuenta con estaciones cercanas al ámbito, estas se pueden aproximar mediante las características que presenta la cueca y utilizar los valores de una estación que se encuentre en las mismas condiciones.

Se recomienda tener una amplia zona de levantamiento topográfico para determinar las áreas de inundación más definidas, esta se puede tomar 100 m a cada margen de cauce de río.

Se recomienda medidas estructurales como defensas ribereñas en la zona de los márgenes de inundación, como media no estructural es plantear medias de capacitación para control de riesgo de inundaciones en las áreas de cultivo y vías de comunicación y que no afecte las actividades económicas laborales de la población cercana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, E. (2011). *civilgeeks*. Obtenido de civilgeeks: <https://civilgeeks.com/2011/09/27/conceptos-basicos-de-los-modelos-hidrologicos/>
- Aparicio, M. F. (1989). *Fundamentos de la Hidrología de superficie*. Lima: Limisa.
- Bardales, H. (2008). *Simulación hidráulica de desborde del río Huallaga*. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vasquez Cendón, E., . . . Coll, A. (2012). *Iber: Herramientas de Simulación numérica del flujos en ríos*.
- Burner, G. (2002). *HEC - RAS, river analysis system hydraulic reference manual*. Institute for water resources. Hydrologic Engineer Center (HEC).
- Cahuana, A. A., & Yugar, M. W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología*. Cochabamba - Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Casanova, M. L. (2002). *Topografía Plana*. Merida: El depósito de Ley.
- Chereque, M. W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería*. Lima: Universidad Pontificia Católica.
- Chow, V., Maidment, D. R., & W., M. L. (1994). *Hidráulica Aplicada*. Colombia: Mc GRAW HILL.
- COEN. (2019). *Inundación en el distrito de Cayran Huánuco*. PCM, Ministerios, Gobiernos Regionales y Locales. Obtenido de <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/12/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-3213-23DIC2019-INUNDACION-EN-EL-DISTRITO-DE-SAN-FRANCISCO-DE-CAYRAN-HUANUCO-1.pdf>
- Fariás, d. R. (2005). *Apuntes de Hidrología*. Lima: Universidad de Piura.
- García, P. A. (2010). *Hidráulica Fluvial, Morfología Fluvial Erosión y Transporte sólido*. *Ley de Propiedad Intelectual*, 3.
- Hernández, S. R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México.
- INDECI. (2016). *Fenómeno el niño periodo 1997-98*. INDECI.

- Jimenez, J. S. (27 de Noviembre de 2016). *Clasificacion de rios segun su edad*. Obtenido de Hidraulica Facil: <https://www.hidraulicafacil.com/2016/11/clasificacion-de-rios-segun-su-edad.html>
- Juela, O. (2011). *Estudio hidraulico y balance hidrico de la cuenca alta del rio Catamayo hasta la estacion Arenal en el sitio el Boqueron*. Ecuador: Universidad Nacional de Loja Loja.
- Lazaro, N. J. (2020). *Análisis de riesgo de desastres originados por los fenomenos hidrometereológicos a fin de reducir la vulnerabilidad frente a la inundación del río Huallaga en el poblado de Colpa Alta, distrito de Amarilis - Huánuco*. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan.
- López, C. J. (2014). *SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DE LA CUENCA BAJA DEL RIO HIGUERAS – HUÁNUCO*. Huánuco - Perú: Universidad de Huánuco.
- Maza, A. J. (1995). *Manual de Ingenieria de Rios "Origen y Propiedad de los Sedimentos"*. Mexico: Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Mejia, M. J. (2012). *Hidrologia Aplicada*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2011). *Manual de Hidrologia, Hidraulica y Drenaje*. Lima - Perú.
- Monsalve, G. (2011). *Hidrologia en la Ingenieria*. Santa fé de Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Navarra. (2009). *Inundabilidad y restauracion en Navarra*. Navarra: Navarra.
- Norma Tecnica de Edificaciones OS 060. (s.f.). *Drenaje Pluvial Urbano*. Perú.
- Pachas, L. R. (2009). El levantamiento topografico: uso del GPS y estacion total. *ACADEMIA*, 30.
- Palomino, G. (2004). *Zonificacion de areas inundables utilizando sistemas de informacion geografica, Aplicada al tramo final del rio Chillón*. Lima - Perú: Tesis UNI.
- Rivano, F. (2004). *Analisis de eventos extremos de precipitacion y su efecto en el diseño de drenaje superficial de tierras agricolas del sur de Chile*. Valdivia - Chile: Tesis Universidad Austral de Chile.
- Rocha Felices, A. (1998). *Introduccion a la Hidraulica Fluvial*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.

- Rocha, F. A. (2003). La Bocatoma, estructura clave en un proyecto de aprovechamiento hidraulico. *Ingenieria Civil*, 9.
- Schumm, S. (1963). *Sinuosidad de ríos aluviales en las Grandes Llanuras*. SENAMHI. (s.f.). Obtenido de SENAMHI.
- Torres, N. A., & Villate, B. E. (2001). *Topografía*. Bogota: Pearson Educacion de Colombia.
- Vide, J. P. (2004). *Ingenieria de Rios*. Cardenas Tabasco: Alfaomega Grupo.
- Villon, B. M. (2011). *HEC - RAS*. Lima: MaxSoft.
- Villón, B. M. (2011). *Hidrologia*. Lima: Villon.
- Villón, M. (2006). *Hidrologia estadística*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

## **ANEXOS**

**Tabla N° 36**

*Matriz de consistencia*

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Problema General:</b> ¿Cuáles son las zonas de inundación y el comportamiento hidráulico e hidrológico por medio del software de modelamiento HEC-RAS del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran, Huánuco - 2021?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b> ¿Cuál es el método de ajuste adecuado para manejar los datos de precipitación para identificar las zonas de inundación?</p> <p>¿Cuáles son los niveles máximos para los caudales de diseño para los periodos de retorno 110, 50, 100, 150, 250, 500 y 1000 años, para la simulación en el software HEC-RAS?</p> <p>¿Cuál es el correcto manejo del software HEC-RAS con los sistemas de georreferenciación para la determinación de las zonas de riesgo?</p> <p>¿Cuáles son las zonas vulnerables a inundaciones presentes en el río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Identificar las zonas de inundación y el comportamiento hidráulico e hidrológico por medio del software de modelamiento HEC-RAS del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran, Huánuco - 2021.</p> <p><b>Objetivo Específicos:</b> Proponer método de ajuste adecuado para manejar los datos de precipitación para identificar las zonas de inundación.</p> <p>Obtener los niveles máximos para los caudales de diseño para los periodos de retorno 10, 50, 100, 150, 250, 500 y 1000 años, para la simulación en el software HEC-RAS.</p> <p>Proponer el adecuado manejo del software HEC-RAS con los sistemas de georreferenciación y datos de topografía para la simulación de zonas de riesgo.</p> <p>Identificar las zonas de vulnerables a inundaciones en el río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, en el distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> La evaluación del comportamiento hidráulico e hidrológico por medio de la simulación hidráulica permitirá identificar las áreas de inundación del río Huancachupa en el tramo de Ingenio - Macha, distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco 2021.</p>	<p><b>Técnicas e instrumentos:</b> <b>Técnicas:</b> Los datos se procesarán de una manera digital utilizando los programas de Microsoft office como el Word, Excel, etc. Modelamiento hidráulico de río Huancachupa con el programa HEC-RAS.</p> <p><b>Instrumentos:</b> Fichas personalizadas. Métodos estadísticos. Técnicas de procesamiento de datos:</p>

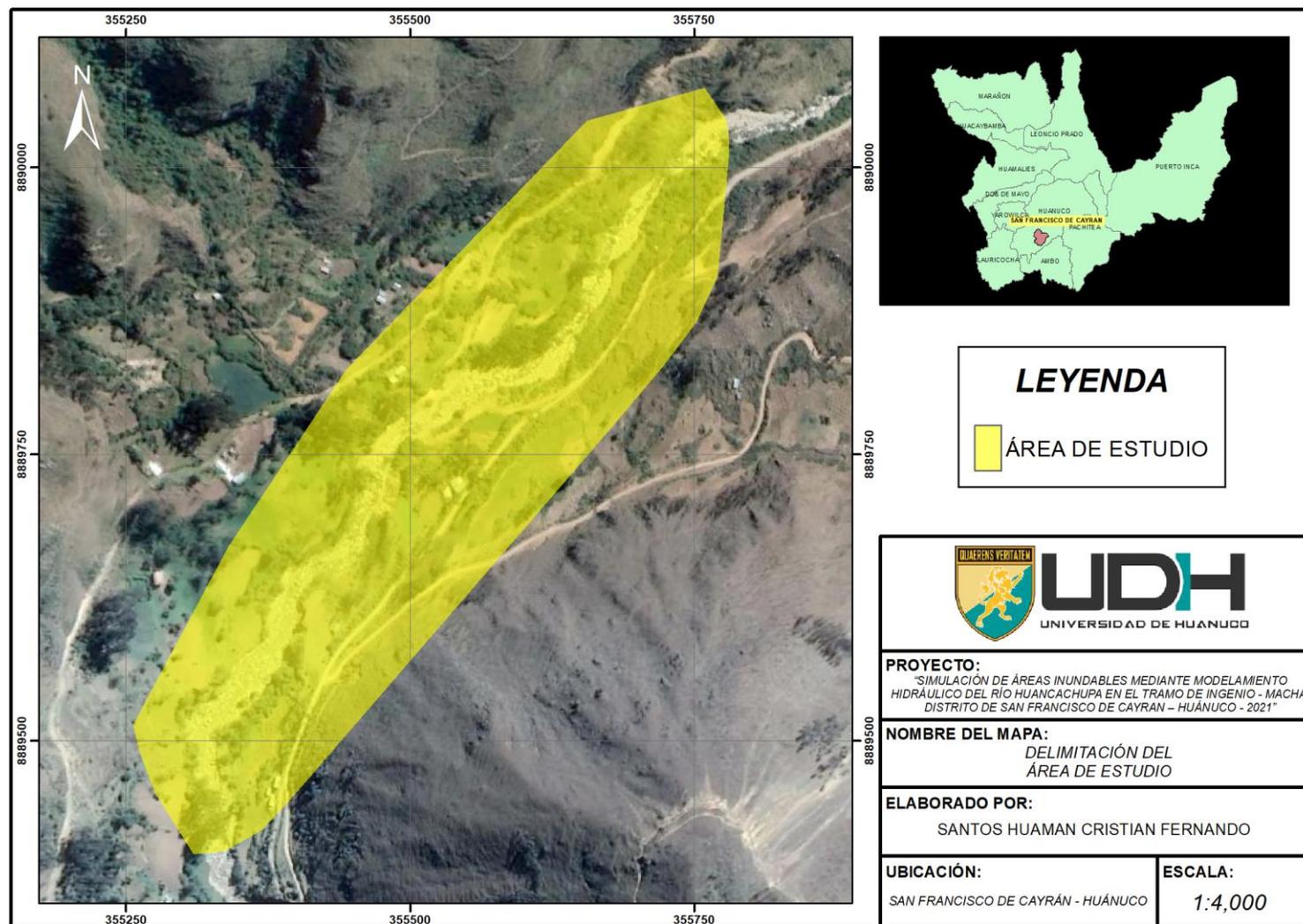


DISEÑO DE INVESTIGACION	POBLACIÓN Y MUESTRA	VARIABLES
<b>Tipo de Investigación:</b> Cuantitativo.	<b>Población:</b>	<b>Variable independiente:</b>
<b>Alcance de Investigación:</b> Descriptivo.	Teniendo en cuenta el objeto de estudio, la población de la investigación se encontrará en el distrito de San Francisco de Cayran – Provincia de Huánuco – Departamento Huánuco.	Comportamiento hidráulico e hidrológico.
<b>Diseño:</b> No Experimental.	<b>Muestra:</b> La muestra de trabajo de Investigación es el tramo de Ingenio – Macha del río Huancachupa, que comprende 2 km. aproximadamente de río estudiado.	<b>Variable dependiente:</b> Áreas de inundación.

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 43**

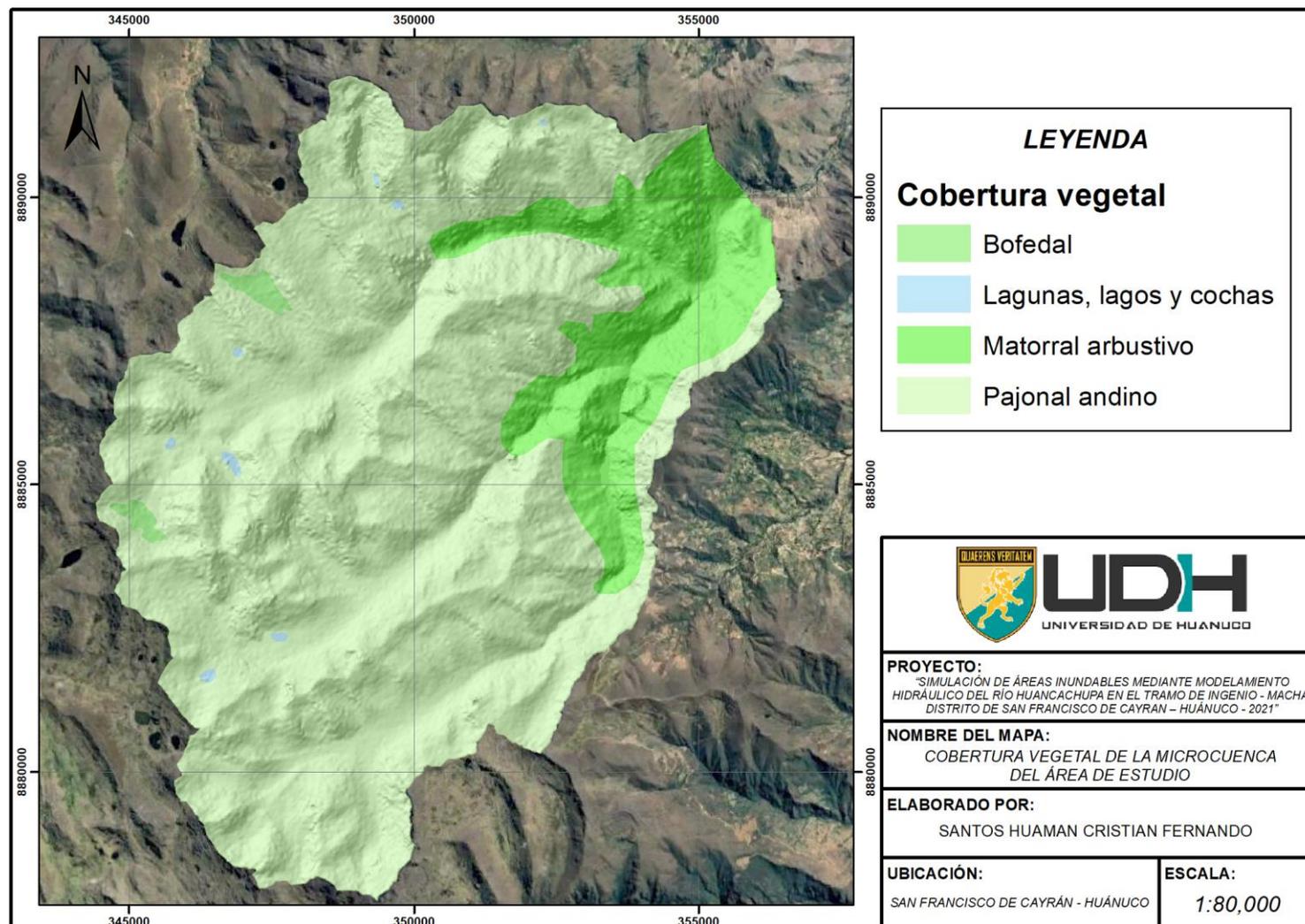
Área de estudio de investigación



Fuente: Elaboración propia

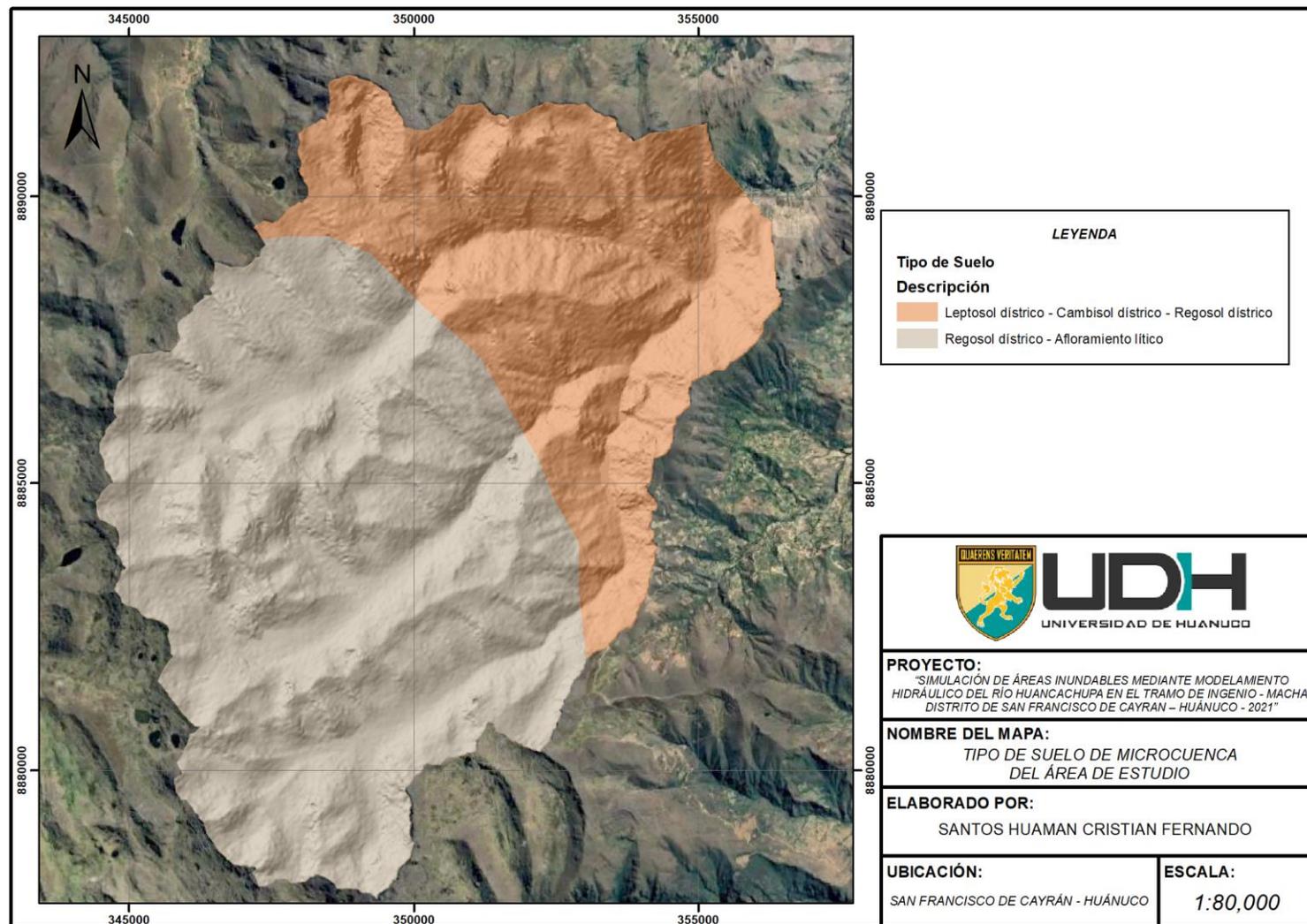
Figura N° 44

Mapa Cobertura Vegetal



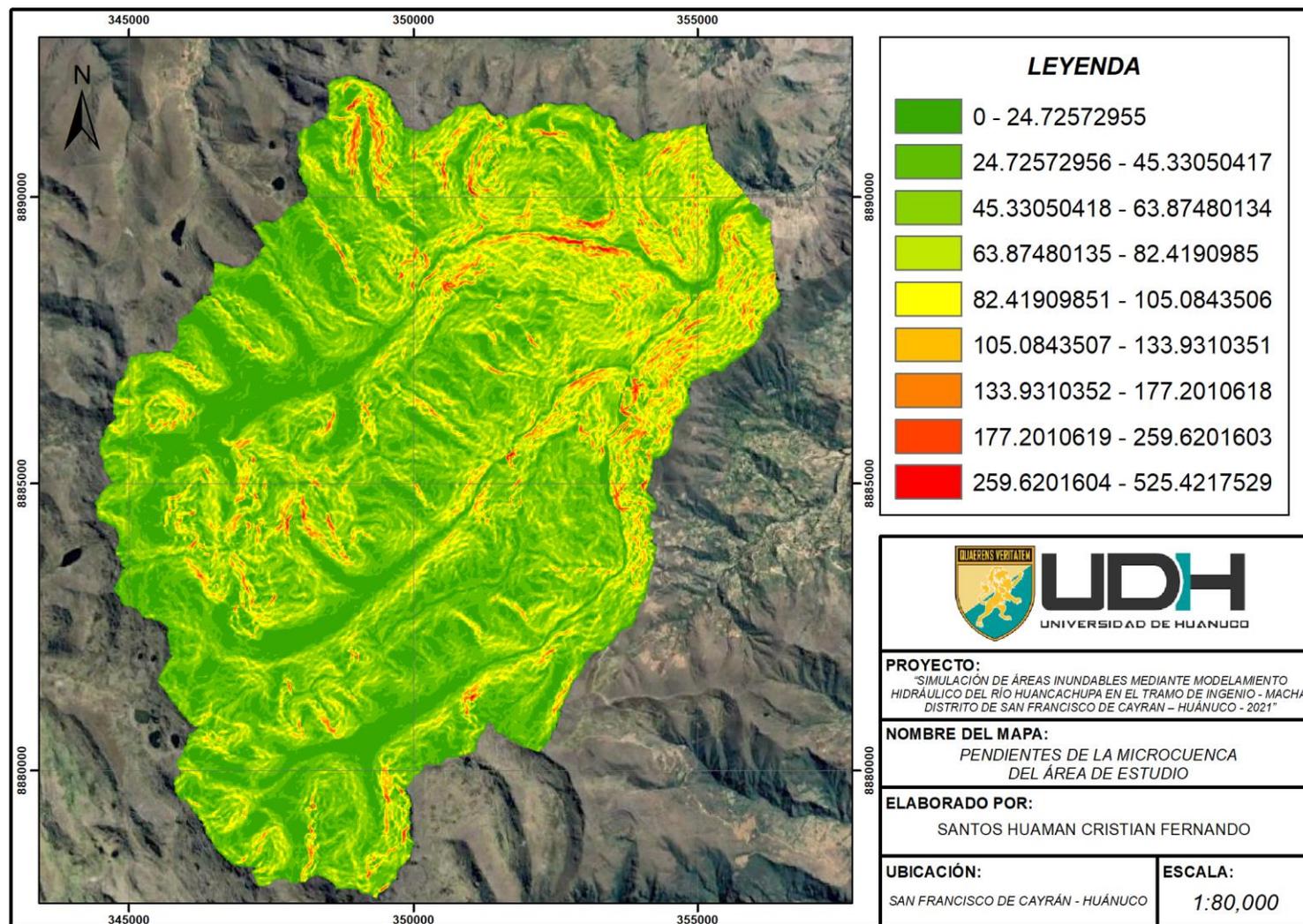
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 45**  
*Mapa Tipo de Suelo*



Fuente: Elaboración propia

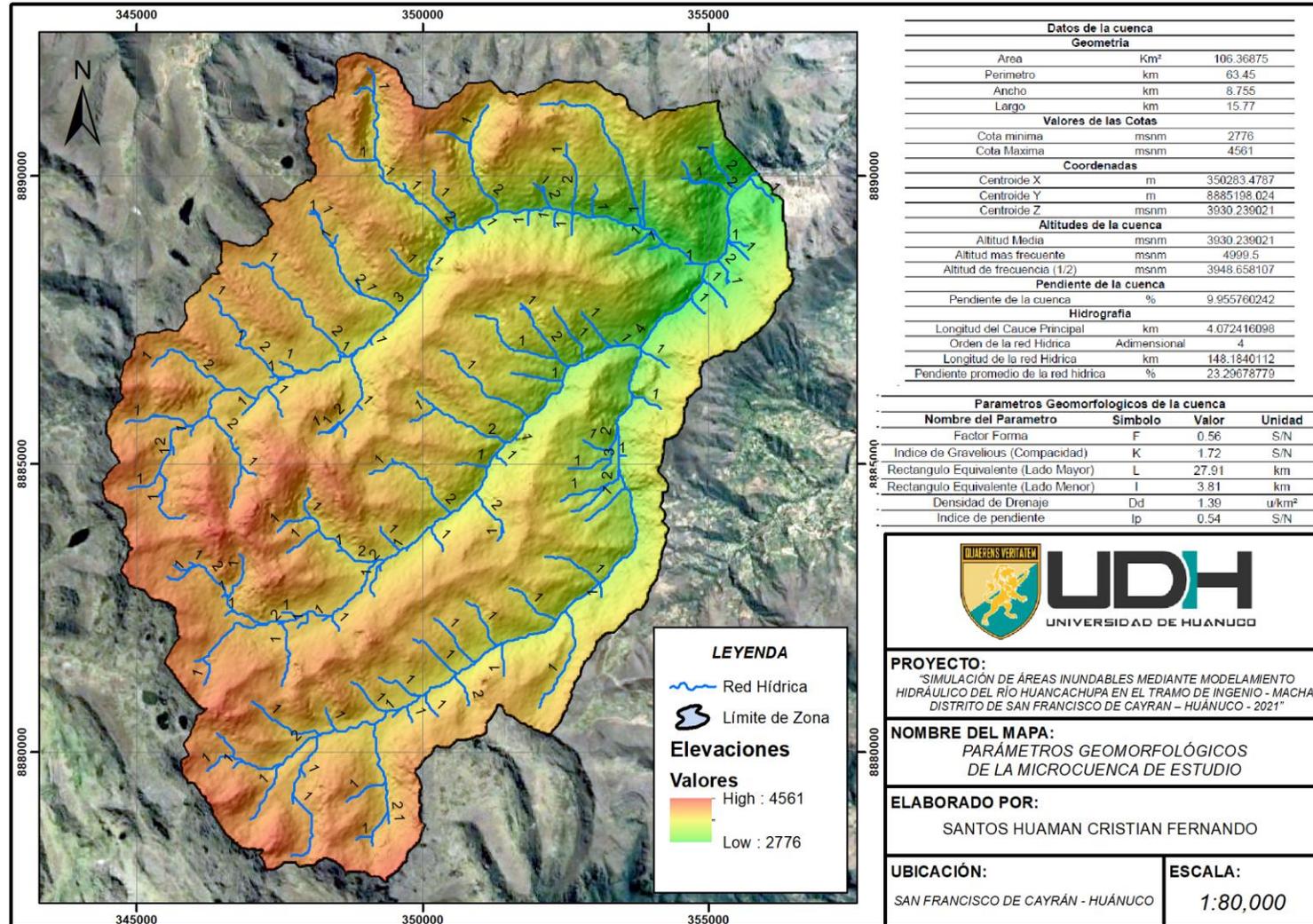
**Figura N° 46**  
*Mapa Pendientes*



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 47

Mapa Geomorfológico



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 37**

*Datos físicos microcuenca*

<b>Datos de la microcuenca</b>			
<b>Geometría</b>			
Área	Km <sup>2</sup>	106.36875	
Perímetro	km	63.45	
Ancho	km	8.755	
Largo	km	15.77	
<b>Valores de las Cotas</b>			
Cota mínima	msnm	2776	
Cota Máxima	msnm	4561	
<b>Coordenadas</b>			
Centroide X	m	350283.4787	
Centroide Y	m	8885198.024	
Centroide Z	msnm	3930.239021	
<b>Altitudes de la cuenca</b>			
Altitud Media	msnm	3930.239021	
Altitud más frecuente	msnm	4999.5	
Altitud de frecuencia (1/2)	msnm	3948.658107	
<b>Pendiente de la cuenca</b>			
Pendiente de la cuenca	%	9.955760242	
<b>Hidrografía</b>			
Longitud del Cauce Principal	km	4.072416098	
Orden de la red Hídrica	Adimensional	4	
Longitud de la red Hídrica	km	148.1840112	
Pendiente promedio de la red hídrica	%	23.29678779	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 38**

*Hidrográfica de la microcuenca*

<b>Hidrografía de la microcuenca</b>					
<b>Orden</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Longitud (Km)</b>	<b>Coincidencias (A)</b>	<b>Pendiente prom (B)</b>	<b>A*B</b>
1	160	74.26	5984	29.803	178339.46
2	30	38.12	3062	17.764	54393.15
3	4	31.73	2627	15.519	40768.77
4	1	4.07	328	18.547	6083.36
Longitud Total		148.18	12001		279584.75
<b>Pendiente promedio</b>				23.29678779	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 39

Pendiente microcuenca

PENDIENTE DE LA MICROCUENCA				
Pendientes		Promedio (A)	Ocurrencia (B)	A * B
Min	Max			
0	10	5	385172	1925860
10	20	15	264194	3962910
20	30	25	29115	727875
30	40	35	3710	129850
40	50	45	780	35100
50	60	55	205	11275
60	70	65	106	6890
70	80	75	23	1725
80	90	85	11	935
90	100	95	6	570
<b>Total</b>			683322	6802990
<b>Pendiente promedio de la Cuenca</b>			9.96	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 40

Datos polígonos de frecuencia

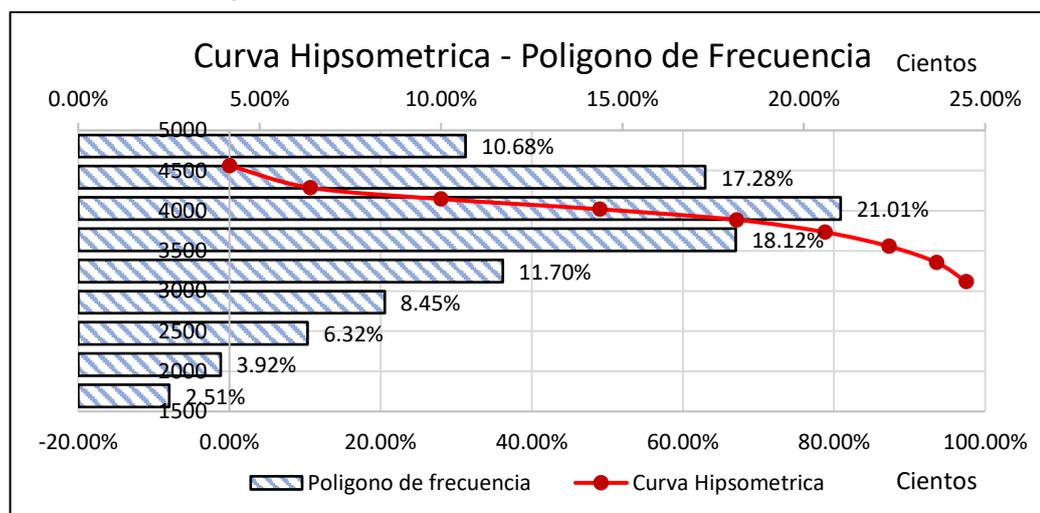
Min	Max	Promedio	Areas (Km <sup>2</sup> )	Área Acumulada	Área Sobre la Curva	Areas en %	Área Sobre la Curva (%)
2776	3118	2947	2.68	2.68	104.09	2.51	97.49
3118	3355	3236.5	4.19	6.87	99.90	3.92	93.57
3355	3557	3456	6.75	13.62	93.15	6.32	87.25
3557	3733	3645	9.02	22.63	84.14	8.45	78.80
3733	3887	3810	12.50	35.13	52.29	11.70	67.10
3887	4019	3953	19.35	54.48	52.29	18.12	48.97
4019	4146	4082.5	22.44	76.92	29.85	21.01	27.96
4146	4288	4217	18.45	95.37	11.40	17.28	10.68
4288	4561	4424.5	11.40	106.77	0.00	10.68	0.00
			106.7693			100	

Fuente: Elaboración Propia



**Figura N° 48**

*Polígono de frecuencia*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 41**

*Parámetros geomorfológicos*

<b>Parámetros Geomorfológicos de la microcuenca</b>				
<b>Nombre del Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	
Factor Forma	F	0.56	S/N	
Índice de Gravelious (Compacidad)	K	1.72	S/N	
Rectángulo Equivalente (Lado Mayor)	L	27.91	km	
Rectángulo Equivalente (Lado Menor)	I	3.81	km	
Densidad de Drenaje	Dd	1.39	u/km <sup>2</sup>	
Índice de pendiente	Ip	0.54	S/N	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 42**

*Precipitaciones Estación Canchan*

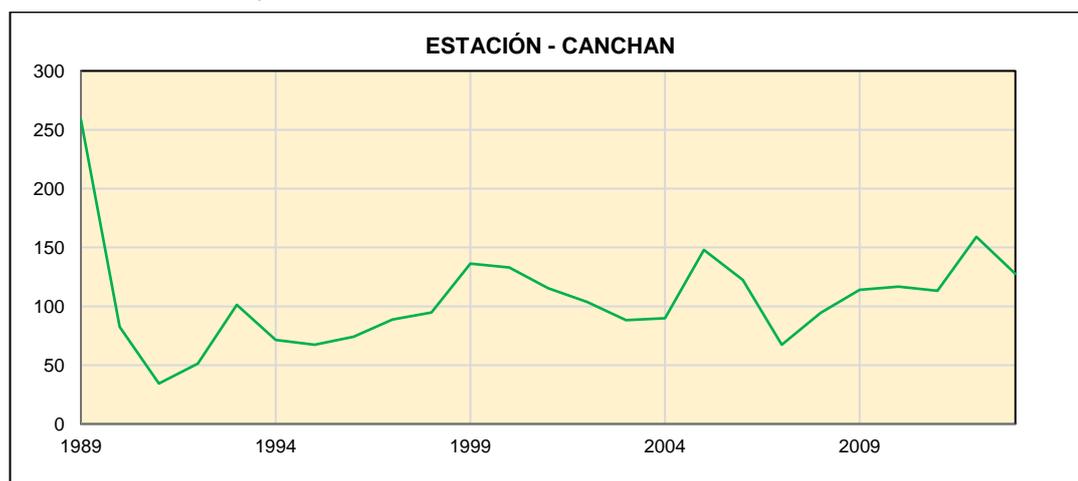
<b>ESTACIÓN - CANCHAN</b>														
<b>AÑO</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>	<b>TOTAL</b>	<b>MÁXIMO</b>
1989	79.4	61.5	82.59	22.1	10.6	8.3	9.6	0	15.89	46.7	23.39	258.6	618.67	258.6
1990	64.9	23.39	13.5	35.4	34.5	19.79	0.2	2.7	10.1	76.5	82.59	50.7	414.27	82.59
1991	15.3	28.5	0	18.89	5	14.8	0	0	19.7	34.4	32.59	33.4	202.58	34.4
1992	19.7	33.09	49.9	15.5	3	8.39	1	33.9	7	27.1	32.5	51.4	282.48	51.4
1993	24.89	56.2	101.3	42.5	39.79	5.19	1	2.09	33.29	46.59	90.59	86.8	530.23	101.3
1994	71.4	67.3	52.59	50.29	16.7	1.29	1.2	0	22.1	47.9	26.79	65	422.56	71.4
1995	58.59	60.79	67.4	24.79	8	2.79	0	0	14.89	16.1	21	47.4	321.75	67.4
1996	51.09	31	42.5	74.09	13.8	0	1.6	1.5	7.3	18.39	50.7	27.2	319.17	74.09
1997	88.69	50.09	30.1	17.1	12.3	10.5	0	15.8	8.89	29.2	27.7	55.59	345.96	88.69
1998	94.69	67.19	63.59	10.69	3.29	1.2	0	0.5	11.1	16.29	64.5	50.9	383.94	94.69
1999	83	94.19	136.3	20.89	8.5	4.4	5.19	1.5	23.6	16.5	44.9	75.69	514.66	136.3
2000	79.3	81.69	132.89	14.19	4.59	17.6	9	22.1	12.39	26.39	31	83.59	514.73	132.89
2001	115.4	43.5	94.8	38.2	11.39	3	14.19	5.09	12.69	52.79	87.59	70.4	549.04	115.4

2002	18.7	58.4	103.8	46.5	20.7	1.7	25.29	7.3	12.1	65.3	35.29	39.2	434.28	103.8
2003	50.09	42.4	86.19	31.7	13	0	0	9.69	20.6	43.79	62.59	88.19	448.24	88.19
2004	29.6	60.7	89.9	18.2	31.7	11.39	8.6	17.79	19.7	51.7	22.1	87.69	449.07	89.9
2005	77.59	69.9	105	14.6	1	0	6.59	20.39	11	47.29	28.79	147.8	529.95	147.8
2006	122.5	57.9	99.59	33.79	5.69	10.3	1	1.39	17	85.69	69.09	88.9	592.84	122.5
2007	45	4.4	64	22.6	20.1	0	4.59	3	5.8	67.3	49.4	67.09	353.28	67.3
2008	74	94.4	78.59	48.2	5.8	1.89	2.09	3.59	32	37.7	43.79	73.69	495.74	94.4
2009	114	96.9	93.3	71	6	16.1	12.6	1.6	10.1	41	50.09	95.8	608.49	114
2010	26.39	116.59	86.8	29.89	8.1	0	2.4	5.3	20.7	39.09	69.59	65.8	470.65	116.59
2011	80.5	65.9	107.4	31.39	25.2	0	2.4	3.5	9.3	88.8	48.09	113.19	575.67	113.19
2012	78.8	83.69	27.89	58.9	10.3	3.4	6.3	4.8	4	66.3	84.5	159	587.88	159
2013	64.19	98.8	127.69	49.59	5.69	27.1	13.39	27.6	4.59	41.7	56	76.69	593.03	127.69

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 49**

*Precipitaciones máximas Estación Canchan*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 43**

*Precipitaciones Estación Huánuco*

ESTACIÓN - HUÁNUCO														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO
1989	56.79	43.79	98.19	20.79	14.8	11.5	0	2.5	12	67.9	41.29	59.09	428.64	98.19
1990	45.79	13.5	34.7	52.2	32.59	15.1	1.5	7.09	10.89	86.8	77	59.2	436.36	86.8
1991	25.7	44.29	93.4	29.1	3	10.1	4.8	0	8.5	33.4	40.2	39.59	332.08	93.4
1992	43.09	88.69	66.19	20.6	0	14.39	0	37.2	4	97.4	37.4	21.6	430.56	97.4
1993	18.1	40.9	76.8	25.89	16.79	12.3	6.09	6.3	8	17.2	97.3	50.09	375.76	97.3
1994	81.19	57.5	41.29	57.59	23.39	0	0	0	32.7	64.4	20.39	41	419.45	81.19
1995	38.7	50.4	50.29	26	3.59	1.39	1.2	0.4	7.19	23.2	48.79	59	310.15	59
1996	59.5	33.09	41.7	69.3	23	0	0.1	5.3	2.29	23.6	57.79	15.69	331.36	69.3
1997	54.59	41.59	26.5	15.1	9.6	2.2	0	9.6	7.59	29.79	41.5	47.29	285.35	54.59
1998	93.5	63	66.9	3.09	2.79	2.09	0	2.79	3.79	29.29	64.5	34	365.74	93.5

1999	81.69	88.5	109.3	22.29	18.39	15.1	8.6	0.6	57.59	20.79	33.79	58.2	514.84	109.3
2000	68.19	89.59	148.1	30.29	10.1	16	3.59	17.1	11.89	9.5	61	77.19	542.54	148.1
2001	45.2	36.2	85.19	46.2	10.39	3.29	8.39	10.19	7.4	36.9	72.69	55.79	417.83	85.19
2002	29.5	56.4	83.09	56.5	18.2	2.9	12.8	4.09	8.39	109.8	40.79	21	443.46	109.8
2003	44.7	26.89	70.5	24.6	14.3	0.3	0.1	9.39	12.6	17.1	77.3	83.09	380.87	83.09
2004	33.59	31.7	56.9	31.2	24.79	5.09	5.59	16.7	16.2	28.6	34.79	104.59	389.74	104.59
2005	32.59	45	92.69	12.6	1.39	0	2	8.6	5.8	51.5	26.29	106.9	385.36	106.9
2006	81.9	48.4	112.69	38.59	2	6.19	3.5	2.9	11.39	49.09	66.69	89.09	512.43	112.69
2007	33.9	6.9	81.59	35.79	7.8	1.89	6.69	3.9	4.4	59.2	40.59	70.3	352.95	81.59
2008	29.79	90.8	91.3	36.29	3.59	5.5	0.1	2	33.4	38	50.9	68.09	449.76	91.3
2009	68	72.5	90.8	85.9	14.19	10.3	12.3	4.4	11	44.59	40.2	59.59	513.77	90.8
2010	21.79	85.9	91.59	19	3.4	2.59	4.9	7.19	14.1	26.7	55.09	81.9	414.15	91.59
2011	76.8	64	141.6	43.9	21.1	1.89	1.89	3.7	22.6	67.69	56.59	132.3	634.06	141.6
2012	78.59	55.7	30.1	74.8	13.69	3.79	7.8	3.4	4.9	75	94.5	154.69	596.96	154.69
2013	36.2	90	92	33.59	5.69	10.69	12.5	22.1	6.59	37.79	71.3	76.09	494.54	92

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 50**

*Precipitaciones máximas Estación Huánuco*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 44**

*Precipitaciones Estación Puente Taruca*

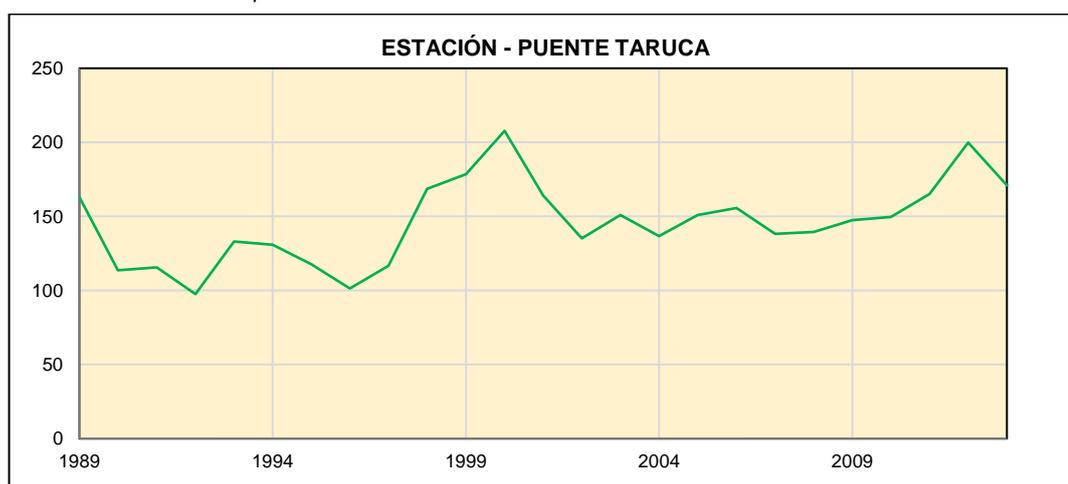
ESTACIÓN - PUENTE TARUCA														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO
1989	98.62	87.68	106.47	56.32	26.14	26.2	8.71	11.85	38.5	104.46	60.1	163	788.05	163
1990	81.88	47.96	50.99	58.38	41.45	48.99	3.76	10.08	38.11	95.85	113.75	94.54	685.74	113.75
1991	52.91	103.01	115.67	51.78	10.76	19.45	5.2	2.98	30.71	63.21	49.54	84.23	589.45	115.67
1992	45.26	96.21	79.55	30.65	16.95	36.29	4.15	52.72	30.77	97.59	55.61	96.44	642.19	97.59
1993	36.55	78.44	132.99	70.97	55.48	19.38	7.95	4.83	24.91	46.32	128.22	121.84	727.88	132.99
1994	130.96	124.95	75.32	59.66	18.64	4.43	4.01	0.79	25.74	93.62	55.31	91.31	684.74	130.96
1995	112.77	103.57	117.82	55.92	24.53	6.65	2.79	2.74	24.04	49.41	72.53	95.82	668.59	117.82
1996	92.67	87.78	84.17	101.31	32.63	6.04	6.93	11.7	24.44	50.9	83.42	53.06	635.05	101.31
1997	103.09	107.64	60.38	31.8	23.55	12.72	3.22	30.59	30.2	53.54	62.45	116.61	635.79	116.61
1998	168.6	140.33	112.79	32.39	10.19	11.23	2.12	5.78	15.66	50.19	96.71	82.64	728.63	168.6

1999	126.14	135.85	178.47	72.43	24.34	16.14	9.98	7.92	43.77	50.39	66.29	97.39	829.11	178.47
2000	109.72	125.25	207.76	47.68	14.98	24.31	24.83	41.84	26.99	45.96	63.15	122.34	854.81	207.76
2001	164.19	103.72	135.91	65.36	28.15	9.54	21.39	19.75	24.9	77.45	105.15	108.69	864.2	164.19
2002	37.43	107.78	135.22	73.06	32.13	7.39	54.33	12.65	29.38	93.13	89.36	88.26	760.12	135.22
2003	90.08	72.14	136.97	59.17	31.85	7.89	2.76	23.67	31.59	44.26	96.17	150.94	747.49	150.94
2004	42.75	95.26	112.94	24.98	50.69	21.08	16.65	37.68	43.41	93.47	53.95	136.79	729.65	136.79
2005	87.81	107.25	138.87	36.06	4.61	1.02	10.01	27.16	16.45	92.96	52.81	151.04	726.05	151.04
2006	155.63	104.97	138.55	63.38	11.03	17.74	5.38	8.73	27.74	104.6	103.91	129.05	870.71	155.63
2007	93.69	25.06	138.22	61.42	34.69	2.74	13.45	7.61	15.49	99.76	72.4	89.48	654.01	138.22
2008	107.97	139.62	112.04	83.08	18.32	10.32	4.72	10.08	55.16	60.16	66.9	115.48	783.85	139.62
2009	147.45	144.19	137.37	107.47	20.62	21.59	30.02	14.59	25.63	65.97	88.87	137.23	941	147.45
2010	52.1	149.59	139.19	49.75	15.76	5.19	14.26	9.44	34.07	65.57	99.05	103.3	737.27	149.59
2011	125.52	112.69	165.16	73.61	40.24	8.48	15.47	7.78	28.11	105	76.96	151.38	910.4	165.16
2012	131.5	137.27	72.44	119.06	23.57	13.27	17.23	9.17	16.3	100.61	122.64	199.81	962.87	199.81
2013	108.67	144.25	171	67.72	19.45	31.12	38.13	34.95	13.79	78.86	87.52	118.31	913.77	171

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 51**

*Precipitaciones máximas Estación Puente Taruca*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 45**

*Precipitaciones Estación Jacas Chico*

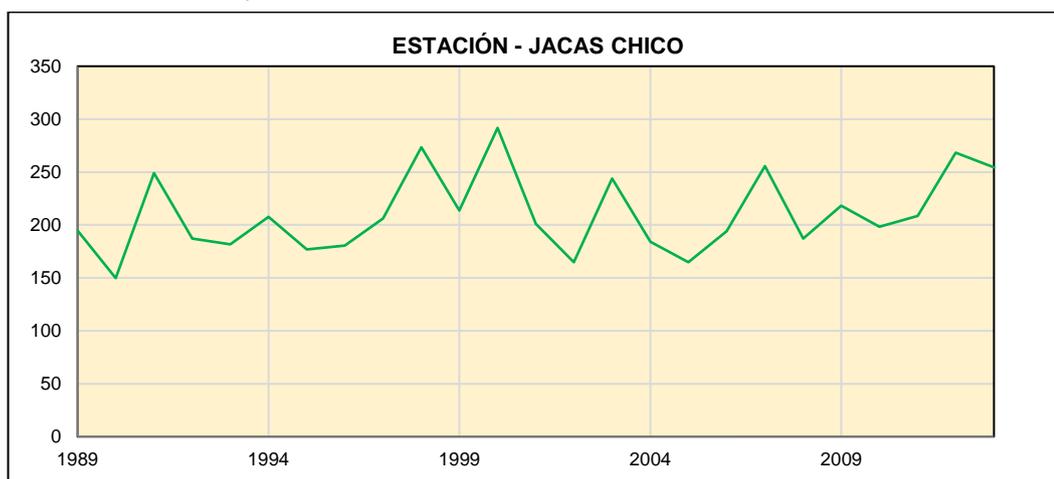
ESTACIÓN - JACAS CHICO														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	MÁXIMO
1989	118	113.59	94.5	106.8	44.7	30.39	0	31	67.69	194.8	70.69	49.79	921.95	194.8
1990	100	17.1	72.4	50.7	43	94.4	4.8	13.89	98.3	106.5	147	149.8	897.89	149.8
1991	103.3	234.19	248.89	89.09	17.7	9	1.5	5.8	53.4	96	44.09	153.39	1056.35	248.89
1992	73.9	145.3	93.5	32.59	45.7	92.9	4.09	91.19	79.69	187.19	87.19	179.19	1112.43	187.19
1993	45.09	112.19	181.6	89.59	77.3	27	0	2.9	20.29	32.59	152.5	139.1	880.15	181.6
1994	194.69	207.69	109	21.1	4.09	3.2	1.29	0	11.69	148.6	72.69	111.09	885.13	207.69
1995	162.8	143.6	177	73.3	52	8.6	0	0	28.1	87.19	117.5	156.6	1006.69	177
1996	149.5	180.5	137.89	124.09	58.2	6.9	9.8	23.1	43	92.19	128.5	86.19	1039.86	180.5
1997	126.4	182.3	86.59	59.2	20.7	15.1	2.5	49.5	57	87.69	100.4	206.19	993.57	206.19
1998	273.29	211.5	176.69	55.4	19.7	22.39	2.5	9.6	23.39	98.59	110	127.9	1130.95	273.29

1999	175.3	213.8	210.6	148.39	38.9	18.7	3.09	14	60.09	67.09	92.5	132.39	1174.85	213.8
2000	127.4	149	291.7	89.4	27.5	17.7	32.59	62.2	33.29	73.8	83.19	144.5	1132.27	291.7
2001	201.1	198.89	163.39	68	50.2	12.6	31.2	27.1	30.7	84.3	110.5	152.1	1130.08	201.1
2002	54.59	163.5	164.89	88.3	37.09	2	51.7	13.39	56.4	126.09	158.8	155.39	1072.14	164.89
2003	140.3	120.59	220.69	90.59	45	18	3.29	43.59	43	36.5	113.3	243.89	1118.74	243.89
2004	35.59	134.1	119.8	28.2	79.19	36.29	22.2	56.9	62.2	134.3	87.8	184.1	980.67	184.1
2005	81.4	164.8	160.89	53	5.19	0	10.8	10.39	16.29	132.5	71.09	155.1	861.45	164.8
2006	194.1	112.59	178.8	84.3	15	26.29	0	4.69	43.79	131.8	111	166.39	1068.75	194.1
2007	175.69	41.4	255.6	98.3	53.7	3	20.6	6.3	26.89	147.39	88.3	96.4	1013.57	255.6
2008	161.6	187.3	113.8	149.1	24.6	15.39	4.19	12	95.5	81.69	70.5	172.3	1087.97	187.3
2009	198.3	207.6	165.6	124.3	41.29	15.89	48.79	28.29	41.59	81.5	151.6	218.19	1322.94	218.19
2010	75.8	198.3	191.19	65.59	20	2.9	13.69	1.79	48	107.09	107.5	124.9	956.75	198.3
2011	174	188.19	208.69	119.8	47.09	11.6	35.29	4.9	44.7	112.9	105.59	195.3	1248.05	208.69
2012	219.5	253.3	123.9	175.6	33.29	25.2	6.69	14.3	15.1	111.3	142.1	268.39	1388.67	268.39
2013	166.39	220.89	254.5	112.3	38.9	36.59	71.09	47.7	26.29	145.69	100.09	157.39	1377.82	254.5

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 52**

*Precipitaciones máximas Estación Jacas Chico*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 46**

*Análisis de consistencia de datos*

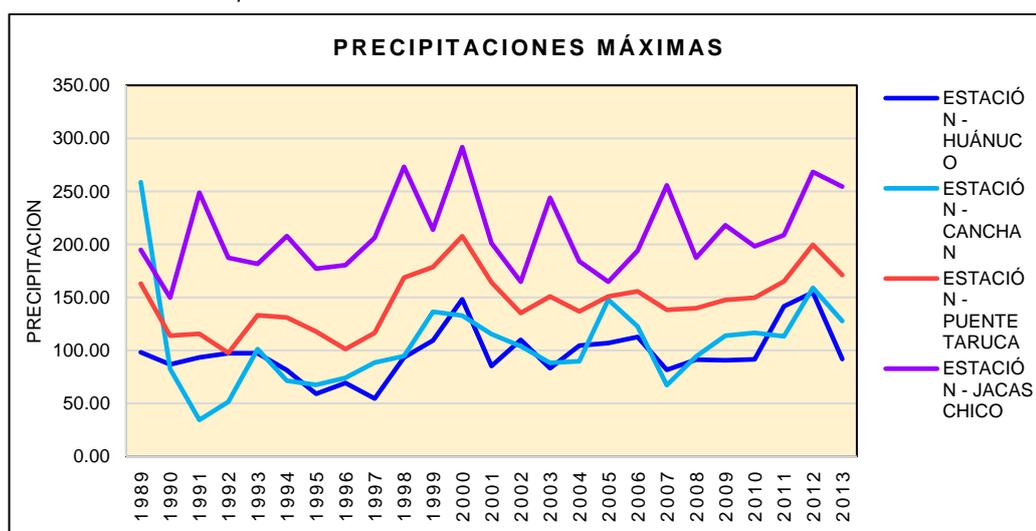
ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS				
AÑO	ESTACIÓN - CANCHAN	ESTACIÓN - HUÁNUCO	ESTACIÓN - PUENTE TARUCA	ESTACIÓN - JACAS CHICO
1989	258.600	98.19	163.00	194.800
1990	82.590	86.80	113.75	149.800
1991	34.400	93.40	115.67	248.890
1992	51.400	97.40	97.59	187.190
1993	101.300	97.30	132.99	181.600
1994	71.400	81.19	130.96	207.690
1995	67.400	59.00	117.82	177.000
1996	74.090	69.30	101.31	180.500

1997	88.690	54.59	116.61	206.190
1998	94.690	93.50	168.60	273.290
1999	136.300	109.30	178.47	213.800
2000	132.890	148.10	207.76	291.700
2001	115.400	85.19	164.19	201.100
2002	103.800	109.80	135.22	164.890
2003	88.190	83.09	150.94	243.890
2004	89.900	104.59	136.79	184.100
2005	147.800	106.90	151.04	164.800
2006	122.500	112.69	155.63	194.100
2007	67.300	81.59	138.22	255.600
2008	94.400	91.30	139.62	187.300
2009	114.000	90.80	147.45	218.190
2010	116.590	91.59	149.59	198.300
2011	113.190	141.60	165.16	208.690
2012	159.000	154.69	199.81	268.390
2013	127.690	92.00	171.00	254.500

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 53**

*Precipitaciones máximas Estación Puente Taruca*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 47**

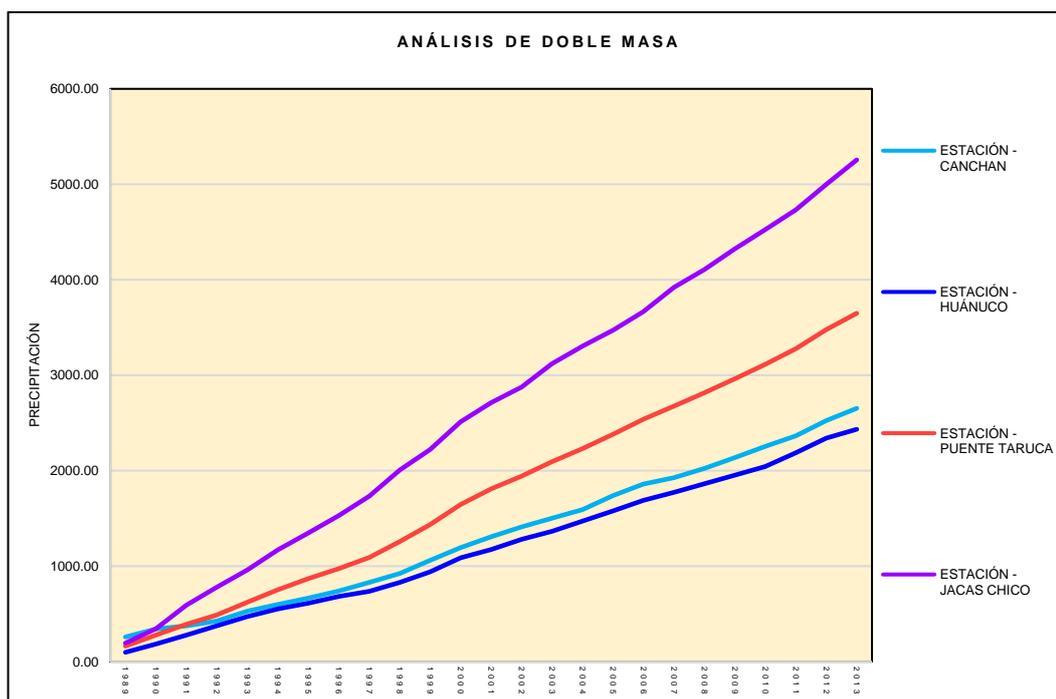
*Datos para análisis de doble masa*

AÑO	ESTACIÓN - CANCHAN		ESTACIÓN - HUÁNUCO		ESTACIÓN - PUENTE TARUCA		ESTACIÓN - JACAS CHICO	
	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum	PP(mm)	Pacum
1989	258.60	258.60	98.19	98.19	163.00	163.00	194.80	194.80
1990	82.59	341.19	86.80	184.99	113.75	276.75	149.80	344.60
1991	34.40	375.59	93.40	278.39	115.67	392.42	248.89	593.49
1992	51.40	426.99	97.40	375.79	97.59	490.01	187.19	780.68
1993	101.30	528.29	97.30	473.09	132.99	623.00	181.60	962.28
1994	71.40	599.69	81.19	554.28	130.96	753.96	207.69	1169.97
1995	67.40	667.09	59.00	613.28	117.82	871.78	177.00	1346.97

1996	74.09	741.18	69.30	682.58	101.31	973.09	180.50	1527.47
1997	88.69	829.87	54.59	737.17	116.61	1089.70	206.19	1733.66
1998	94.69	924.56	93.50	830.67	168.60	1258.30	273.29	2006.95
1999	136.30	1060.86	109.30	939.97	178.47	1436.77	213.80	2220.75
2000	132.89	1193.75	148.10	1088.07	207.76	1644.53	291.70	2512.45
2001	115.40	1309.15	85.19	1173.26	164.19	1808.72	201.10	2713.55
2002	103.80	1412.95	109.80	1283.06	135.22	1943.94	164.89	2878.44
2003	88.19	1501.14	83.09	1366.15	150.94	2094.88	243.89	3122.33
2004	89.90	1591.04	104.59	1470.74	136.79	2231.67	184.10	3306.43
2005	147.80	1738.84	106.90	1577.64	151.04	2382.71	164.80	3471.23
2006	122.50	1861.34	112.69	1690.33	155.63	2538.34	194.10	3665.33
2007	67.30	1928.64	81.59	1771.92	138.22	2676.56	255.60	3920.93
2008	94.40	2023.04	91.30	1863.22	139.62	2816.18	187.30	4108.23
2009	114.00	2137.04	90.80	1954.02	147.45	2963.63	218.19	4326.42
2010	116.59	2253.63	91.59	2045.61	149.59	3113.22	198.30	4524.72
2011	113.19	2366.82	141.60	2187.21	165.16	3278.38	208.69	4733.41
2012	159.00	2525.82	154.69	2341.90	199.81	3478.19	268.39	5001.80
2013	127.69	2653.51	92.00	2433.90	171.00	3649.19	254.50	5256.30

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 54**  
Análisis de doble masa



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 48**

*Datos de análisis final*

Datos de análisis Final															
AÑO	PRECIPITACIONES MÁXIMAS MENSUALES (mm)												P.MAX. PRECIPITACIÓ N	P.MIN. PRECIPITACIÓ N	P.MED. PRECIPITACIÓ N
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic			
1989	56.79	43.79	98.19	20.79	14.8	11.5	0	2.5	12	67.9	41.29	59.09	98.19	0.00	35.72
1990	45.79	13.5	34.7	52.2	32.59	15.1	1.5	7.09	10.89	86.8	77	59.2	86.80	1.50	36.36
1991	25.7	44.29	93.4	29.1	3	10.1	4.8	0	8.5	33.4	40.2	39.59	93.40	0.00	27.67
1992	43.09	88.69	66.19	20.6	0	14.39	0	37.2	4	97.4	37.4	21.6	97.40	0.00	35.88
1993	18.1	40.9	76.8	25.89	16.79	12.3	6.09	6.3	8	17.2	97.3	50.09	97.30	6.09	31.31
1994	81.19	57.5	41.29	57.59	23.39	0	0	0	32.7	64.4	20.39	41	81.19	0.00	34.95
1995	38.7	50.4	50.29	26	3.59	1.39	1.2	0.4	7.19	23.2	48.79	59	59.00	0.40	25.85
1996	59.5	33.09	41.7	69.3	23	0	0.1	5.3	2.29	23.6	57.79	15.69	69.30	0.00	27.61
1997	54.59	41.59	26.5	15.1	9.6	2.2	0	9.6	7.59	29.79	41.5	47.29	54.59	0.00	23.78
1998	93.5	63	66.9	3.09	2.79	2.09	0	2.79	3.79	29.29	64.5	34	93.50	0.00	30.48
1999	81.69	88.5	109.3	22.29	18.39	15.1	8.6	0.6	57.59	20.79	33.79	58.2	109.30	0.60	42.90
2000	68.19	89.59	148.1	30.29	10.1	16	3.59	17.1	11.89	9.5	61	77.19	148.10	3.59	45.21
2001	45.2	36.2	85.19	46.2	10.39	3.29	8.39	10.19	7.4	36.9	72.69	55.79	85.19	3.29	34.82
2002	29.5	56.4	83.09	56.5	18.2	2.9	12.8	4.09	8.39	109.8	40.79	21	109.80	2.90	36.96
2003	44.7	26.89	70.5	24.6	14.3	0.3	0.1	9.39	12.6	17.1	77.3	83.09	83.09	0.10	31.74
2004	33.59	31.7	56.9	31.2	24.79	5.09	5.59	16.7	16.2	28.6	34.79	104.5 <sub>g</sub>	104.59	5.09	32.48
2005	32.59	45	92.69	12.6	1.39	0	2	8.6	5.8	51.5	26.29	106.9	106.90	0.00	32.11
2006	81.9	48.4	112.6 <sub>g</sub>	38.59	2	6.19	3.5	2.9	11.39	49.09	66.69	89.09	112.69	2.00	42.70
2007	33.9	6.9	81.59	35.79	7.8	1.89	6.69	3.9	4.4	59.2	40.59	70.3	81.59	1.89	29.41
2008	29.79	90.8	91.3	36.29	3.59	5.5	0.1	2	33.4	38	50.9	68.09	91.30	0.10	37.48
2009	68	72.5	90.8	85.9	14.19	10.3	12.3	4.4	11	44.59	40.2	59.59	90.80	4.40	42.81
2010	21.79	85.9	91.59	19	3.4	2.59	4.9	7.19	14.1	26.7	55.09	81.9	91.59	2.59	34.51
2011	76.8	64	141.6	43.9	21.1	1.89	1.89	3.7	22.6	67.69	56.59	132.3	141.60	1.89	52.84
2012	78.59	55.7	30.1	74.8	13.69	3.79	7.8	3.4	4.9	75	94.5	154.6 <sub>g</sub>	154.69	3.40	49.75
2013	36.2	90	92	33.59	5.69	10.69	12.5	22.1	6.59	37.79	71.3	76.09	92.00	5.69	41.21
MÁX	93.5	90.8	148.1	85.9	32.59	16	12.8	37.2	57.59	109.8	97.3	154.6 <sub>g</sub>	154.69	6.09	52.84
MÍN	18.1	6.9	26.5	3.09	0	0	0	0	2.29	9.5	20.39	15.69	54.59	0.00	23.78
MEDIA	51.17 <sub>5</sub>	54.60 <sub>9</sub>	78.93 <sub>6</sub>	36.44 <sub>8</sub>	11.94 <sub>3</sub>	5.995 <sub>8</sub>	3.830 <sub>8</sub>	6.889 <sub>2</sub>	13.27 <sub>5</sub>	46.14 <sub>3</sub>	53.22 <sub>4</sub>	66.22	97.36	1.82	35.86

Fuente: Elaboración Propia



**Tabla N° 49**

*Cálculo de precipitaciones*

**CÁLCULO DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO USANDO LAS DISTRIBUCIONES NORMAL, LOG-NORMAL, LOG-PEARSON III, Y GUMBEL PARA PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS ANUALES 1989 - 2013**

<b>ESTACIÓN:</b>	HUÁNUCO			
<b>LATITUD:</b>	-9.9655556			
<b>LONGITUD:</b>	-76.2369444			
<b>ALTITUD:</b>	2090			
<b>REGIÓN:</b>	HUÁNUCO			
<b>PROVINCIA:</b>	HUÁNUCO			
<b>DISTRITO:</b>	-			
<b>N°</b>	<b>ESTACIÓN</b>	<b>AÑO</b>	<b>P mensual máx (mm)</b>	<b>Log P</b>
1	HUÁNUCO	1989	98.19	1.99207
2	HUÁNUCO	1990	86.80	1.93852
3	HUÁNUCO	1991	93.40	1.97035
4	HUÁNUCO	1992	97.40	1.98856
5	HUÁNUCO	1993	97.30	1.98811
6	HUÁNUCO	1994	81.19	1.90950
7	HUÁNUCO	1995	59.00	1.77085
8	HUÁNUCO	1996	69.30	1.84073
9	HUÁNUCO	1997	54.59	1.73711
10	HUÁNUCO	1998	93.50	1.97081
11	HUÁNUCO	1999	109.30	2.03862
12	HUÁNUCO	2000	148.10	2.17056
13	HUÁNUCO	2001	85.19	1.93039
14	HUÁNUCO	2002	109.80	2.04060
15	HUÁNUCO	2003	83.09	1.91955
16	HUÁNUCO	2004	104.59	2.01949
17	HUÁNUCO	2005	106.90	2.02898
18	HUÁNUCO	2006	112.69	2.05189
19	HUÁNUCO	2007	81.59	1.91164
20	HUÁNUCO	2008	91.30	1.96047
21	HUÁNUCO	2009	90.80	1.95809
22	HUÁNUCO	2010	91.59	1.96185
23	HUÁNUCO	2011	141.60	2.15106
24	HUÁNUCO	2012	154.69	2.18946
25	HUÁNUCO	2013	92.00	1.96379
<b>PROMEDIO (mm)</b>			97.356	1.97612
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>			23.917	0.10544
<b>COEFICIENTE DE VARIACIÓN (C.V.)</b>			0.246	0.05336
<b>COEFICIENTE DE ASIMETRÍA</b>			0.803	-0.08090

K/6	0.134	-0.01348
N°	25.000	25.00000
MÁXIMO	154.690	2.18946

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 50**

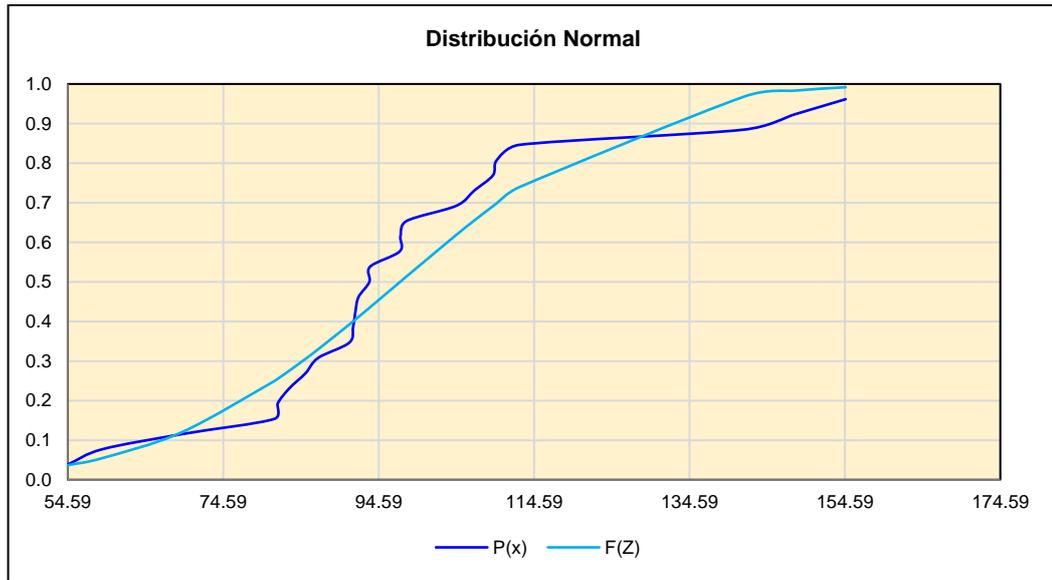
*Distribución Normal*

m	P mensual máx (mm)	Media	Desviación Estándar	P (X) =m/n+1	Z = X-Xm/S	f(Z)	F(Z)	Delta
1	54.59			0.0385	-1.788	0.081	0.0369	0.0016
2	59.00			0.0769	-1.604	0.110	0.0544	0.0225
3	69.30			0.1154	-1.173	0.200	0.1204	0.0050
4	81.19			0.1538	-0.676	0.317	0.2495	0.0957
5	81.59			0.1923	-0.659	0.321	0.2549	0.0626
6	83.09			0.2308	-0.596	0.334	0.2754	0.0447
7	85.19			0.2692	-0.509	0.351	0.3055	0.0363
8	86.80			0.3077	-0.441	0.362	0.3295	0.0218
9	90.80			0.3462	-0.274	0.384	0.3920	0.0458
10	91.30			0.3846	-0.253	0.386	0.4001	0.0154
11	91.59			0.4231	-0.241	0.388	0.4047	0.0183
12	92.00			0.4615	-0.224	0.389	0.4114	0.0501
13	93.40	97.3560	23.91710	0.5000	-0.165	0.394	0.4343	0.0657
14	93.50			0.5385	-0.161	0.394	0.4360	0.1025
15	97.30			0.5769	-0.002	0.399	0.4991	0.0779
16	97.40			0.6154	0.002	0.399	0.5007	0.1147
17	98.19			0.6538	0.035	0.399	0.5139	0.1399
18	104.59			0.6923	0.302	0.381	0.6188	0.0735
19	106.90			0.7308	0.399	0.368	0.6551	0.0757
20	109.30			0.7692	0.499	0.352	0.6912	0.0780
21	109.80			0.8077	0.520	0.348	0.6986	0.1091
22	112.69			0.8462	0.641	0.325	0.7393	0.1069
23	141.60			0.8846	1.850	0.072	0.9678	0.0832
24	148.10			0.9231	2.122	0.042	0.9831	0.0600
25	154.69			0.9615	2.397	0.023	0.9917	0.0302

0.1399	<	0.2720	Δ teórico	0.1399	
SE AJUSTA			Δ tabular	0.2720	
				n	25.0000

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 55**  
Gráfica de distribución normal



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 51**

Resultados Distribución Normal

CUADRO DE RESUMEN		
T	P(mm)	Delta
50	146.486	0.13994
100	153.006	0.13994
150	156.555	0.13994

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 52**

Distribución Log-Normal

m	X	Y=LnX	P(x)	Media Ln(X)	Desv. Estándar Ln(X)	Z=(X-Xm)/S	f(z)	F(z)	Delta
1	54.59	4.000	0.038			-2.2667	0.0023	0.0117	0.0268
2	59.00	4.078	0.077			-1.9467	0.0042	0.0258	0.0511
3	69.30	4.238	0.115			-1.2840	0.0104	0.0996	0.0158
4	81.19	4.397	0.154			-0.6318	0.0166	0.2638	0.1099
5	81.59	4.402	0.192			-0.6116	0.0167	0.2704	0.0781
6	83.09	4.420	0.231			-0.5365	0.0171	0.2958	0.0650
7	85.19	4.445	0.269	4.5502	0.2428	-0.4337	0.0176	0.3322	0.0630
8	86.80	4.464	0.308			-0.3566	0.0178	0.3607	0.0530
9	90.80	4.509	0.346			-0.1710	0.0178	0.4321	0.0859
10	91.30	4.514	0.385			-0.1484	0.0178	0.4410	0.0564
11	91.59	4.517	0.423			-0.1354	0.0178	0.4462	0.0231
12	92.00	4.522	0.462			-0.1170	0.0177	0.4534	0.0081
13	93.40	4.537	0.500			-0.0548	0.0176	0.4782	0.0218

14	93.50	4.538	0.538	-0.0504	0.0176	0.4799	0.0585
15	97.30	4.578	0.577	0.1137	0.0168	0.5453	0.0317
16	97.40	4.579	0.615	0.1180	0.0168	0.5469	0.0684
17	98.19	4.587	0.654	0.1512	0.0165	0.5601	0.0937
18	104.59	4.650	0.692	0.4113	0.0144	0.6596	0.0327
19	106.90	4.672	0.731	0.5013	0.0136	0.6919	0.0389
20	109.30	4.694	0.769	0.5927	0.0126	0.7233	0.0459
21	109.80	4.699	0.808	0.6115	0.0124	0.7296	0.0781
22	112.69	4.725	0.846	0.7185	0.0113	0.7638	0.0824
23	141.60	4.953	0.885	1.6591	0.0029	0.9515	0.0668
24	148.10	4.998	0.923	1.8440	0.0020	0.9674	0.0443
25	154.69	5.041	0.962	2.0233	0.0014	0.9785	0.0169

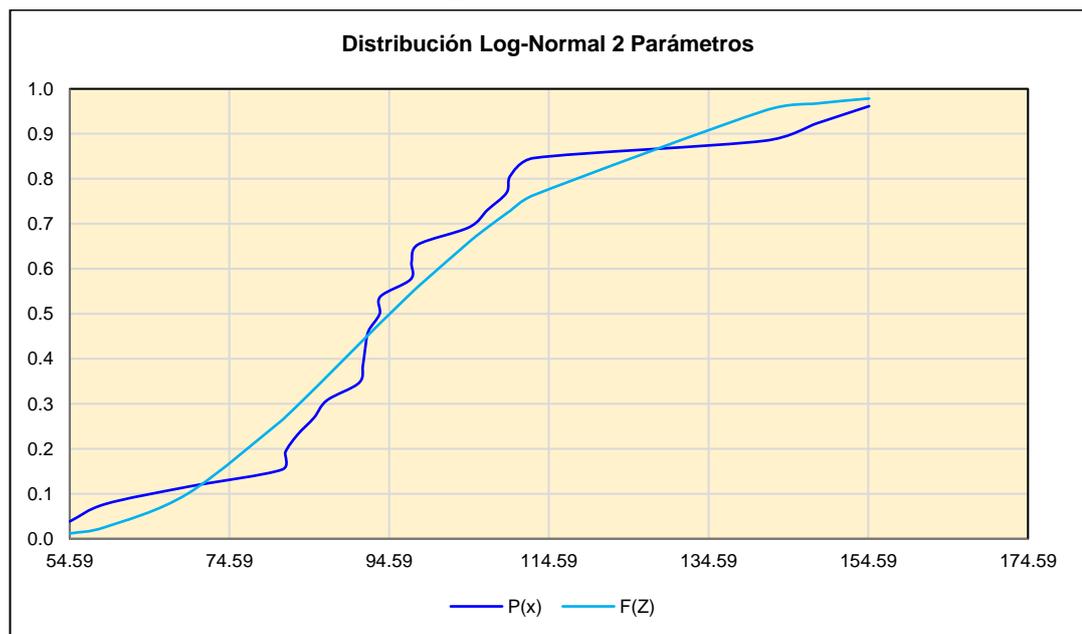
0.1099	<	0.2720
SE AJUSTA		

$\Delta$ teórico	0.1099
$\Delta$ tabular	0.2720

n	25.0000
---	---------

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 56**  
Gráfica de distribución Log-normal



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 53**

Resultados Distribución Log-Normal

CUADRO DE RESUMEN		
T	P(mm)	delta
50	155.855	0.10991
100	166.519	0.10991
150	172.627	0.10991

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 54**

*Distribución Log-Normal 3 Parámetros*

m	X	P(X)	Mediana	X0	(X-X0)	Ln (X-X0)	Media Ln (X-X0)	Desv. Estándar Ln(X-X0)	Z	f(Z)	F(Z)	Delta
1	54.59	0.038			67.002	4.205			-2.25096	0.00226	0.01219	0.02627
2	59.00	0.077			71.412	4.268			-1.94673	0.00401	0.02578	0.05114
3	69.30	0.115			81.712	4.403			-1.30366	0.00996	0.09617	0.01921
4	81.19	0.154			93.602	4.539			-0.65526	0.01641	0.25615	0.10230
5	81.59	0.192			94.002	4.543			-0.63491	0.01656	0.26274	0.07044
6	83.09	0.231			95.502	4.559			-0.55935	0.01705	0.28796	0.05719
7	85.19	0.269			97.602	4.581			-0.45554	0.01759	0.32436	0.05513
8	86.80	0.308			99.212	4.597			-0.37745	0.01787	0.35292	0.04523
9	90.80	0.346			103.212	4.637			-0.18880	0.01812	0.42513	0.07897
10	91.30	0.385			103.712	4.642			-0.16573	0.01811	0.43418	0.04957
11	91.59	0.423			104.002	4.644			-0.15240	0.01810	0.43943	0.01636
12	92.00	0.462			104.412	4.648			-0.13363	0.01807	0.44685	0.01469
13	93.40	0.500	93.4000	-12.4125	105.812	4.662	4.6763	0.2095	-0.07005	0.01795	0.47208	0.02792
14	93.50	0.538			105.912	4.663			-0.06555	0.01794	0.47387	0.06459
15	97.30	0.577			109.712	4.698			0.10270	0.01726	0.54090	0.03602
16	97.40	0.615			109.812	4.699			0.10705	0.01724	0.54262	0.07276
17	98.19	0.654			110.602	4.706			0.14126	0.01704	0.55617	0.09768
18	104.59	0.692			117.002	4.762			0.40975	0.01496	0.65900	0.03330
19	106.90	0.731			119.312	4.782			0.50306	0.01406	0.69254	0.03823
20	109.30	0.769			121.712	4.802			0.59811	0.01308	0.72512	0.04411
21	109.80	0.808			122.212	4.806			0.61768	0.01287	0.73161	0.07609
22	112.69	0.846			125.102	4.829			0.72923	0.01167	0.76707	0.07908
23	141.60	0.885			154.012	5.037			1.72151	0.00281	0.95742	0.07281
24	148.10	0.923			160.512	5.078			1.91882	0.00188	0.97250	0.04942
25	154.69	0.962			167.102	5.119			2.11086	0.00123	0.98261	0.02107

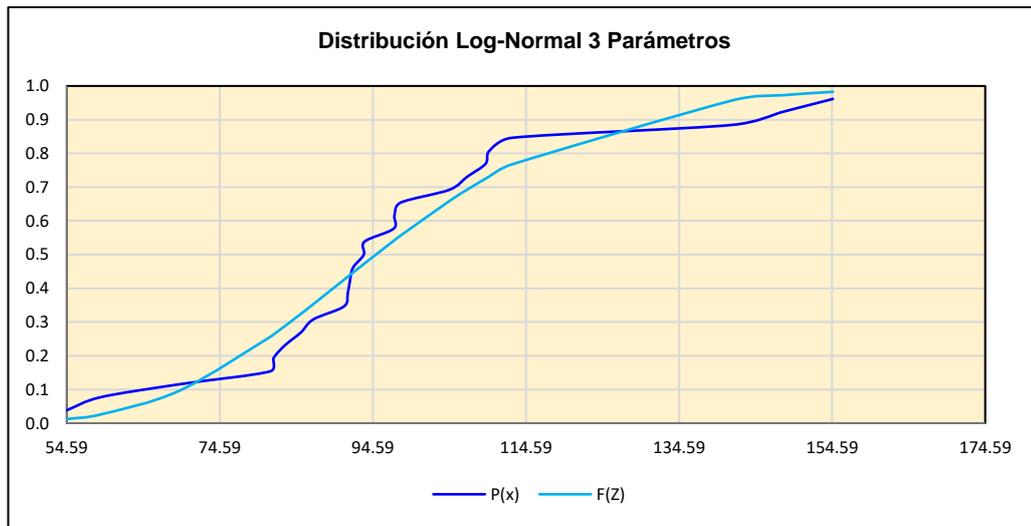
0.1023 < 0.2720  
SE AJUSTA

Δ teórico	0.1023
Δ tabular	0.2720
n	25.0000

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 57**

Gráfica de distribución Log-normal 3 parámetros



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 55**

Resultados Distribución Log-Normal 3 Parámetros

**CUADRO DE RESUMEN**

T	P(mm)	delta
50	152.720	0.10230
100	162.420	0.10230
150	167.940	0.10230

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 56**

Distribución Log-Gumbel

m	x	P(x)	Ln (x)	Media Ln (x)	S Ln(x)	$\mu$	$\alpha$	F(x)	$\Delta$
1	54.59	0.04	4.00					0.0000	0.0384
2	59.00	0.08	4.08					0.0011	0.0758
3	69.30	0.12	4.24					0.0542	0.0611
4	81.19	0.15	4.40					0.2829	0.1291
5	81.59	0.19	4.40					0.2922	0.0999
6	83.09	0.23	4.42					0.3271	0.0964
7	85.19	0.27	4.44					0.3756	0.1063
8	86.80	0.31	4.46					0.4118	0.1041
9	90.80	0.35	4.51	4.5502	0.2428	4.4409	0.1893	0.4970	0.1508
10	91.30	0.38	4.51					0.5070	0.1224
11	91.59	0.42	4.52					0.5128	0.0897
12	92.00	0.46	4.52					0.5208	0.0593
13	93.40	0.50	4.54					0.5475	0.0475
14	93.50	0.54	4.54					0.5494	0.0109
15	97.30	0.58	4.58					0.6155	0.0386
16	97.40	0.62	4.58					0.6171	0.0018

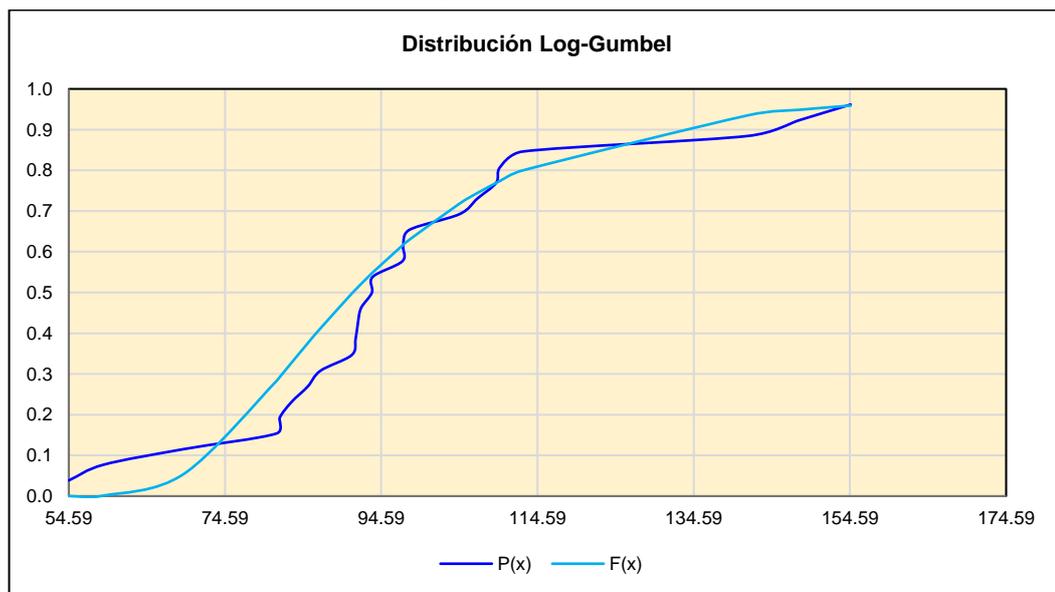
17	98.19	0.65	4.59	0.6297	0.0241
18	104.59	0.69	4.65	0.7180	0.0257
19	106.90	0.73	4.67	0.7444	0.0136
20	109.30	0.77	4.69	0.7691	0.0001
21	109.80	0.81	4.70	0.7739	0.0338
22	112.69	0.85	4.72	0.7998	0.0464
23	141.60	0.88	4.95	0.9353	0.0507
24	148.10	0.92	5.00	0.9486	0.0255
25	154.69	0.96	5.04	0.9590	0.0026

0.1508 < 0.2720  
SE AJUSTA

$\Delta$ teórico	0.1508
$\Delta$ tabular	0.2720
n	25.0000

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 58**  
Gráfica de distribución Log-Gumbel



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 57**

Resultados Distribución Log-Gumbel

**CUADRO DE RESUMEN**

T	P(mm)	delta
50	177.610	0.15081
100	202.700	0.15081
150	218.940	0.15081

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 58

Prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV USANDO EL SOFTWARE HIDROESTA	
RESUMEN	
DISTRIBUCIÓN	DELTA TEÓRICO
NORMAL	0.1399
LOG-NORMAL	0.1099
LOG-NOMAL 3P	0.1023
LOG-GUMBEL	0.1508

Min	0.1099	=	LOG-NORMAL
-----	--------	---	------------

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 59

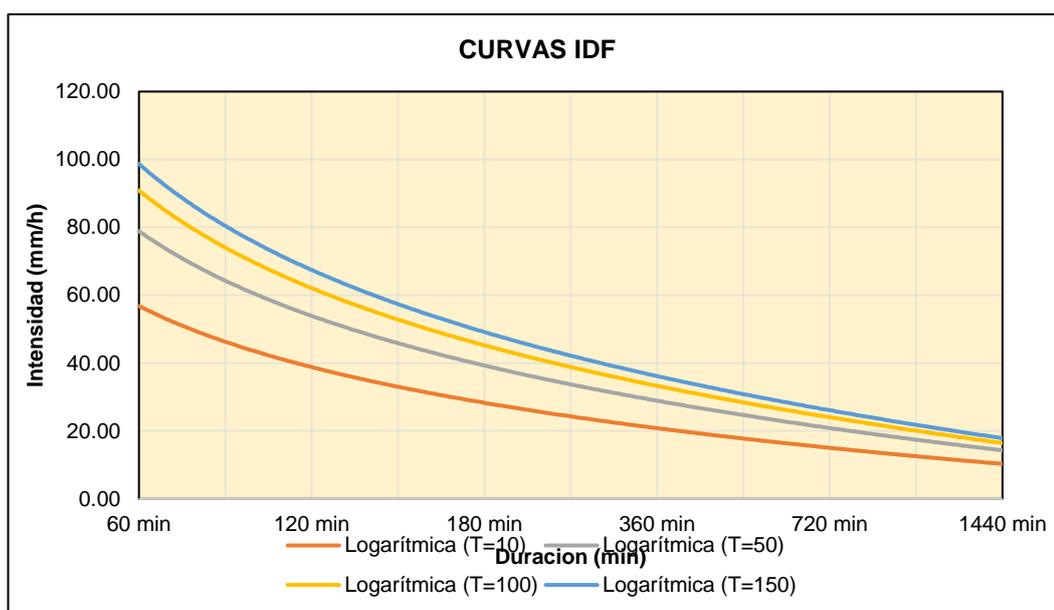
Intensidad – Método Frederich Bell

INTENSIDADES MÁXIMAS DE DISEÑO - FÓRMULA DE BELL						
T	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
T=10	56.26	38.34	30.63	20.87	14.22	9.69
T=50	78.13	53.24	42.53	28.98	19.75	13.45
T=100	90.00	61.32	48.99	33.38	22.75	15.50
T=150	97.76	66.61	53.22	36.26	24.71	16.83

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 59

IDF – Fórmula de Bell



Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 60

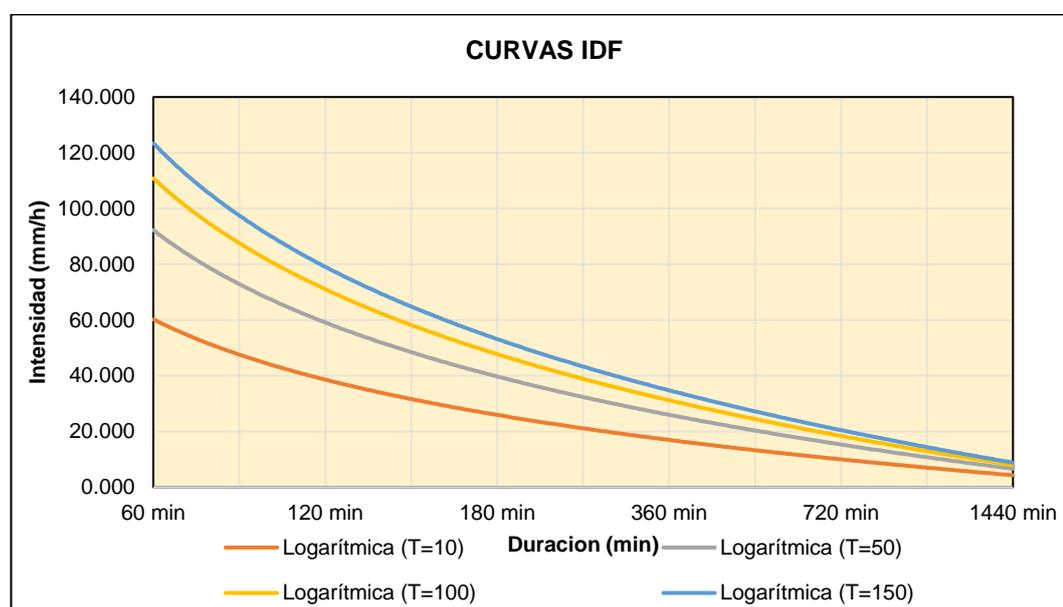
Intensidad – Método Dyck y Peschke

INTENSIDADES MÁXIMAS AJUSTADAS - DYCK PESCHKE						
T	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
<b>T=10</b>	61.385	36.500	26.929	16.012	9.521	5.661
<b>T=50</b>	94.020	55.904	41.246	24.525	14.583	8.671
<b>T=100</b>	112.969	67.172	49.559	29.468	17.522	10.418
<b>T=150</b>	125.779	74.789	55.178	32.809	19.508	11.600

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 60

IDF – Fórmula de Bell



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 61

Cálculo de caudales máximos por diferentes métodos

CAUDALES MÁXIMOS OBTENIDOS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS (m3/s)			
T(años)	MET. RACIONAL	MET. MAC MATH	MET. MAC MATH CON DYCK PESCHKE
<b>10</b>	691.811	1016.028	1055.425
<b>50</b>	1059.598	1410.828	1616.522
<b>100</b>	1273.122	1625.023	1942.273
<b>150</b>	1417.464	1765.193	2162.481
<b>250</b>	1622.833	1959.068	2475.791
<b>500</b>	1949.846	2256.619	2974.889
<b>1000</b>	2342.914	2599.373	3574.346

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 62***Caudales de diseño para la investigación*

<b>CAUDALES DE DISEÑO CON FACTOR DE MAYORACIÓN</b>	
<b>T(años)</b>	<b>MET. MAC MATH</b>
<b>10</b>	1320.836
<b>50</b>	1834.076
<b>100</b>	2112.530
<b>150</b>	2294.751
<b>250</b>	2546.788
<b>500</b>	2933.605
<b>1000</b>	3379.185

Fuente: Elaboración Propia

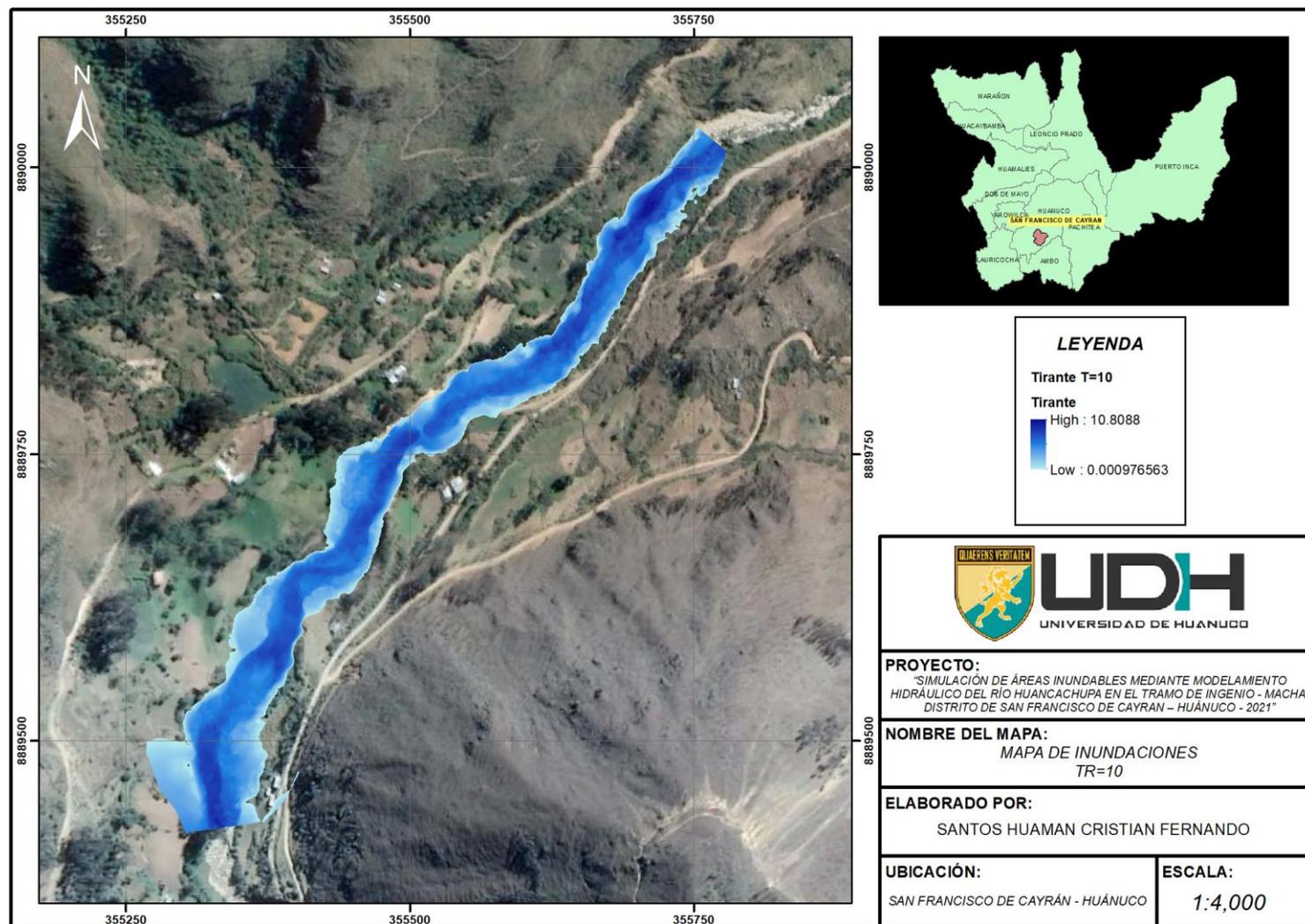
**Tabla N° 63***Características de la microcuenca*

<b>N°</b>	<b>ÁREA (has)</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>PENDIENTE</b>	<b>C</b>
<b>1</b>	75.872	0 - 20	Media	9.956	0.610
<b>2</b>	27.524	0 - 20	Fina	9.956	0.670
<b>3</b>	1706.862	0 - 20	Media	9.956	0.610
<b>4</b>	8866.594	80 - 100	Media	9.956	0.430

Fuente: Elaboración Propia

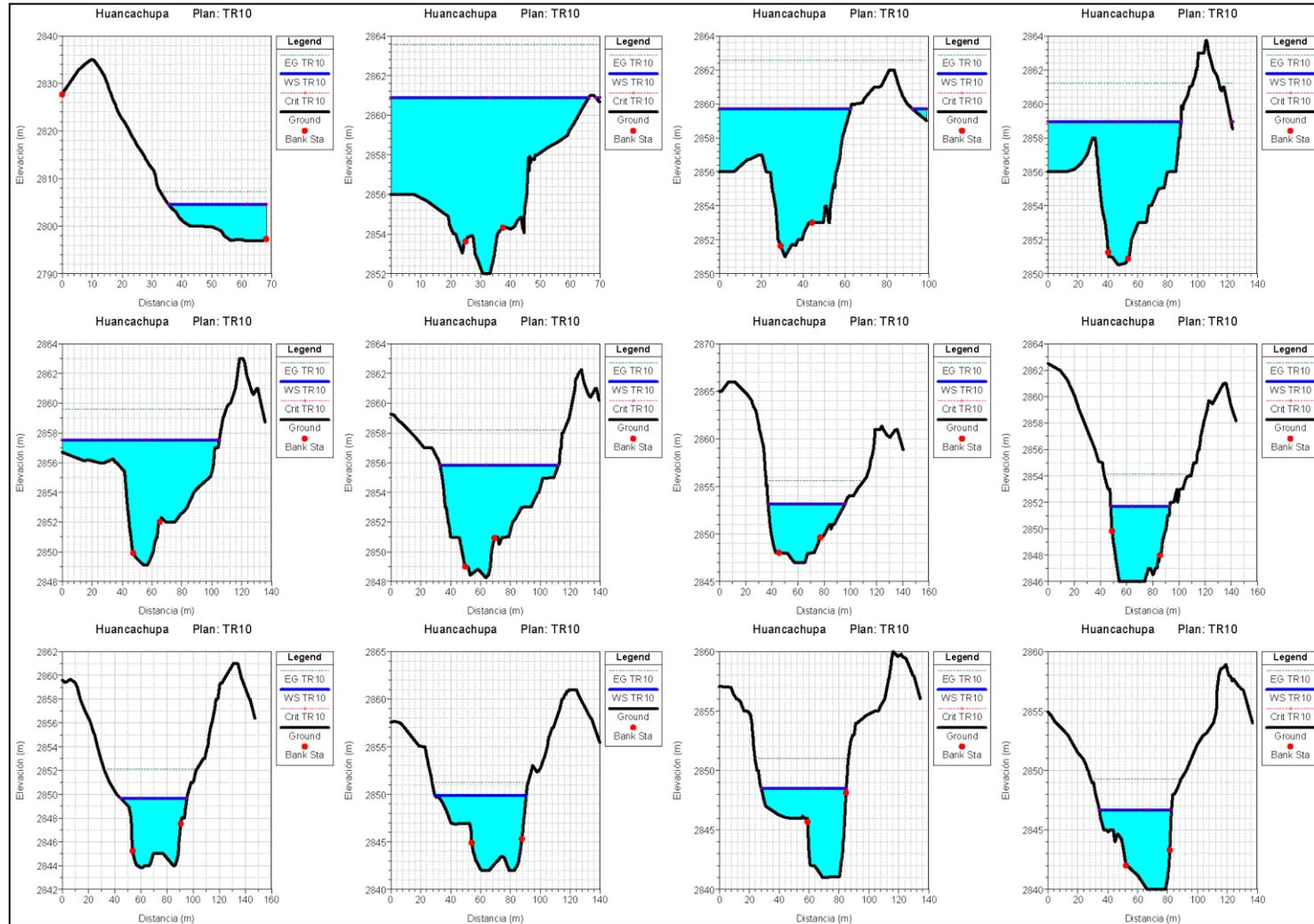
**Figura N° 61**

*Mapa de inundaciones PR=10 años*



Fuente: Elaboración propia

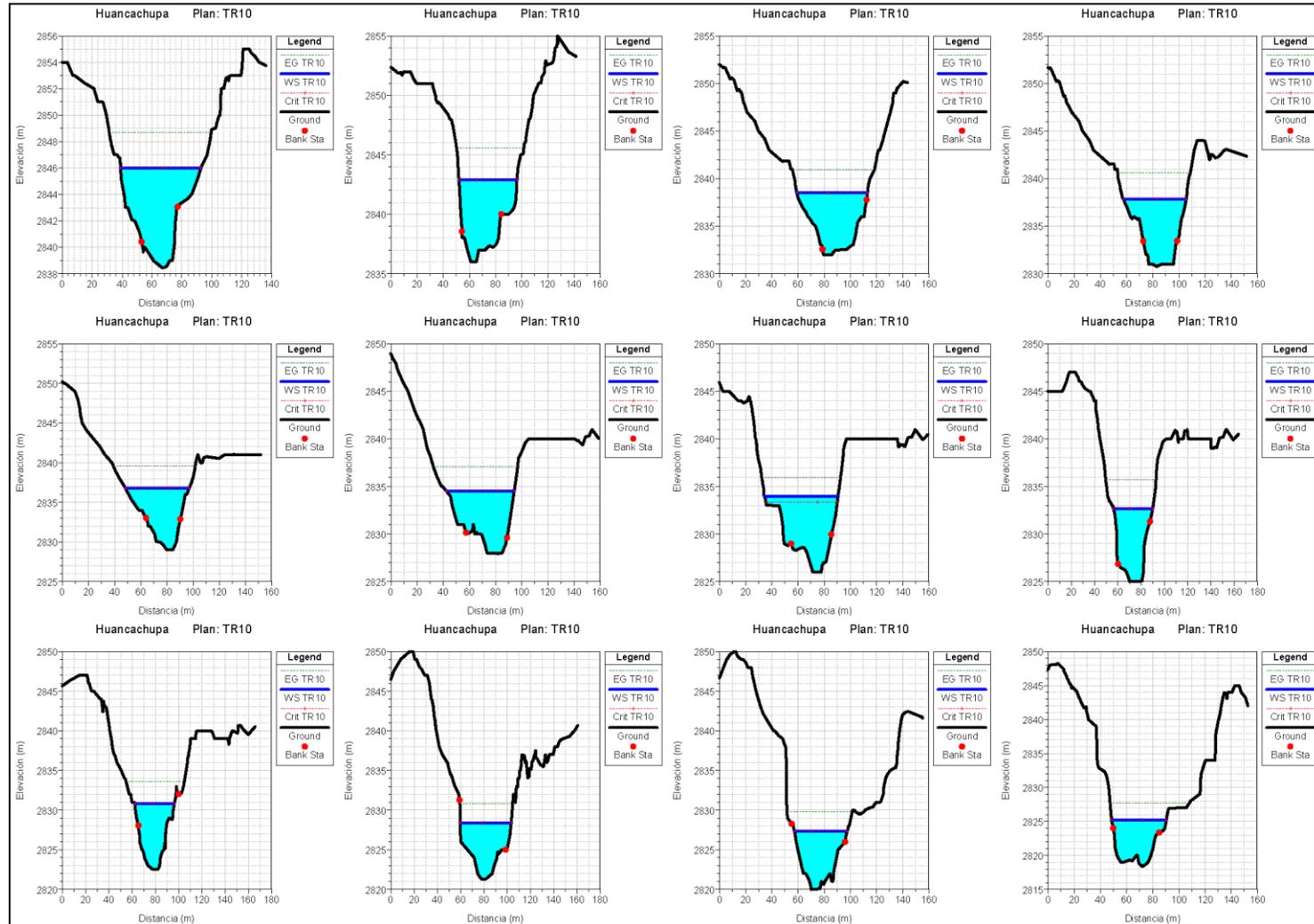
**Figura N° 62**  
*Secciones de inundación para PR=10 años P1*



Fuente: Elaboración propia

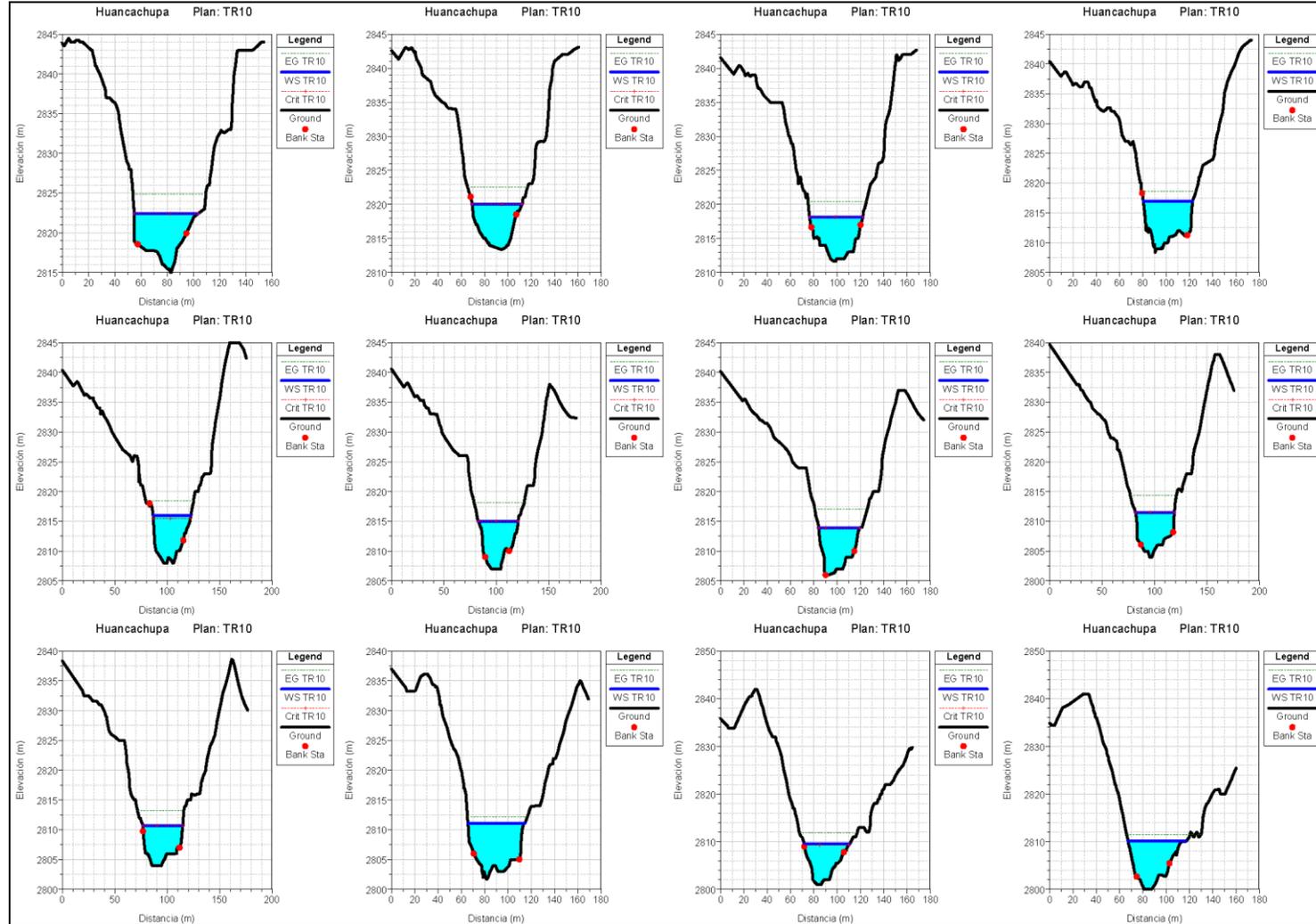
Figura N° 63

Secciones de inundación para PR=10 años P2



Fuente: Elaboración propia

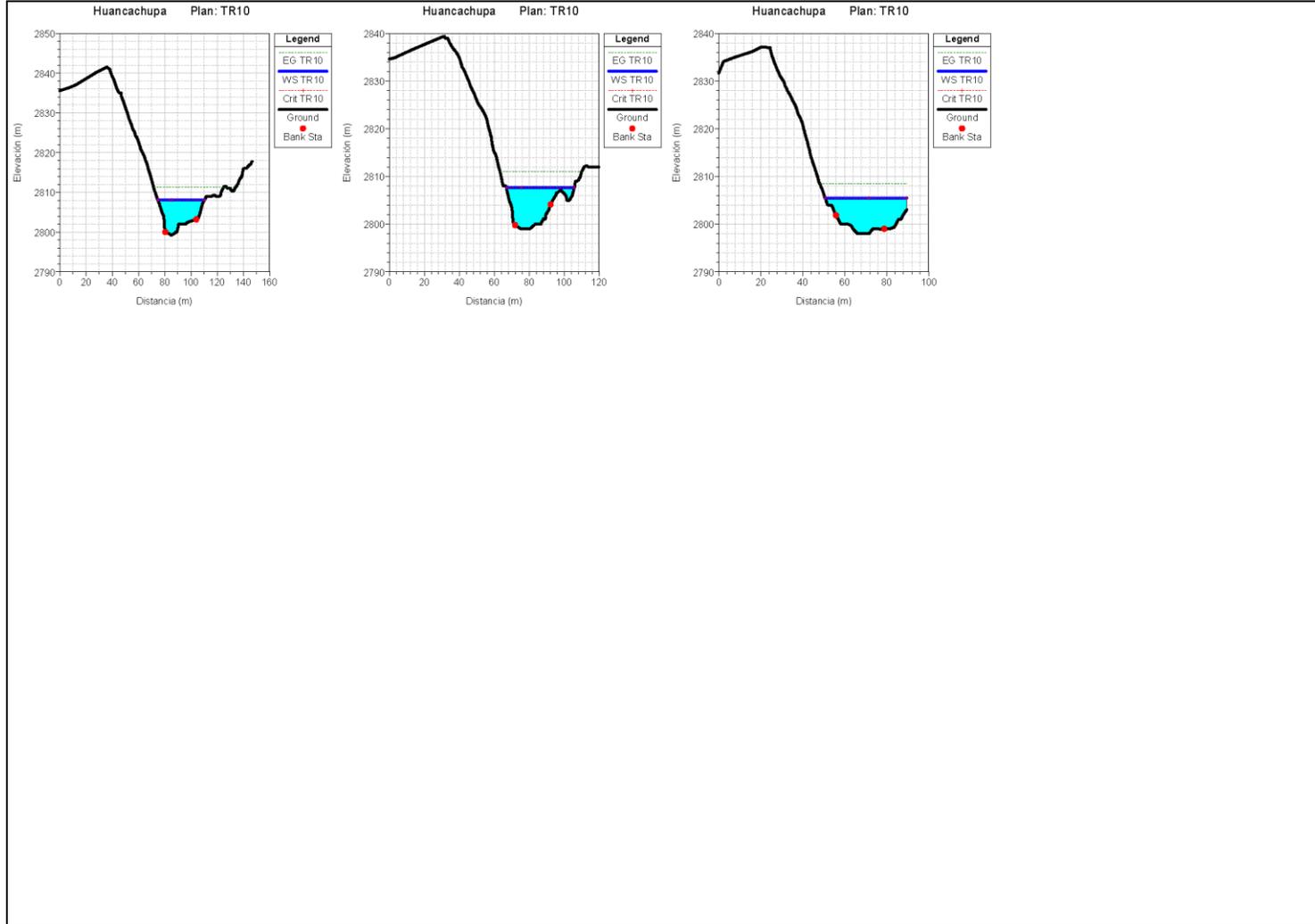
**Figura N° 64**  
*Secciones de inundación para PR=10 años P3*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 65**

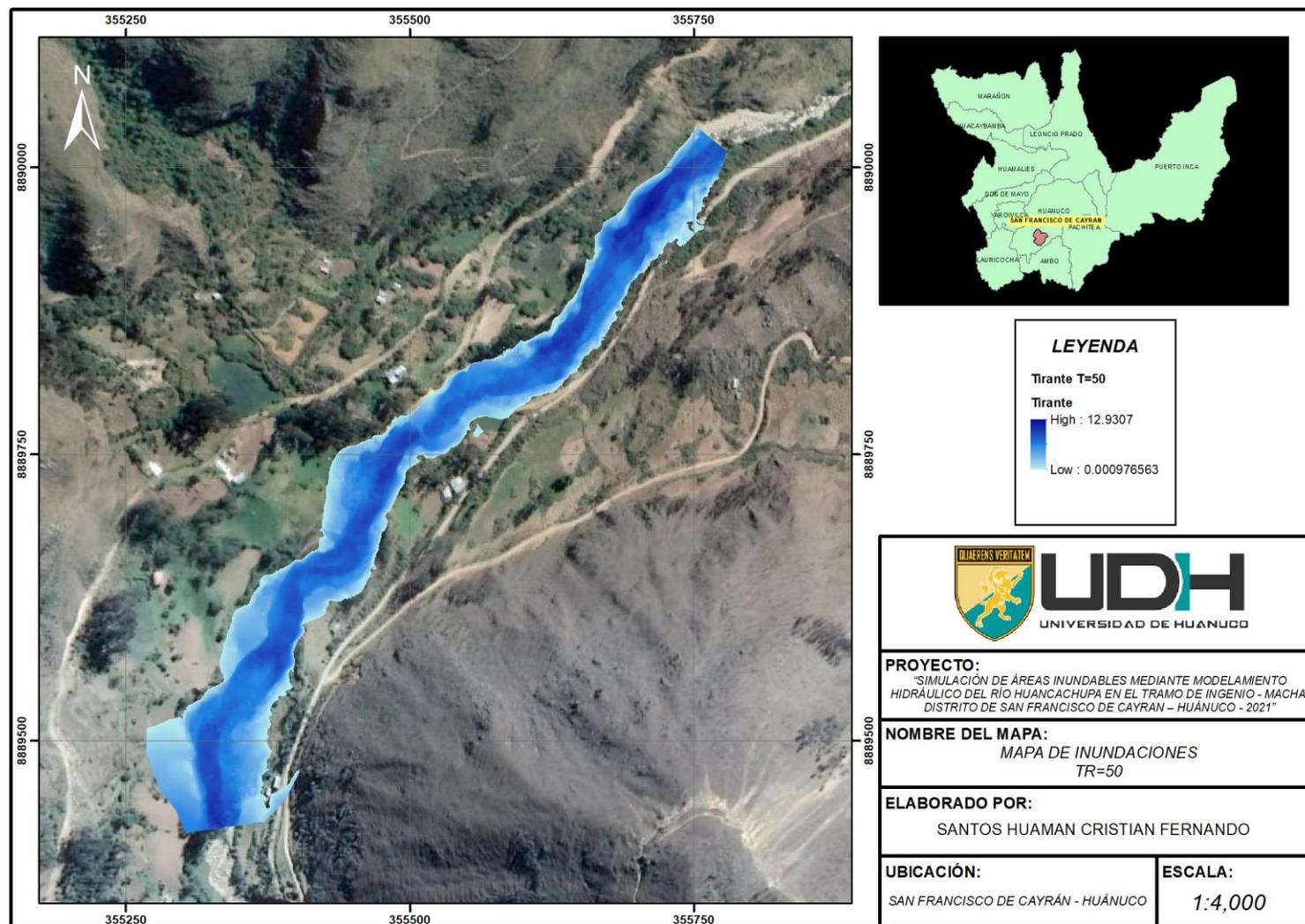
*Secciones de inundación para PR=10 años P4*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 66**

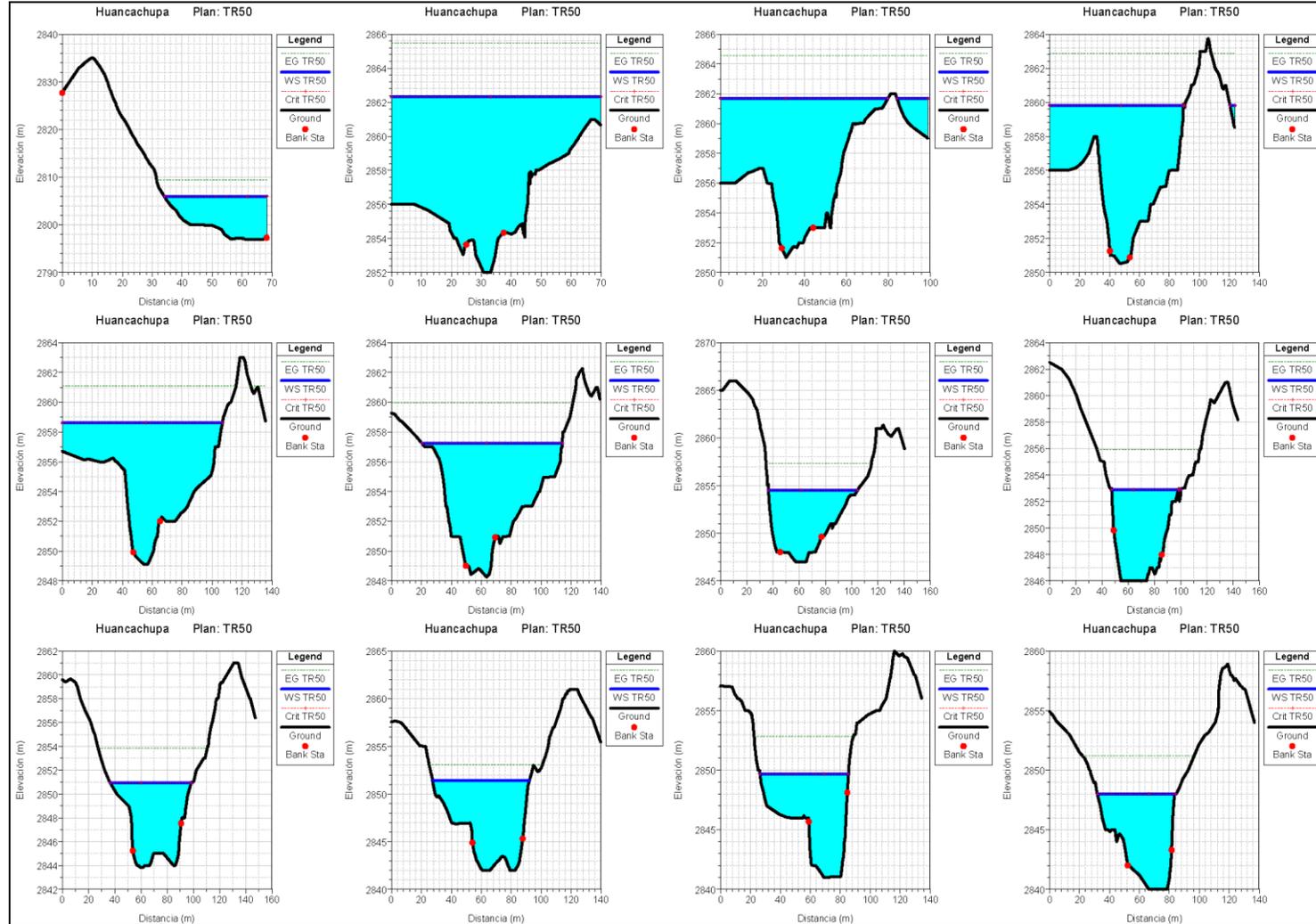
*Mapa de inundaciones PR=50 años*



Fuente: Elaboración propia



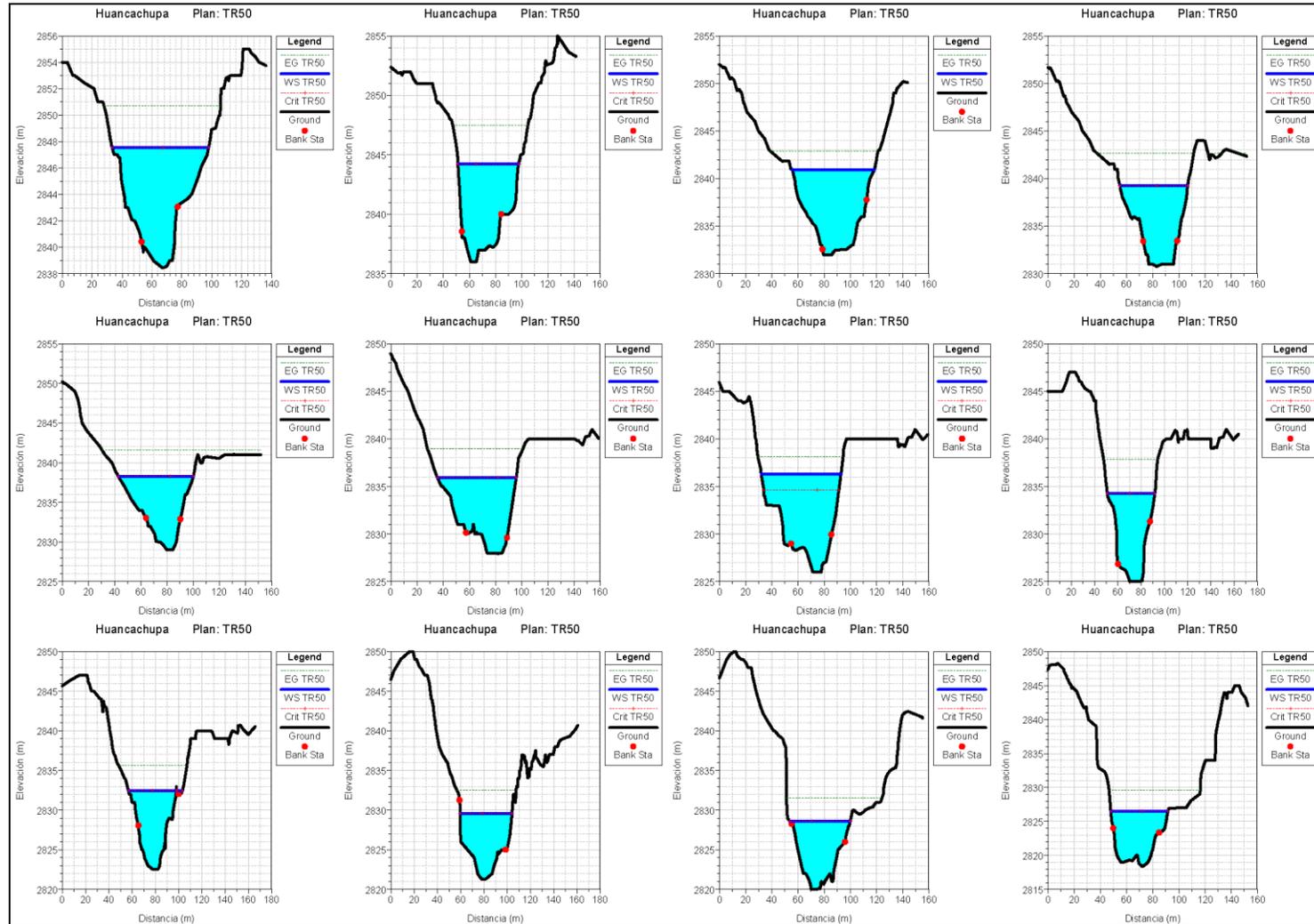
**Figura N° 67**  
*Secciones de inundación para PR=50 años P1*



Fuente: Elaboración propia

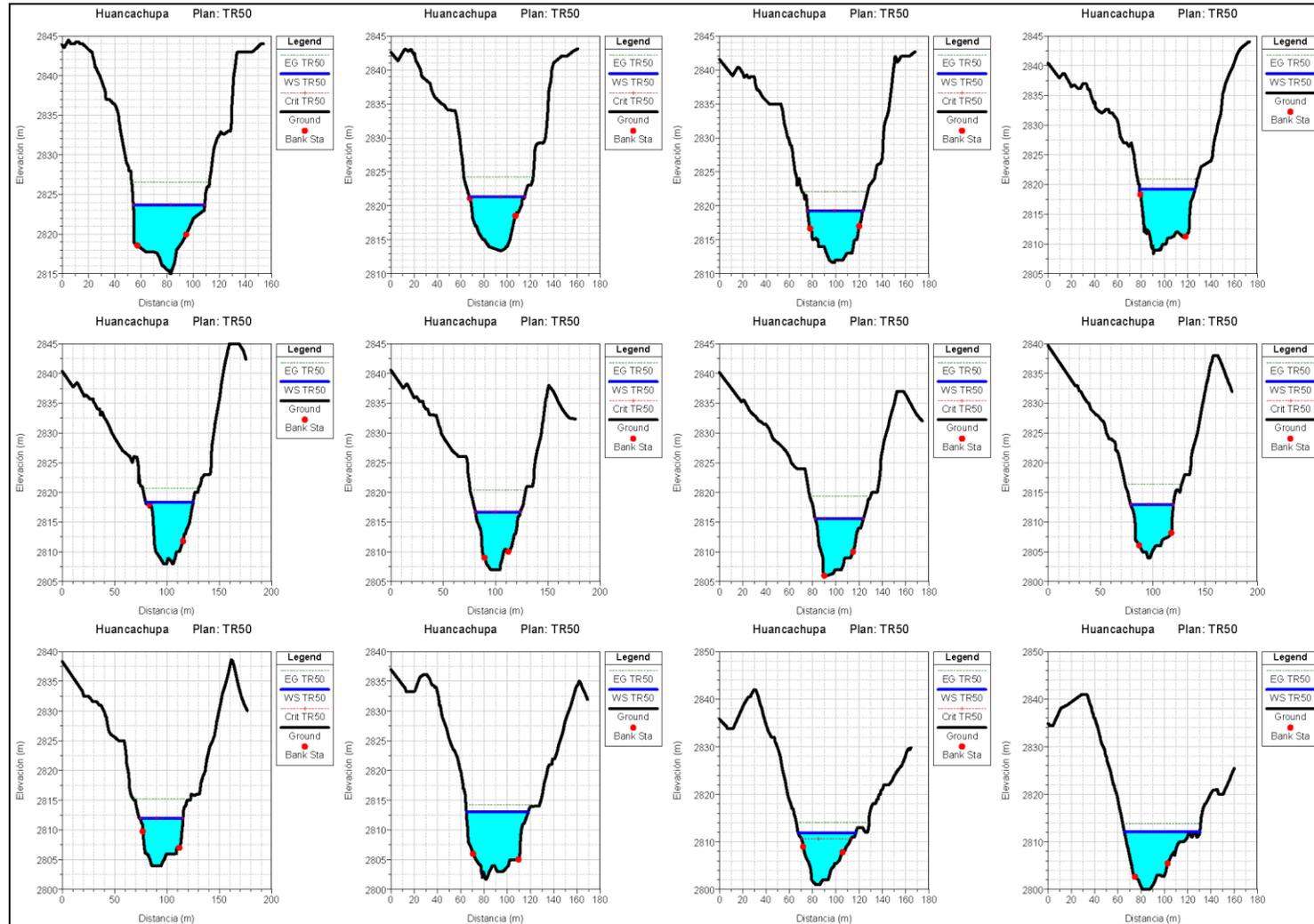
Figura N° 68

Secciones de inundación para PR=50 años P2



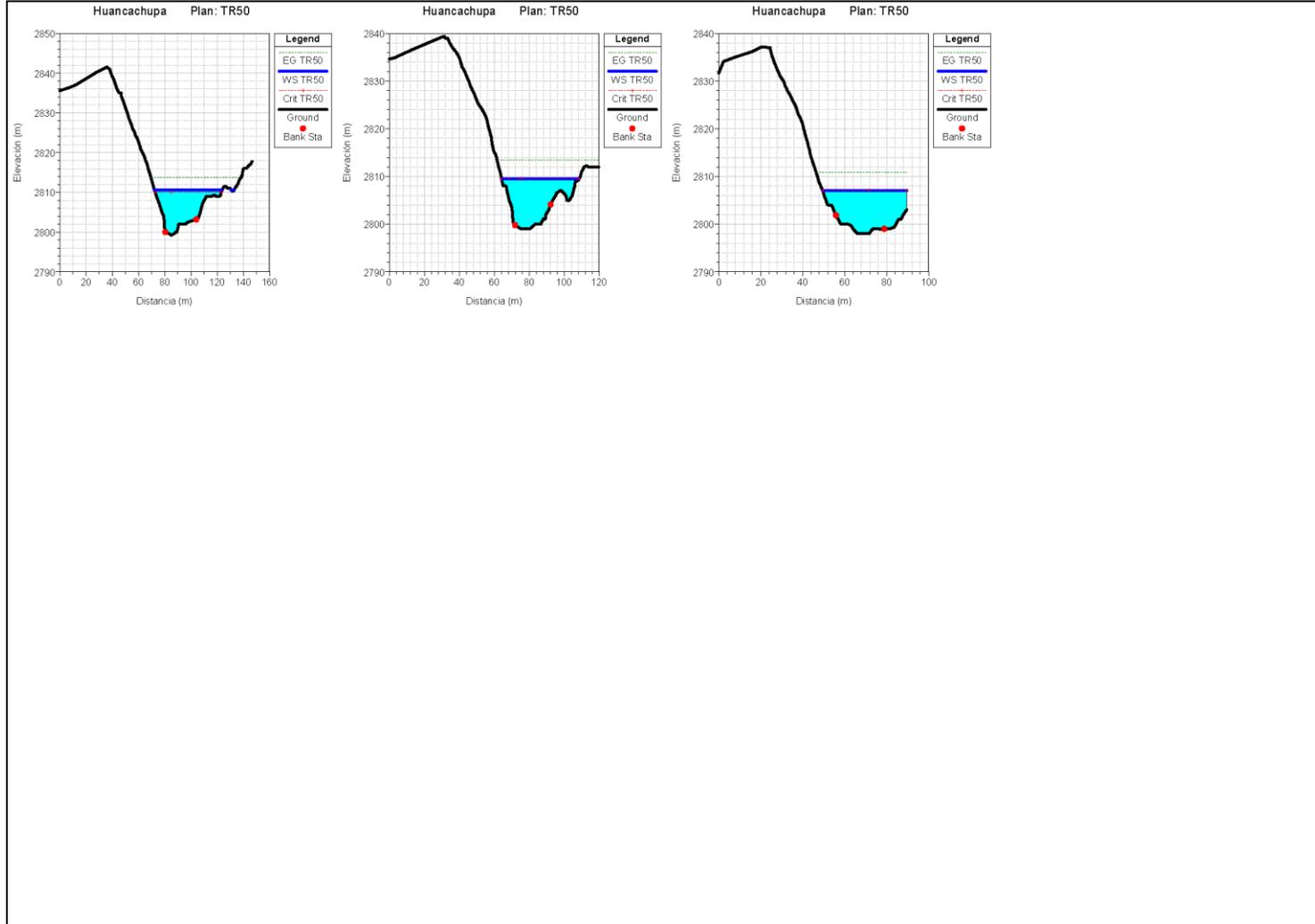
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 69**  
*Secciones de inundación para PR=50 años P3*



Fuente: Elaboración propia

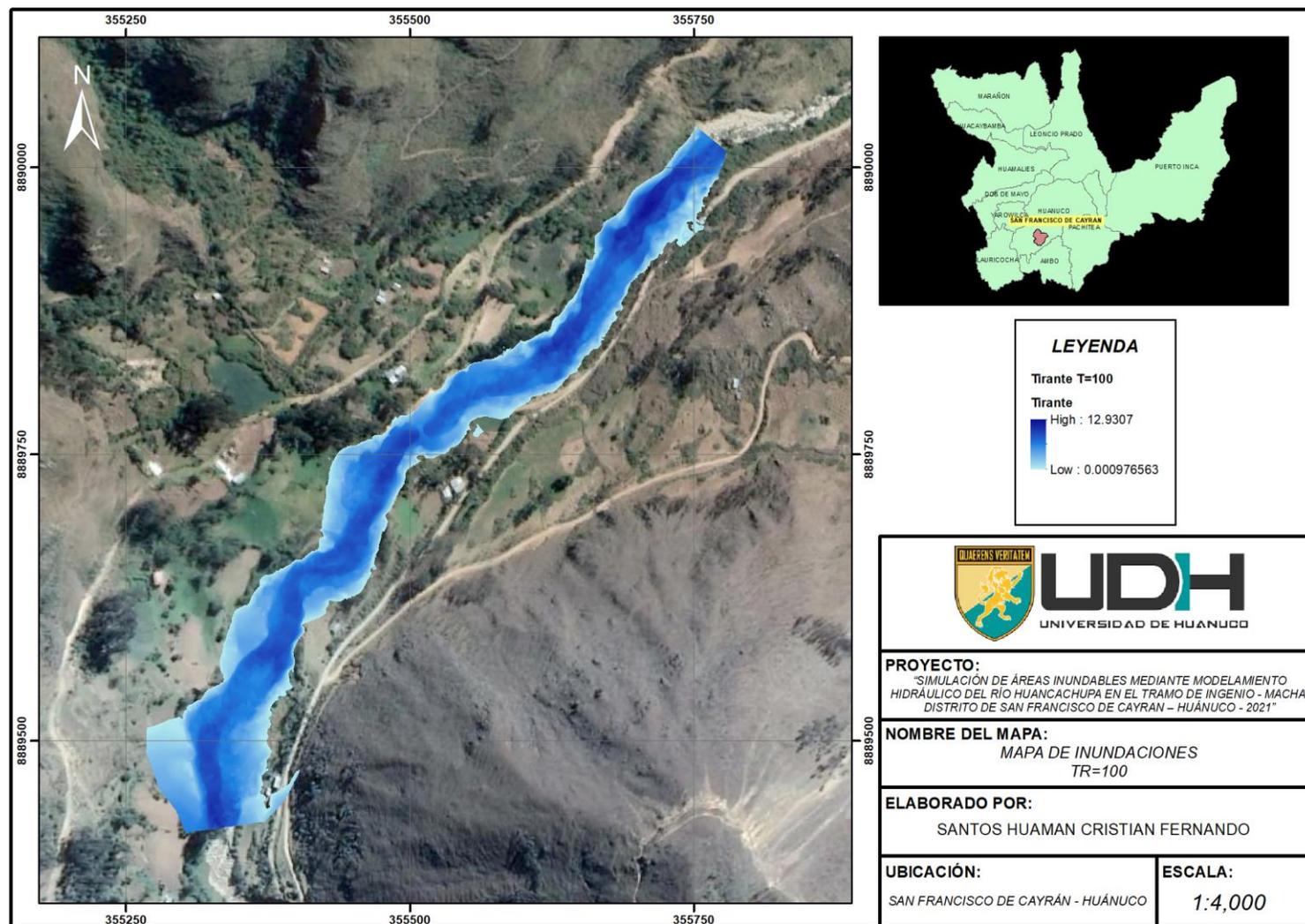
**Figura N° 70**  
*Secciones de inundación para PR=50 años P4*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 71**

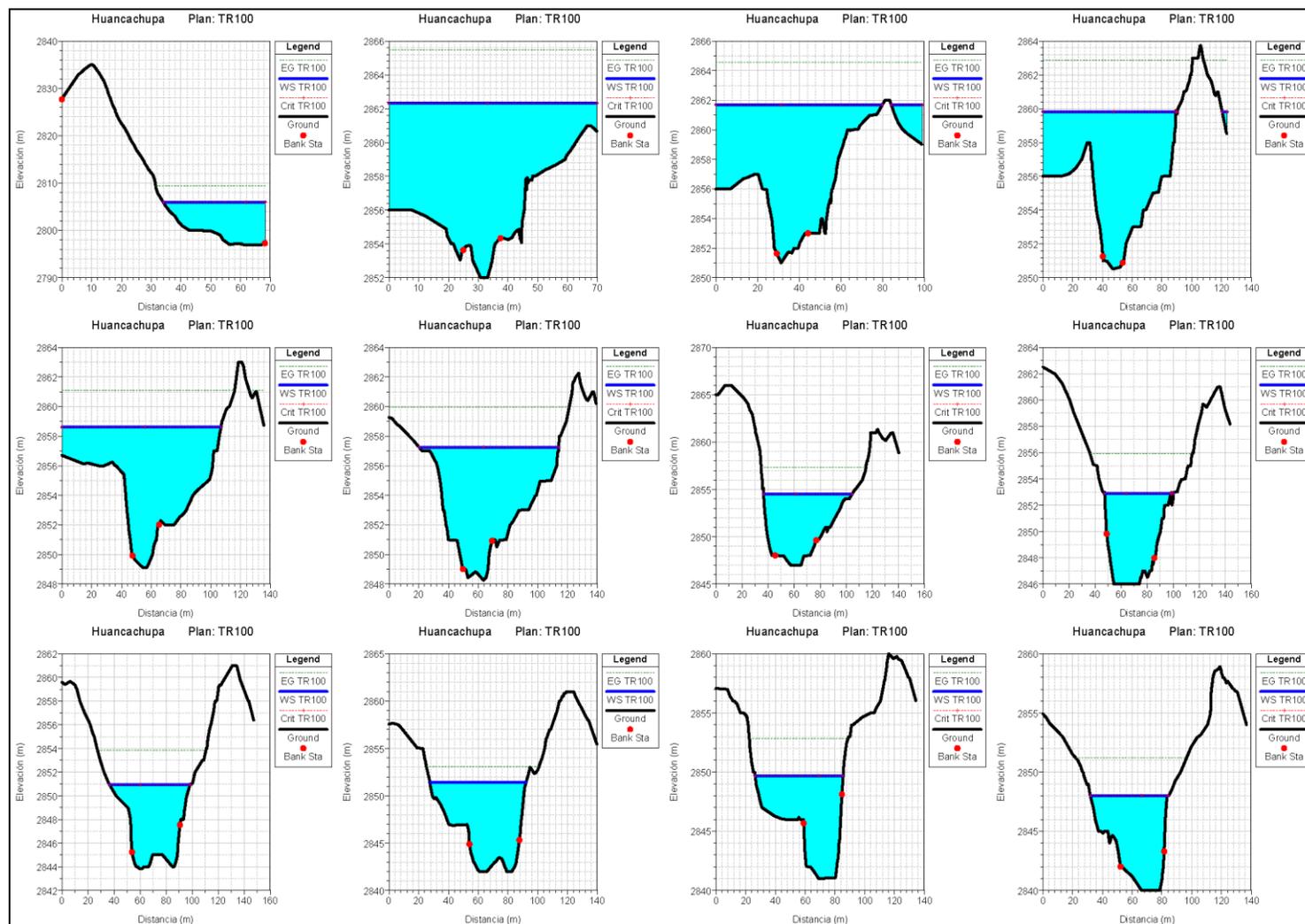
*Mapa de inundaciones PR=100 años*



Fuente: Elaboración propia

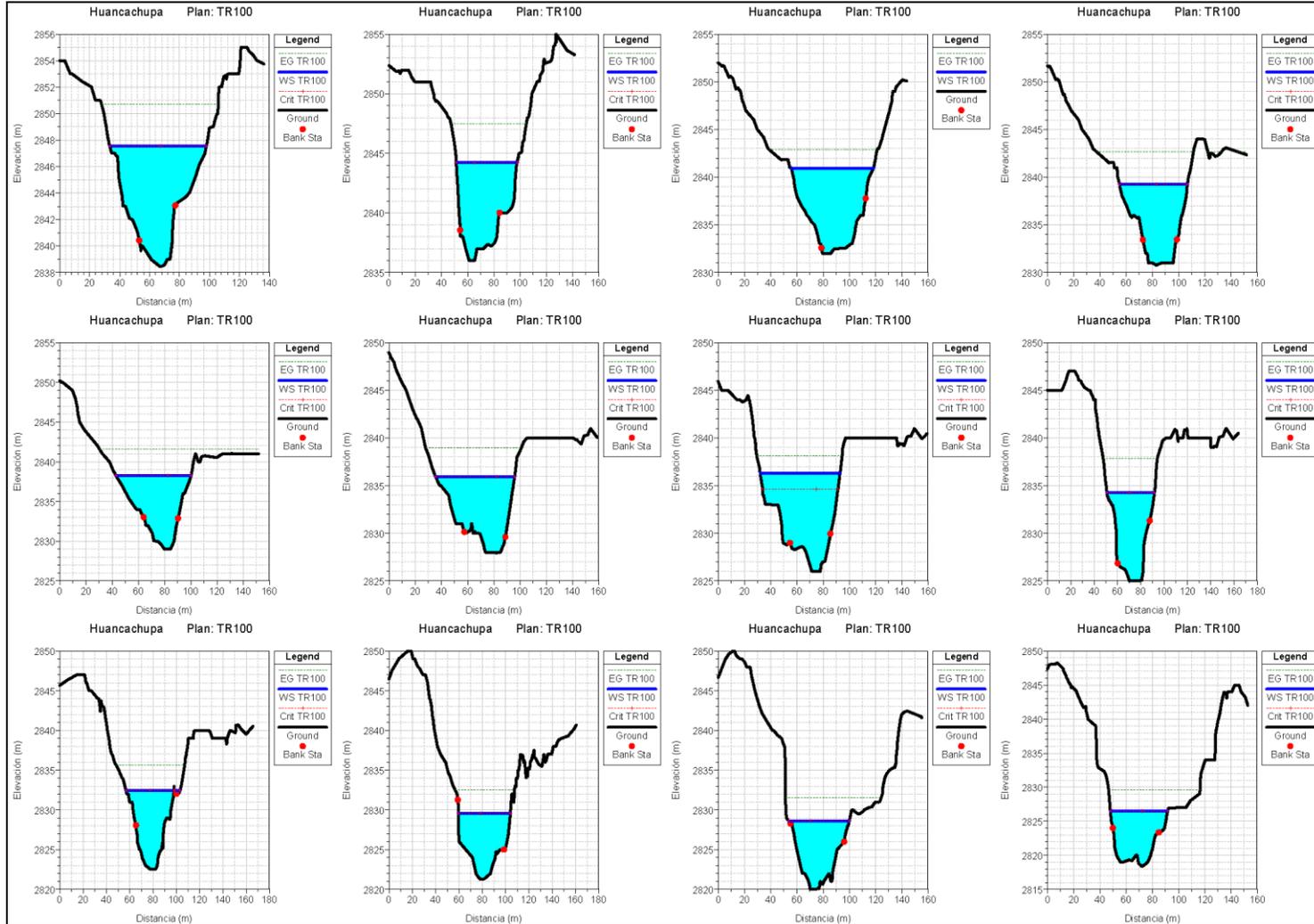
**Figura N° 72**

*Secciones de inundación para PR=100 años P1*



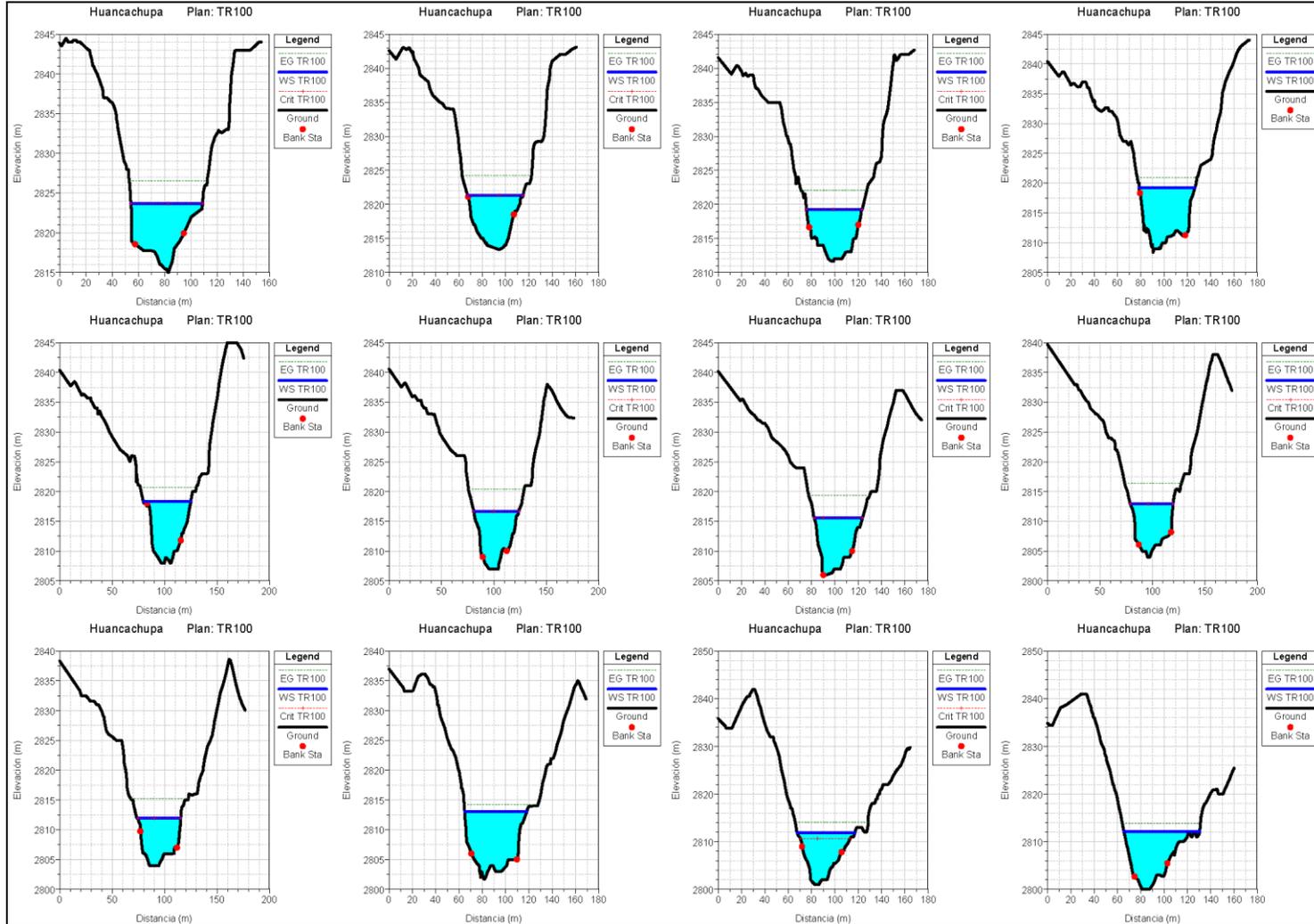
Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 73**  
*Secciones de inundación para PR=100 años P2*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 74**  
*Secciones de inundación para PR=100 años P3*

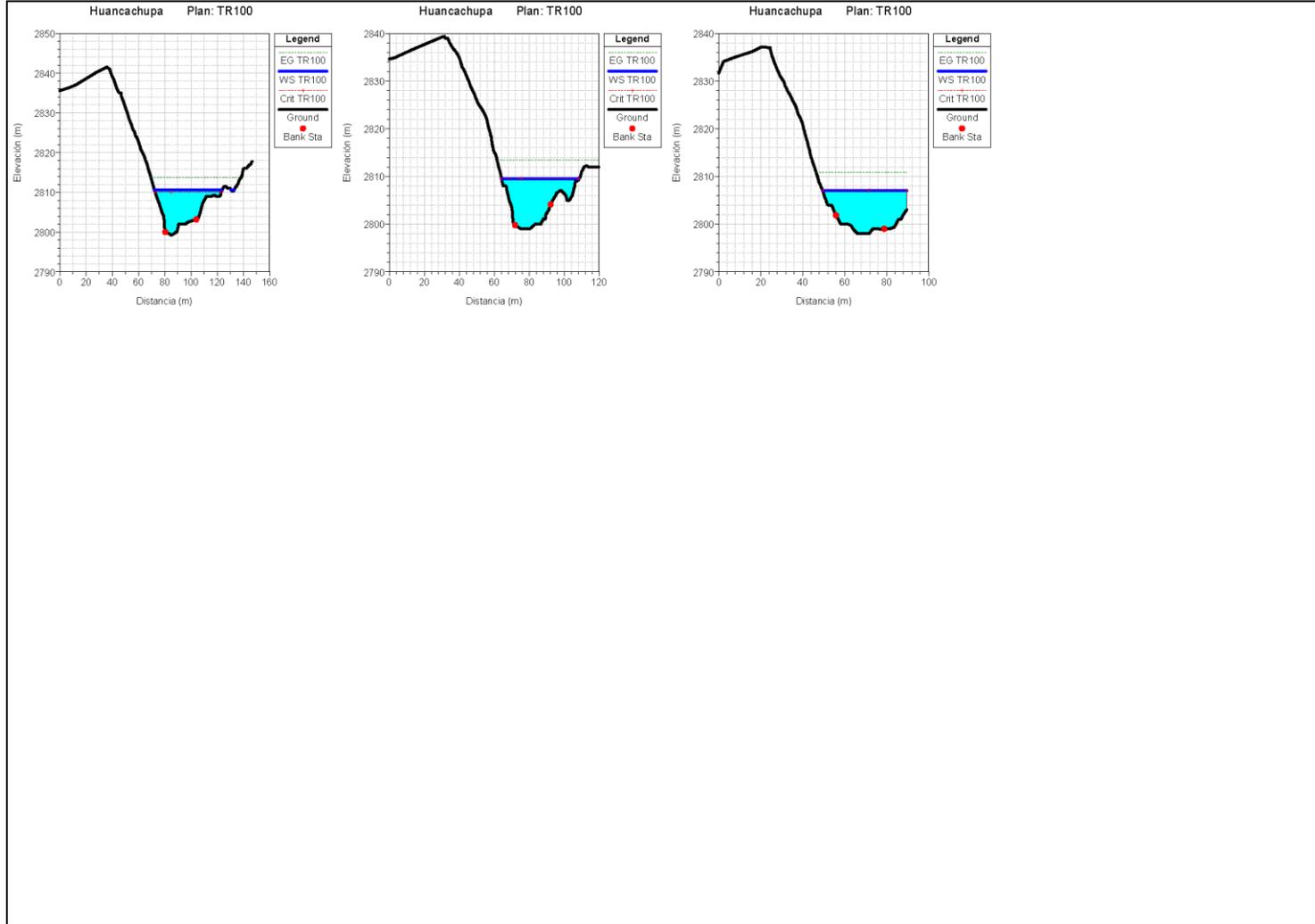


Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 75**

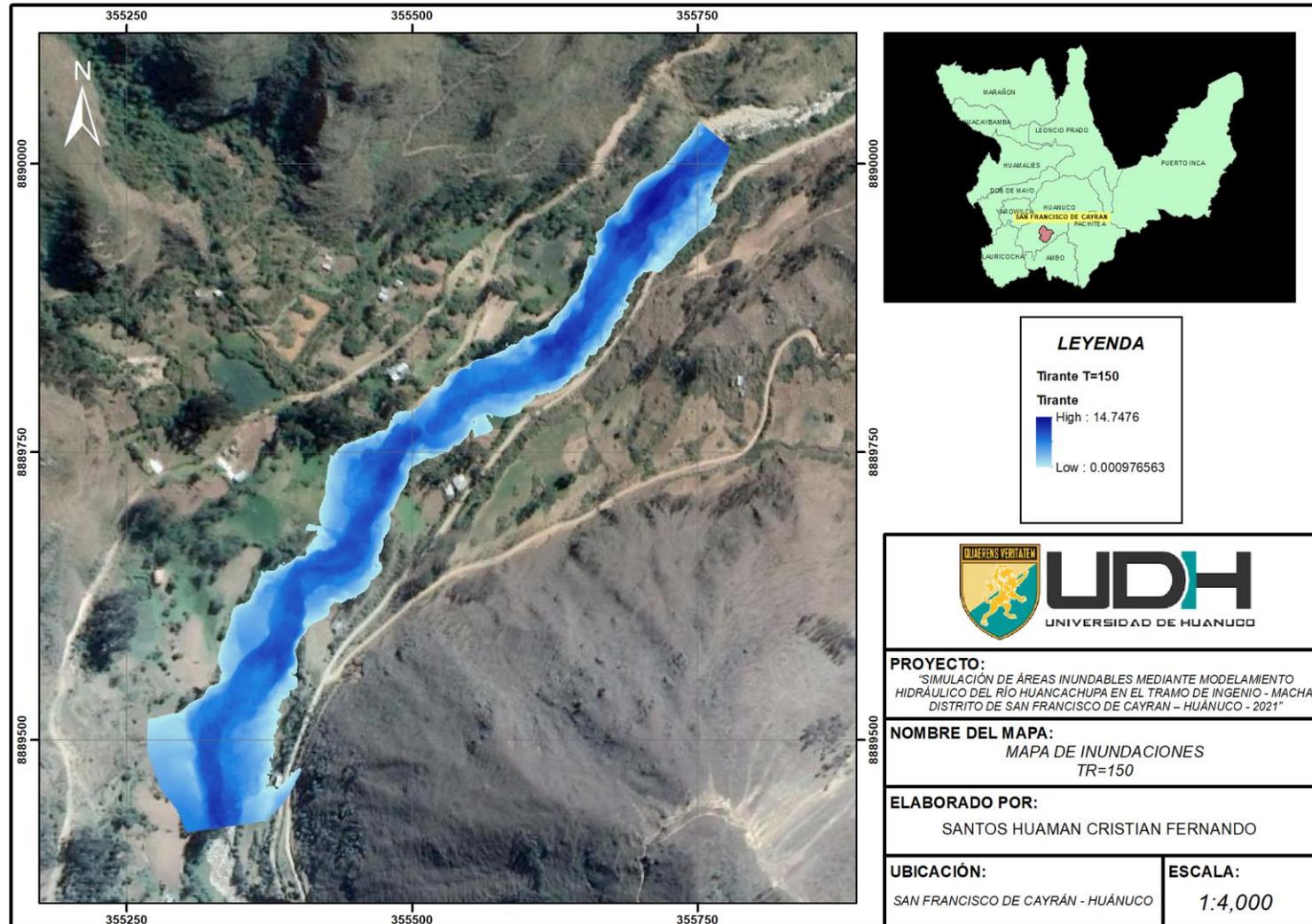
*Secciones de inundación para PR=100 años P4*



Fuente: Elaboración propia

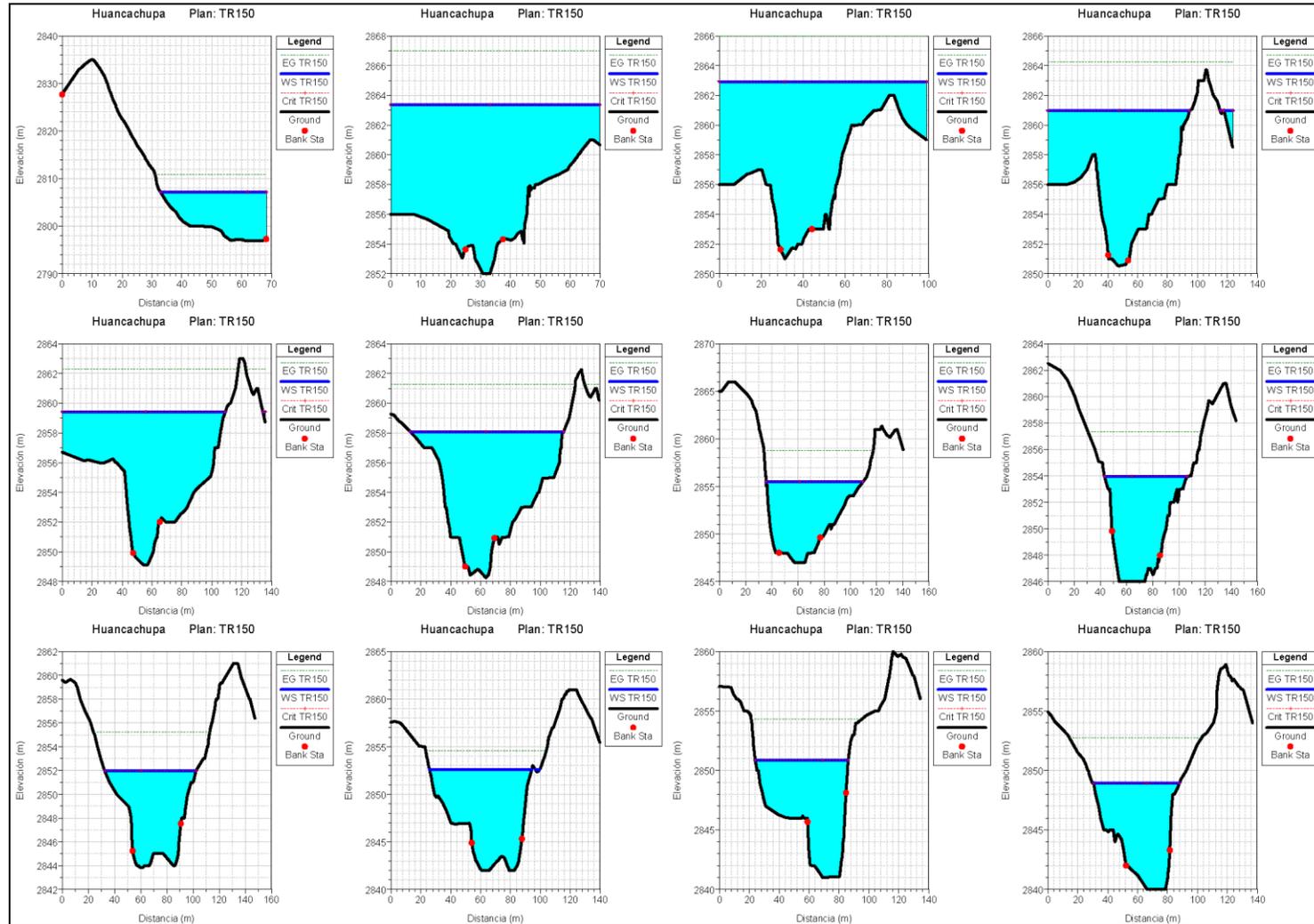
**Figura N° 76**

*Mapa de inundaciones PR=150 años*



Fuente: Elaboración propia

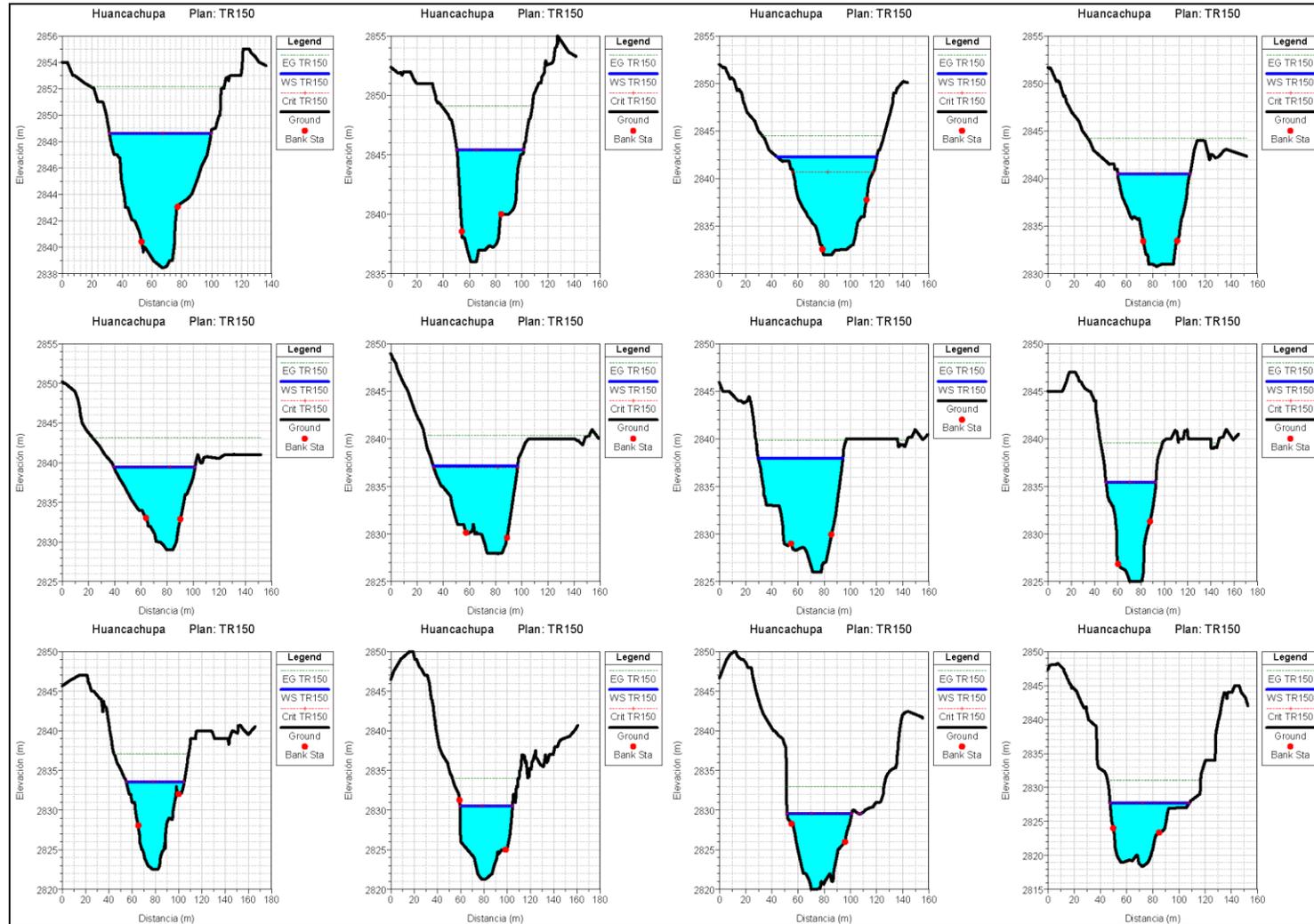
**Figura N° 77**  
**Secciones de inundación para PR=150 años P1**



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 78

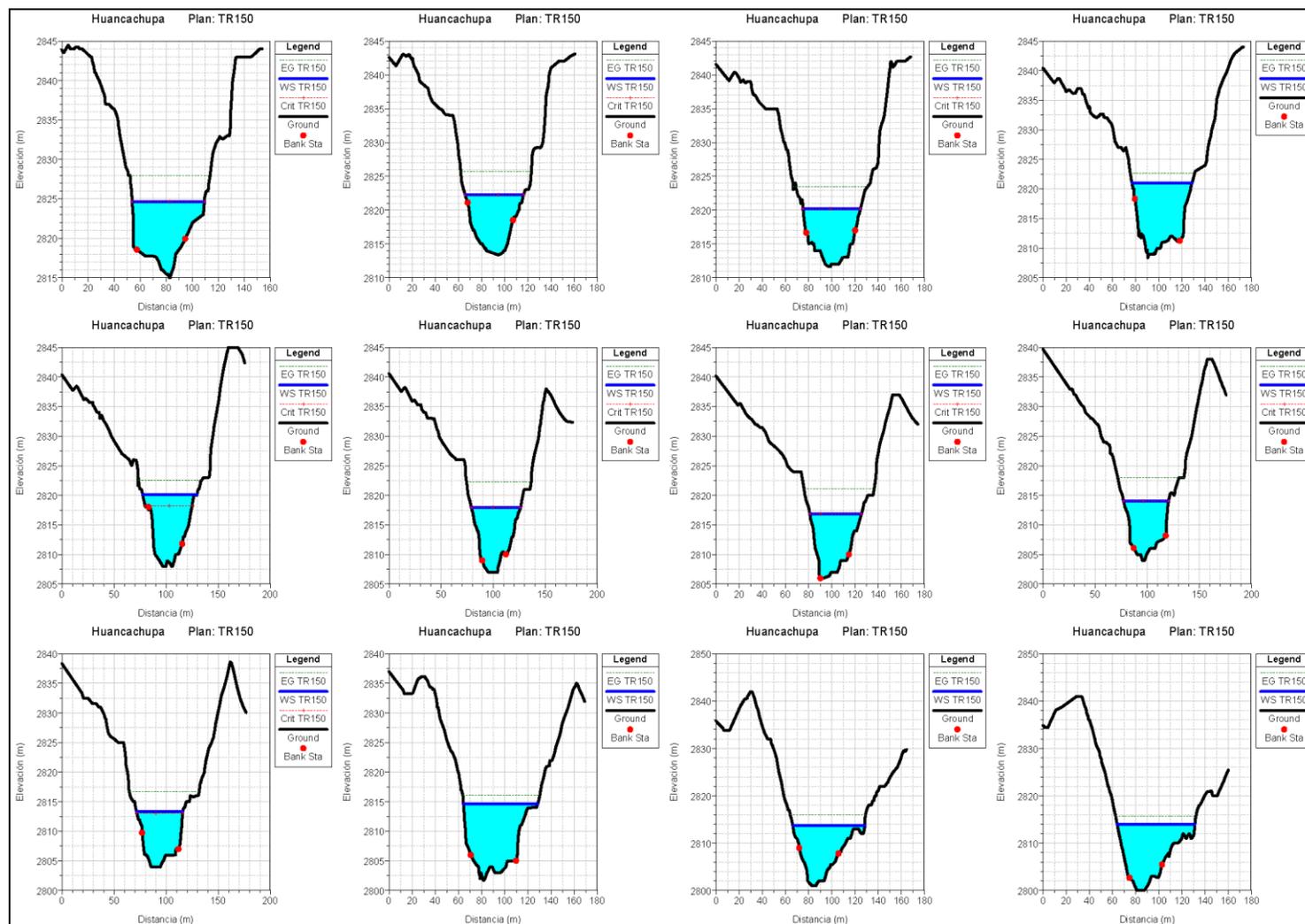
Secciones de inundación para PR=150 años P2



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 79

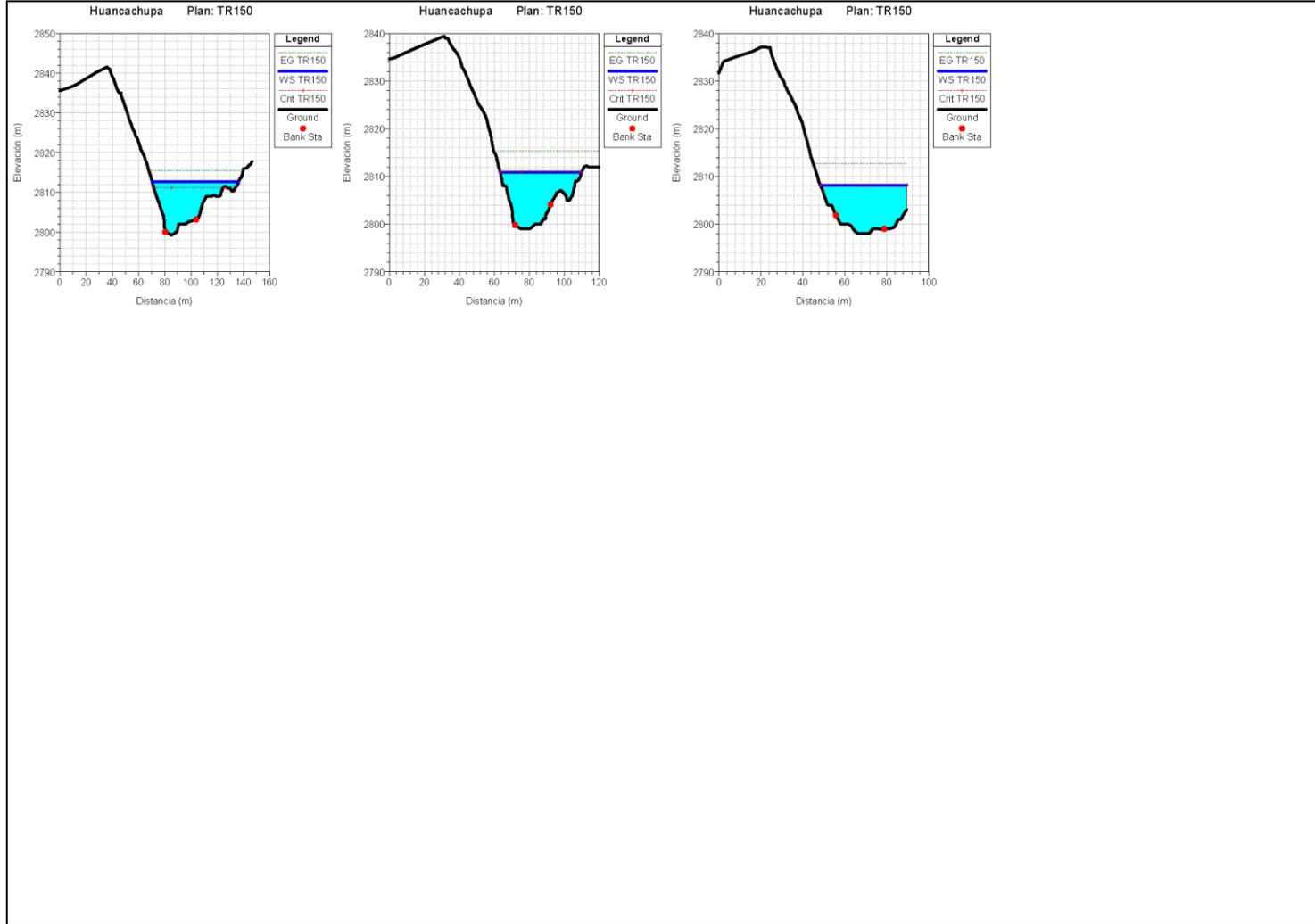
Secciones de inundación para PR=150 años P3



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 80**

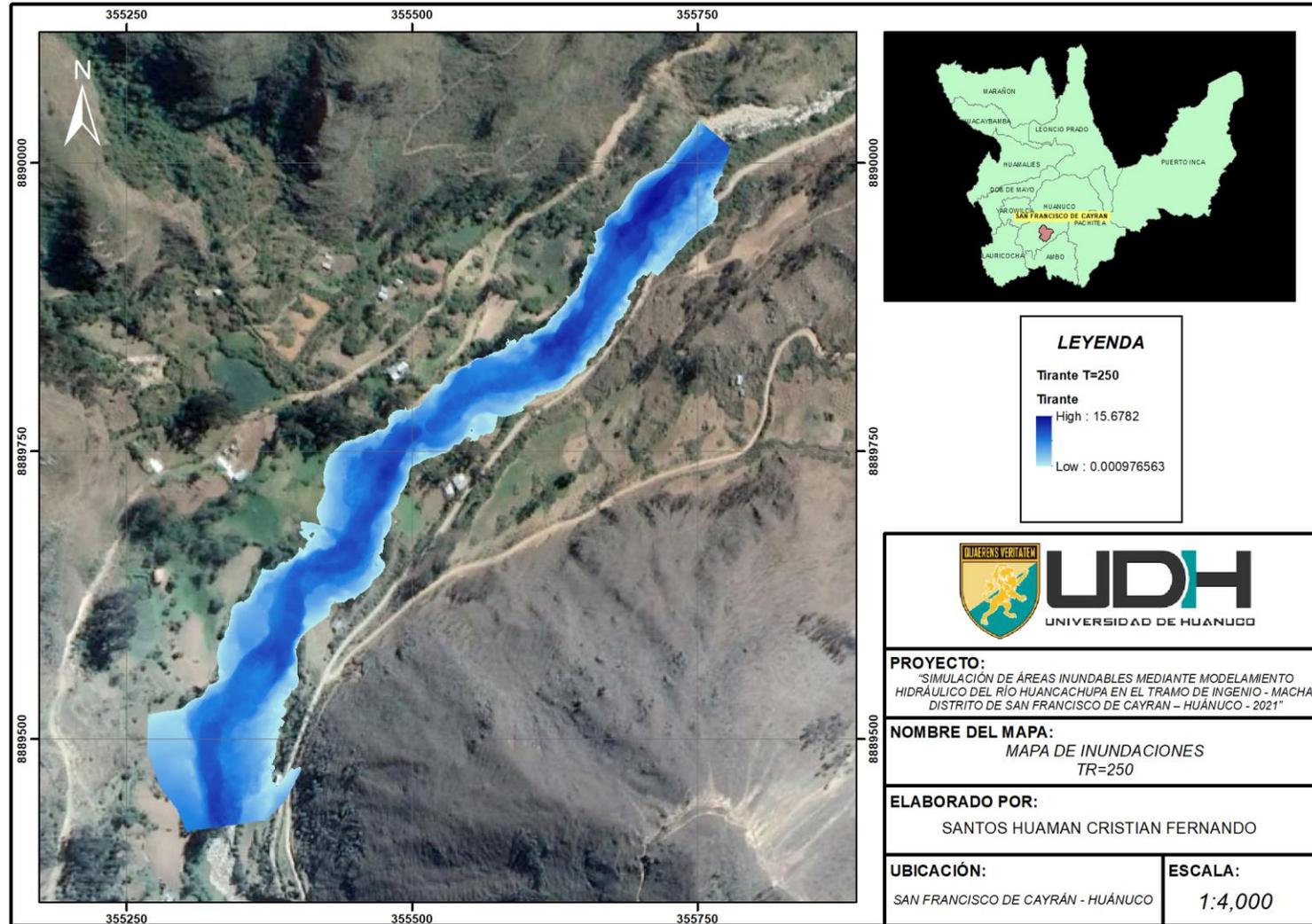
*Secciones de inundación para PR=150 años P4*



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 81

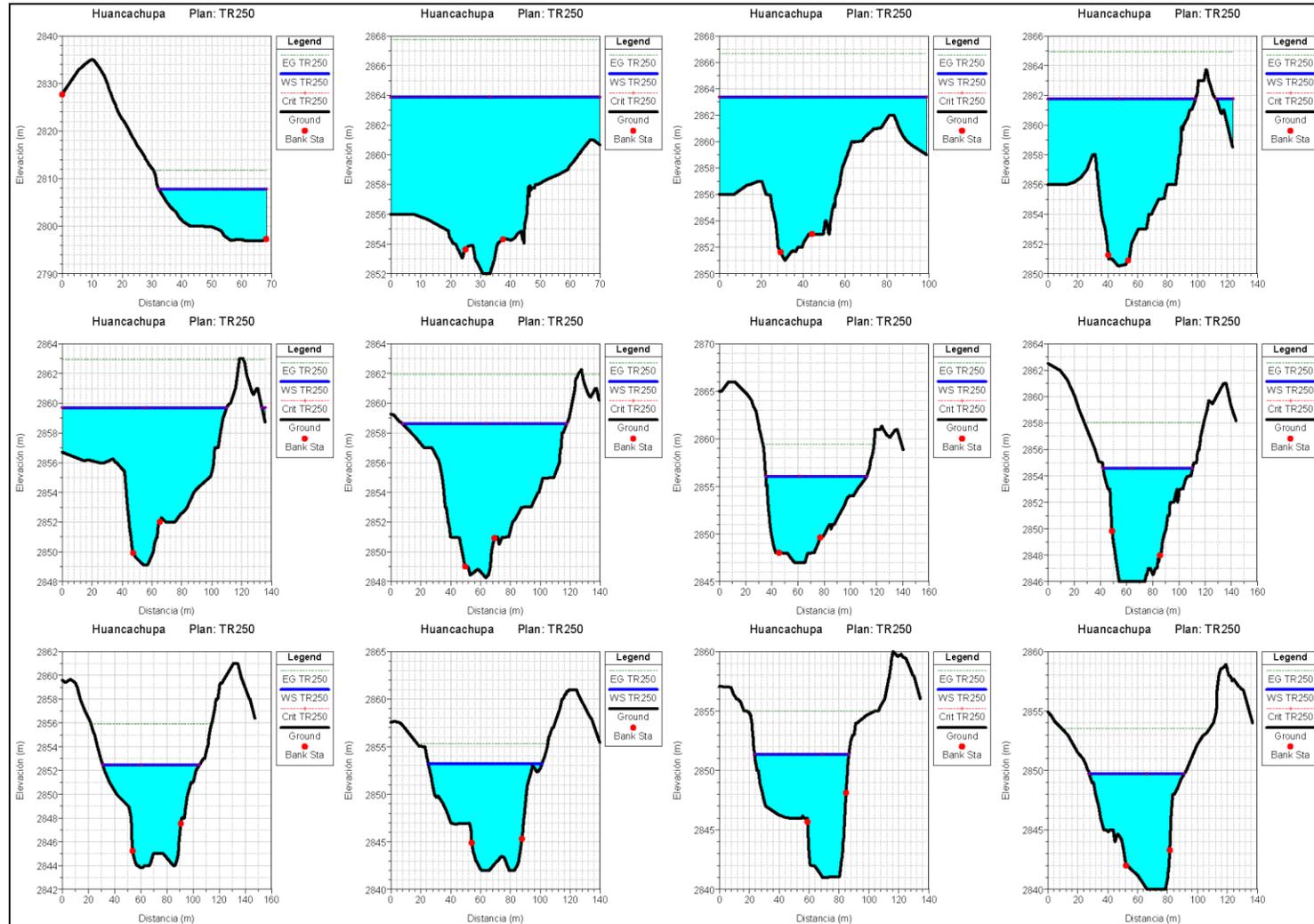
Mapa de inundaciones PR=250 años



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 82

Secciones de inundación para PR=250 años P1

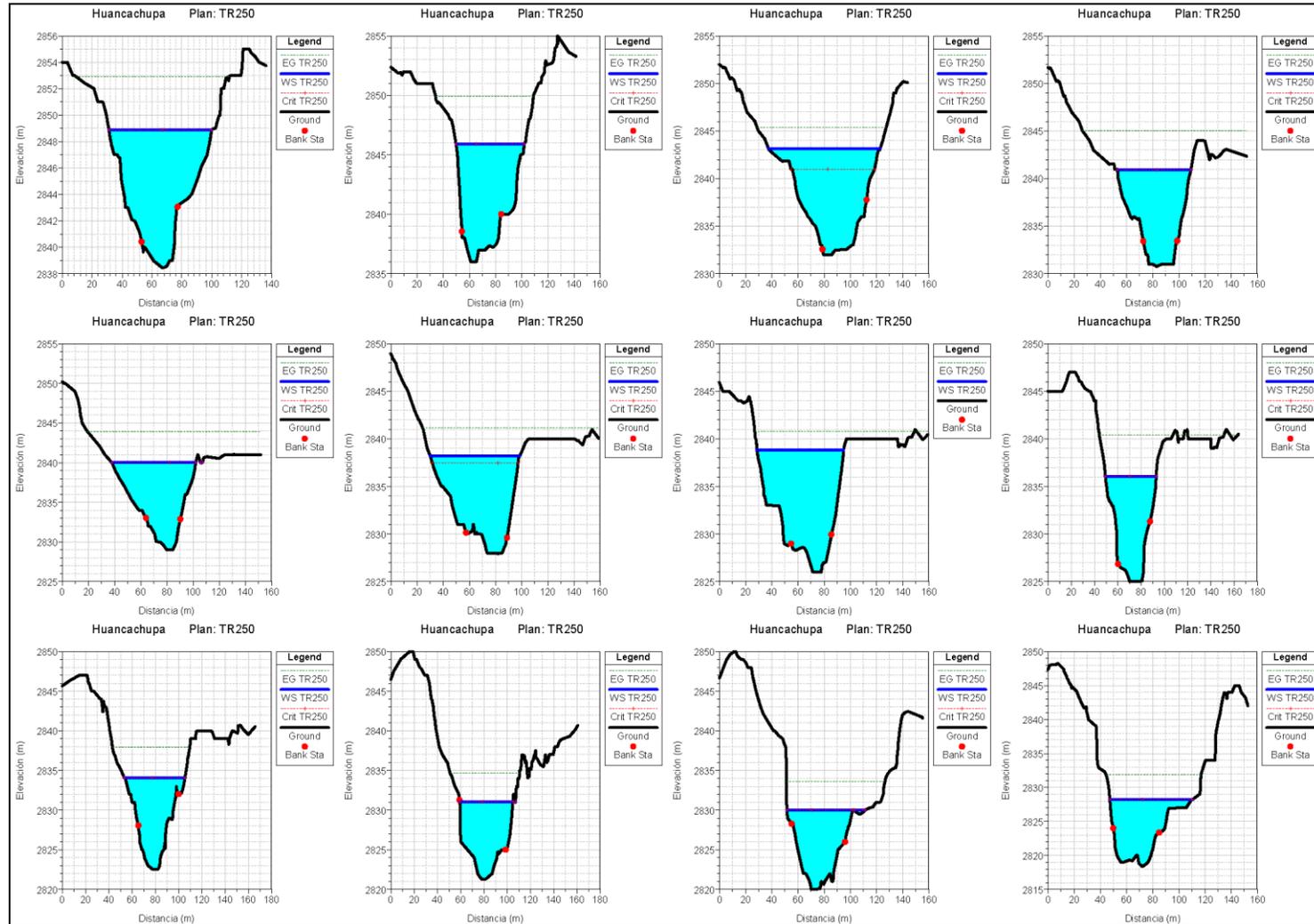


Fuente: Elaboración propia



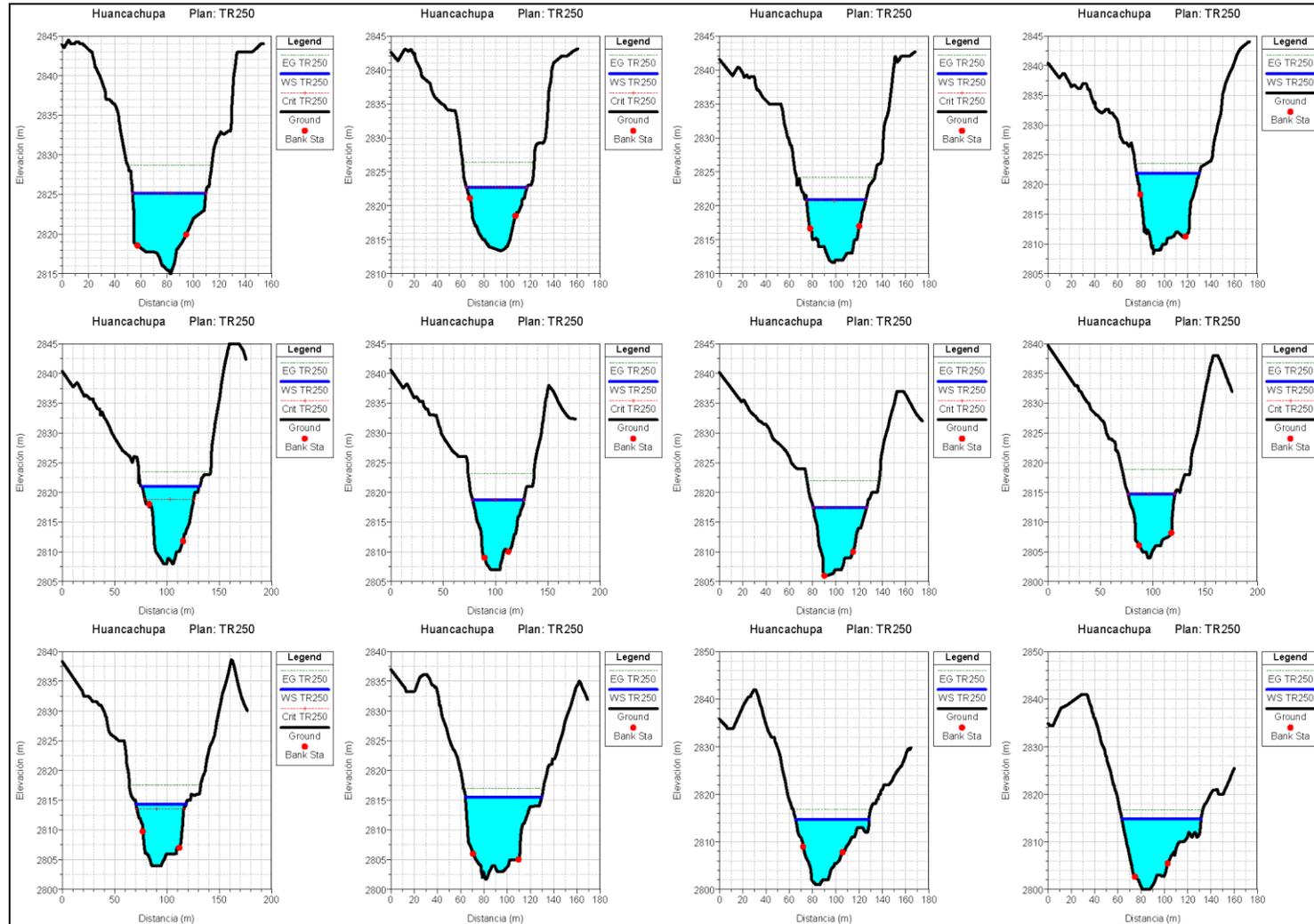
Figura N° 83

Secciones de inundación para PR=250 años P2



Fuente: Elaboración propia

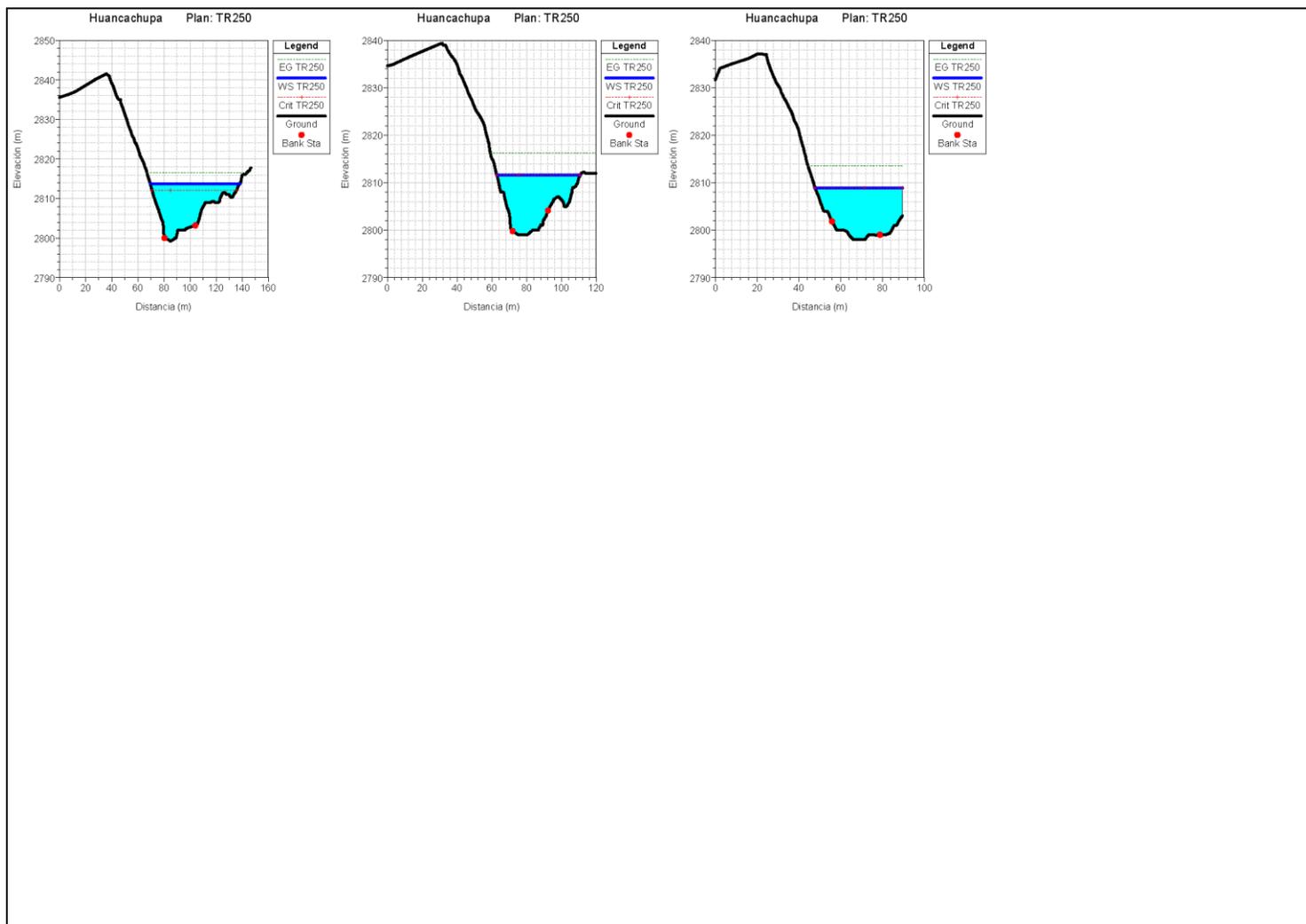
**Figura N° 84**  
*Secciones de inundación para PR=250 años P3*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 85**

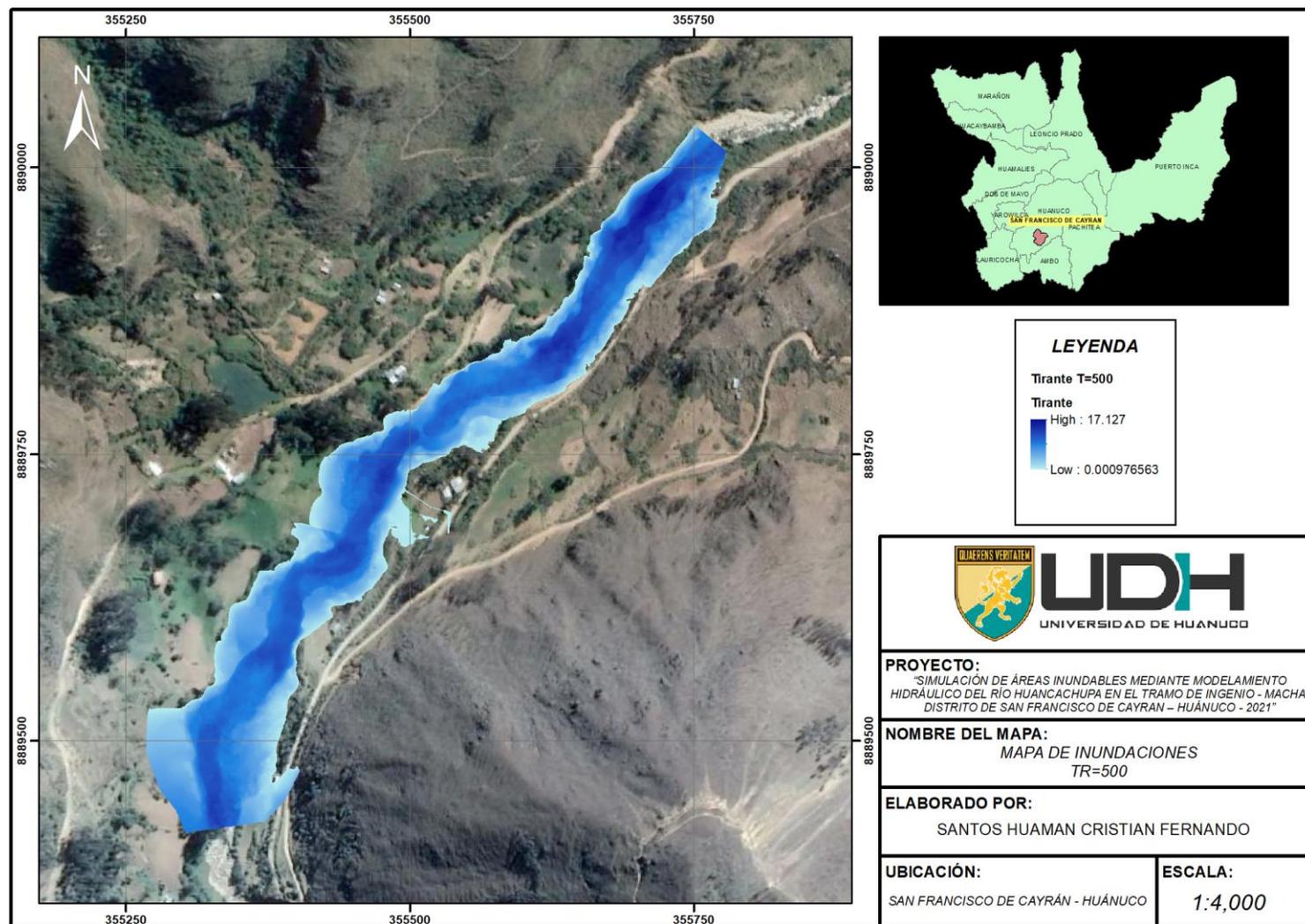
*Secciones de inundación para PR=250 años P4*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 86**

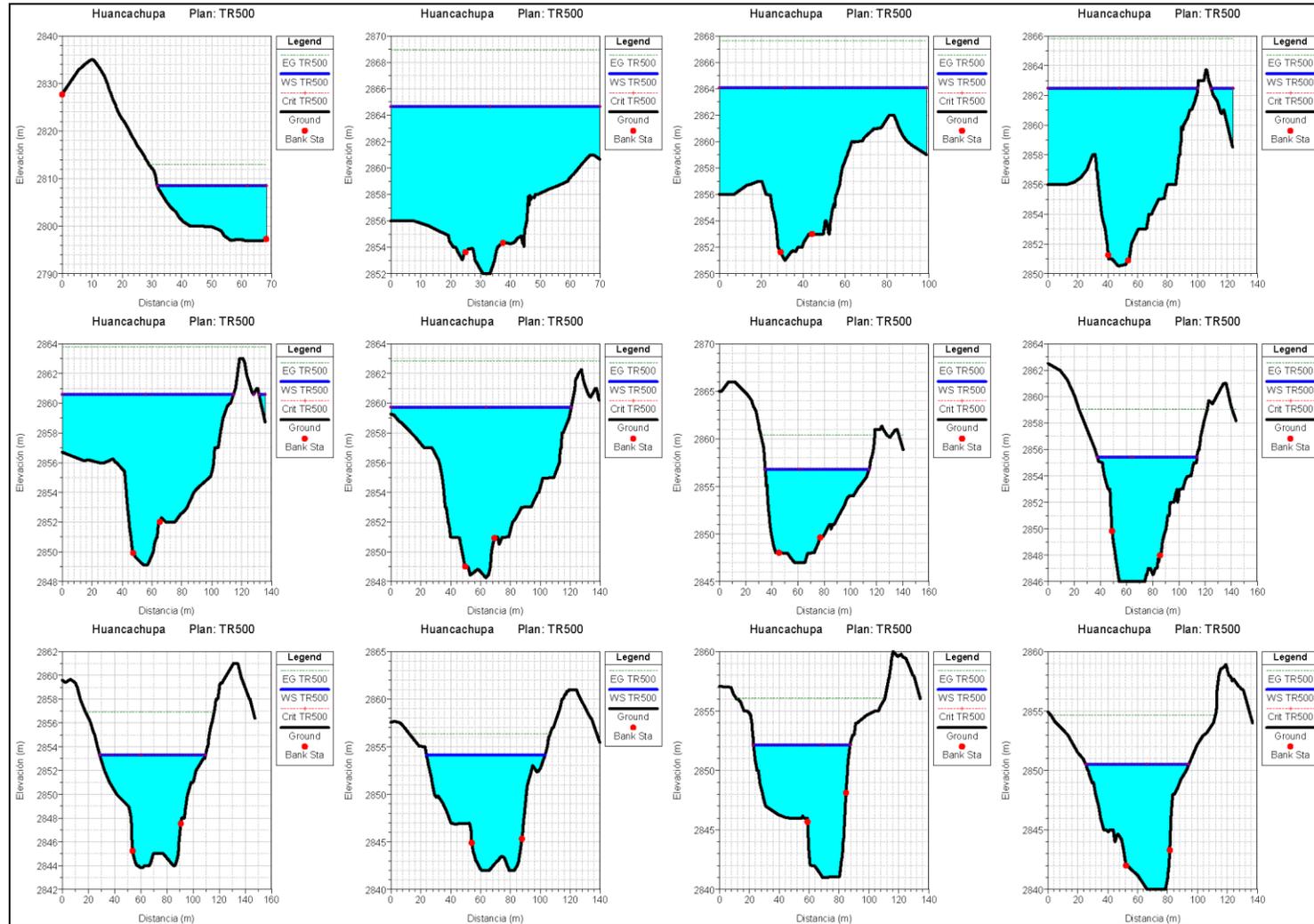
*Mapa de inundaciones PR=500 años*



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 87

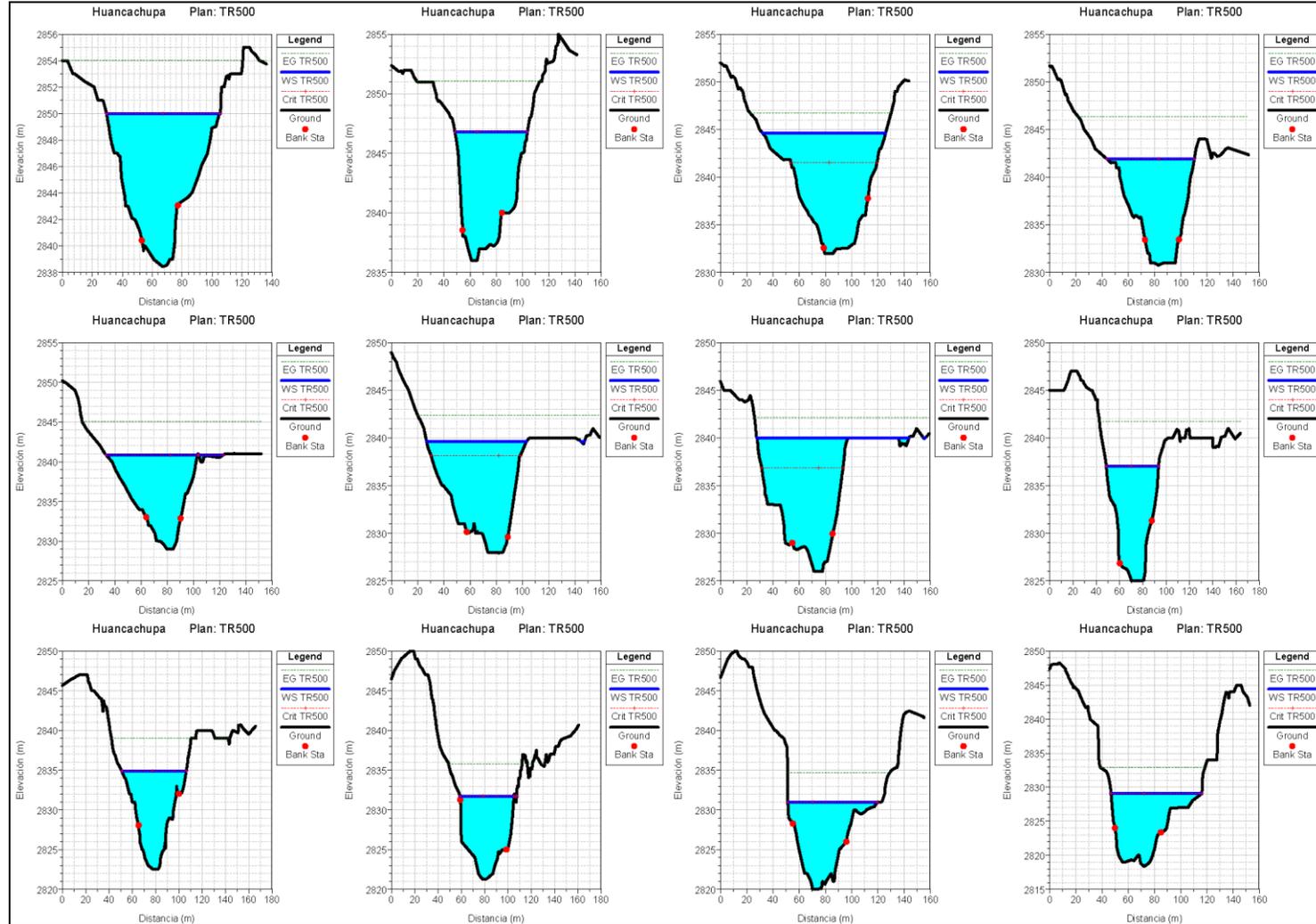
Secciones de inundación para PR=500 años P1



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 88

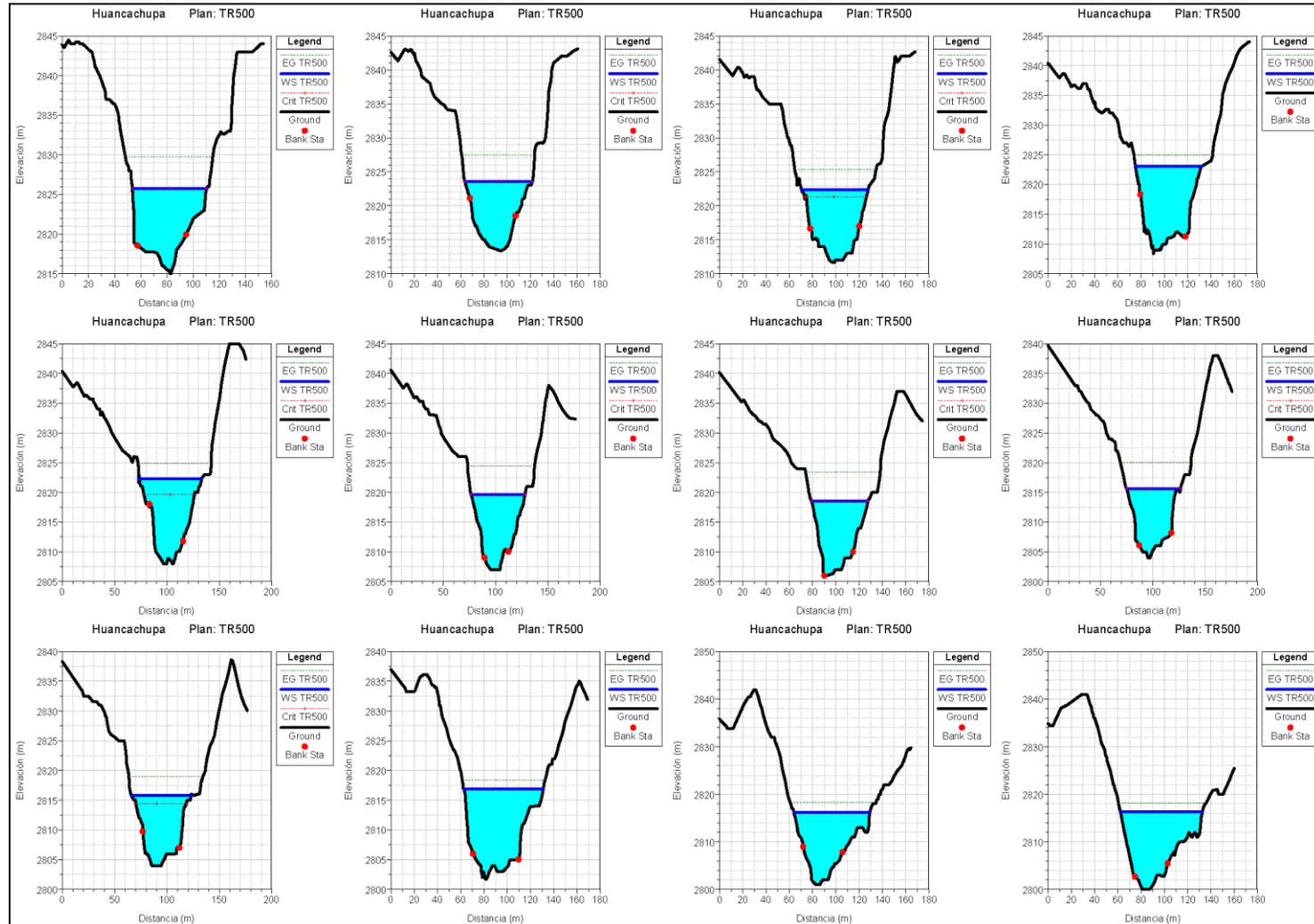
Secciones de inundación para PR=500 años P2



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 89

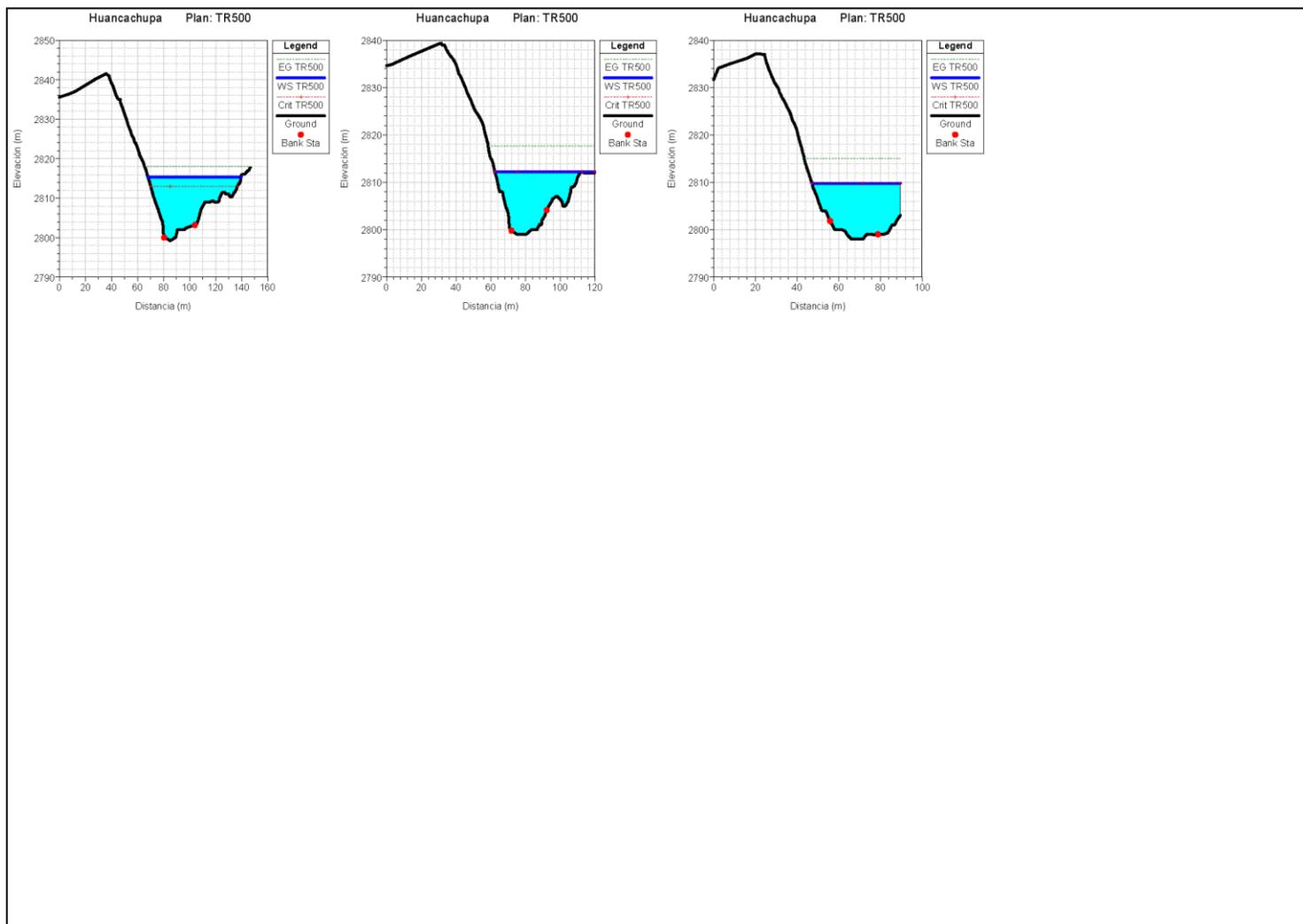
Secciones de inundación para PR=500 años P3



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 90**

*Secciones de inundación para PR=500 años P4*

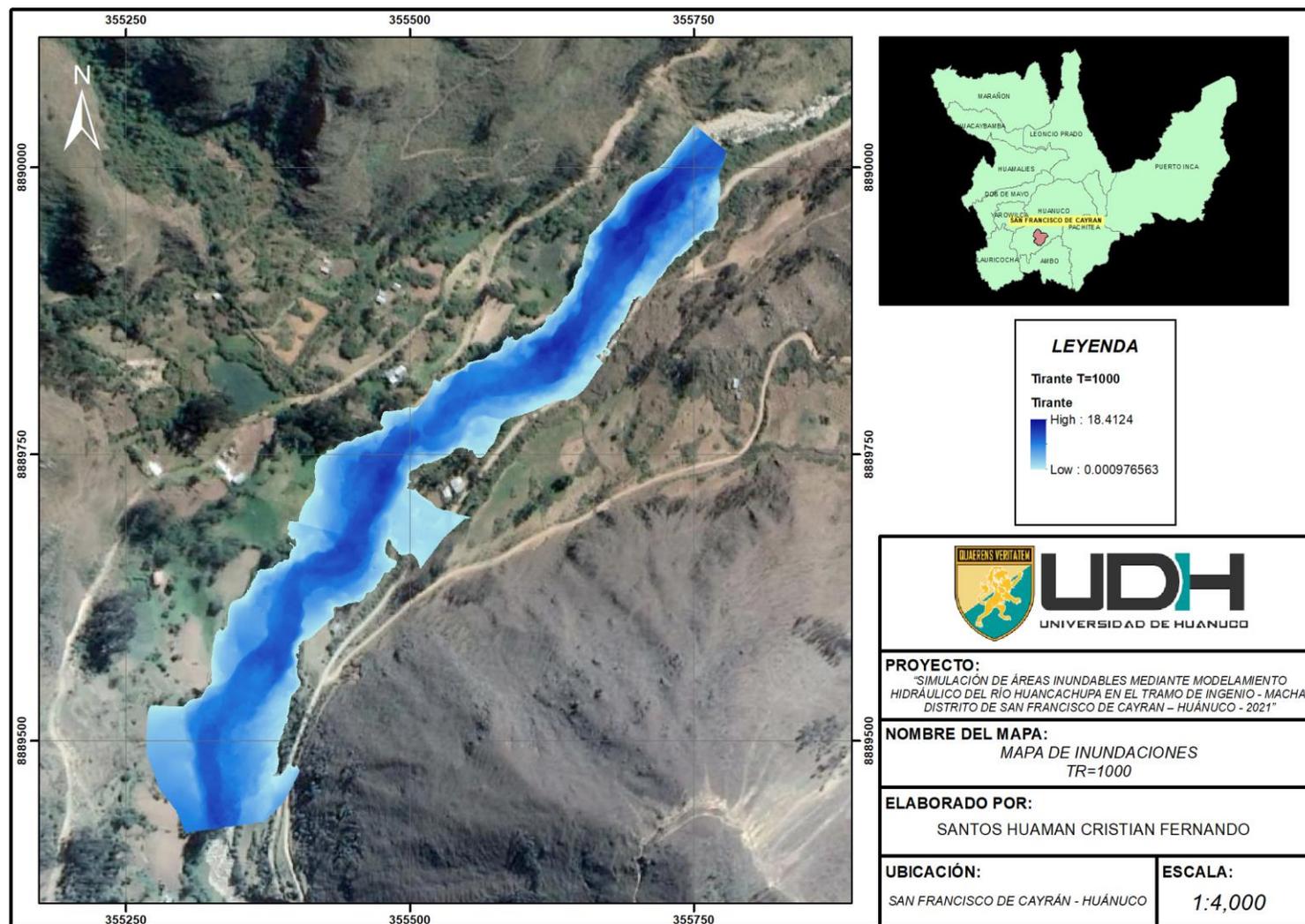


Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 91**

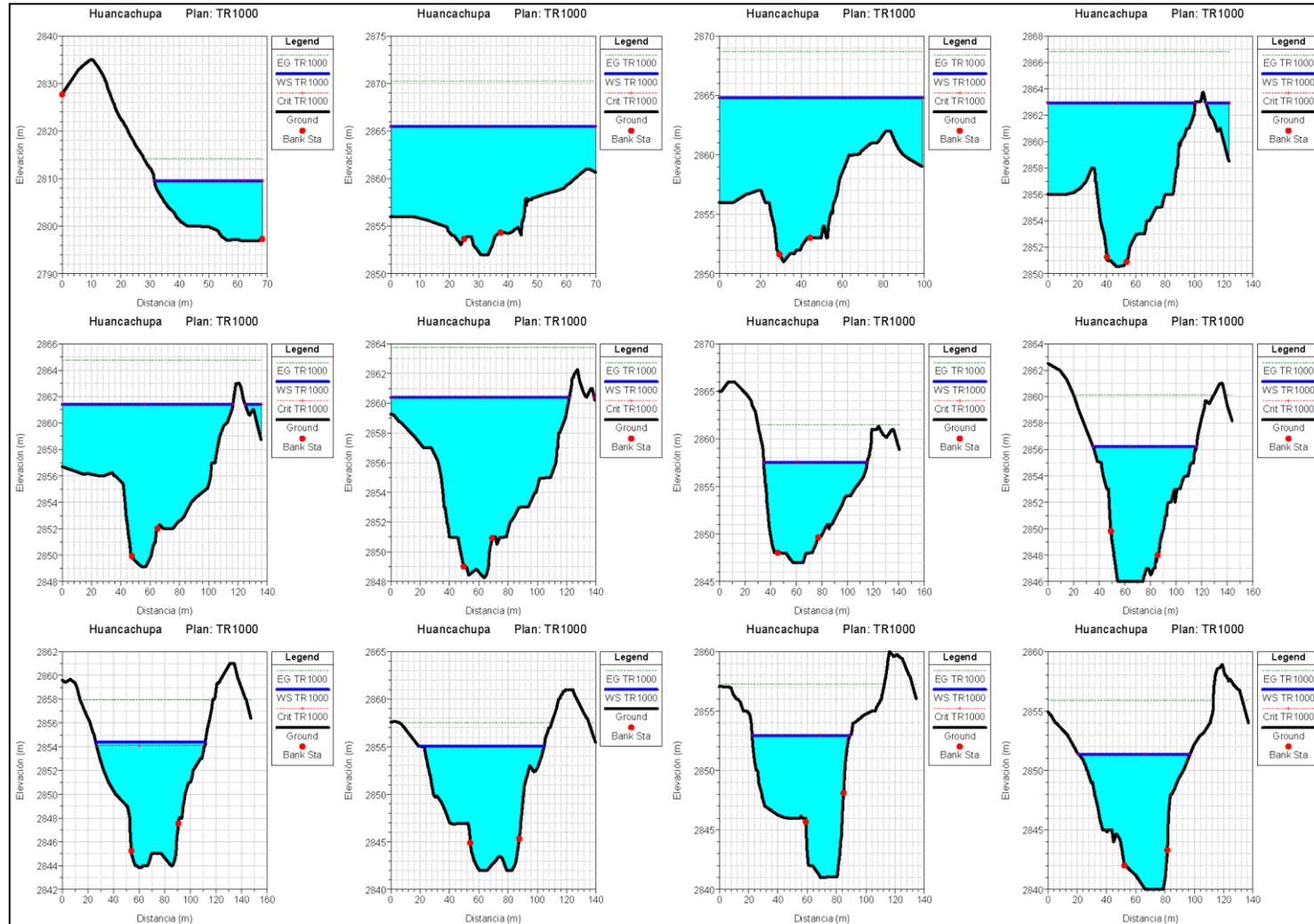
*Mapa de inundaciones PR=1000 años*



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 92

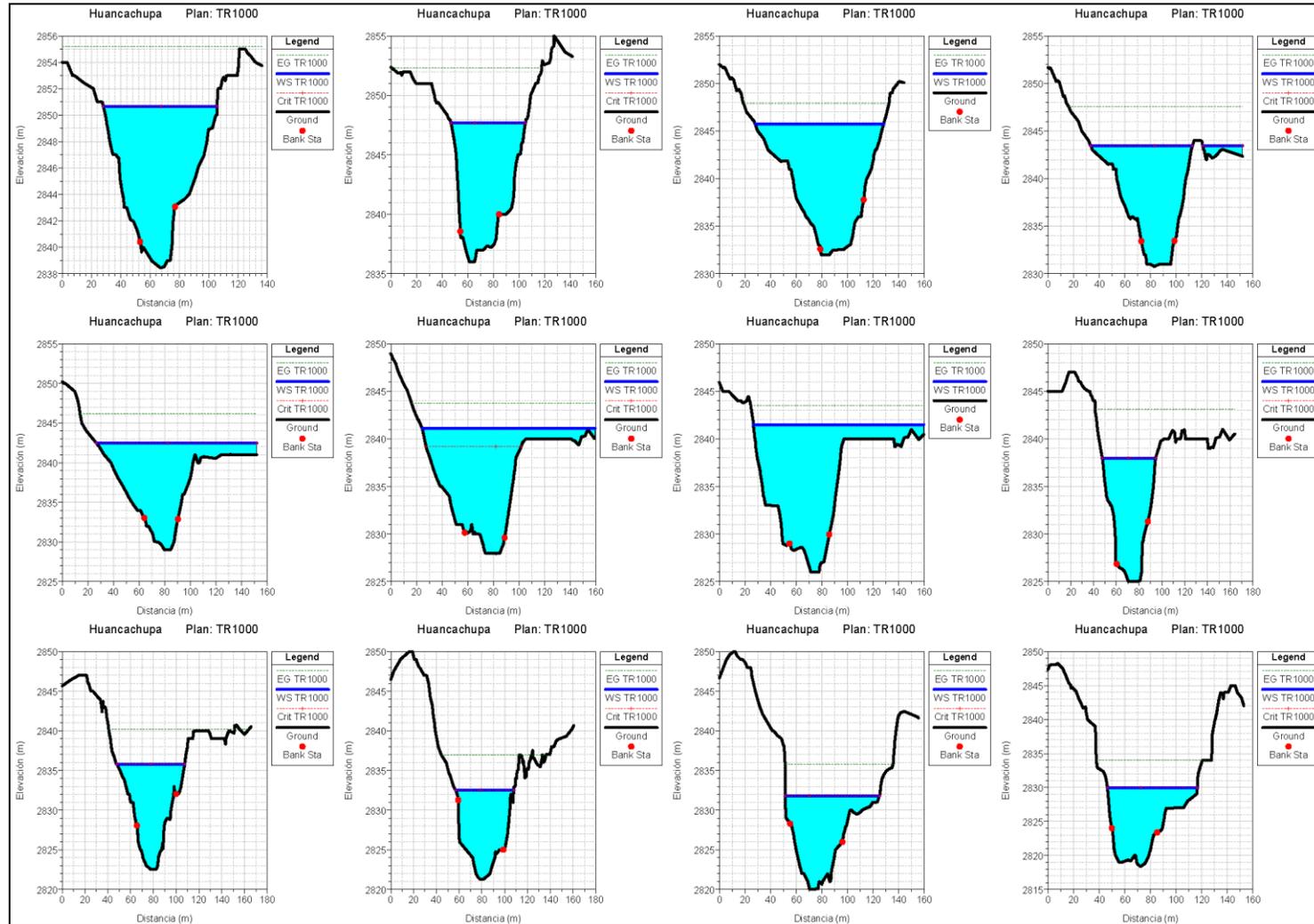
Secciones de inundación para PR=1000 años P1



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 93

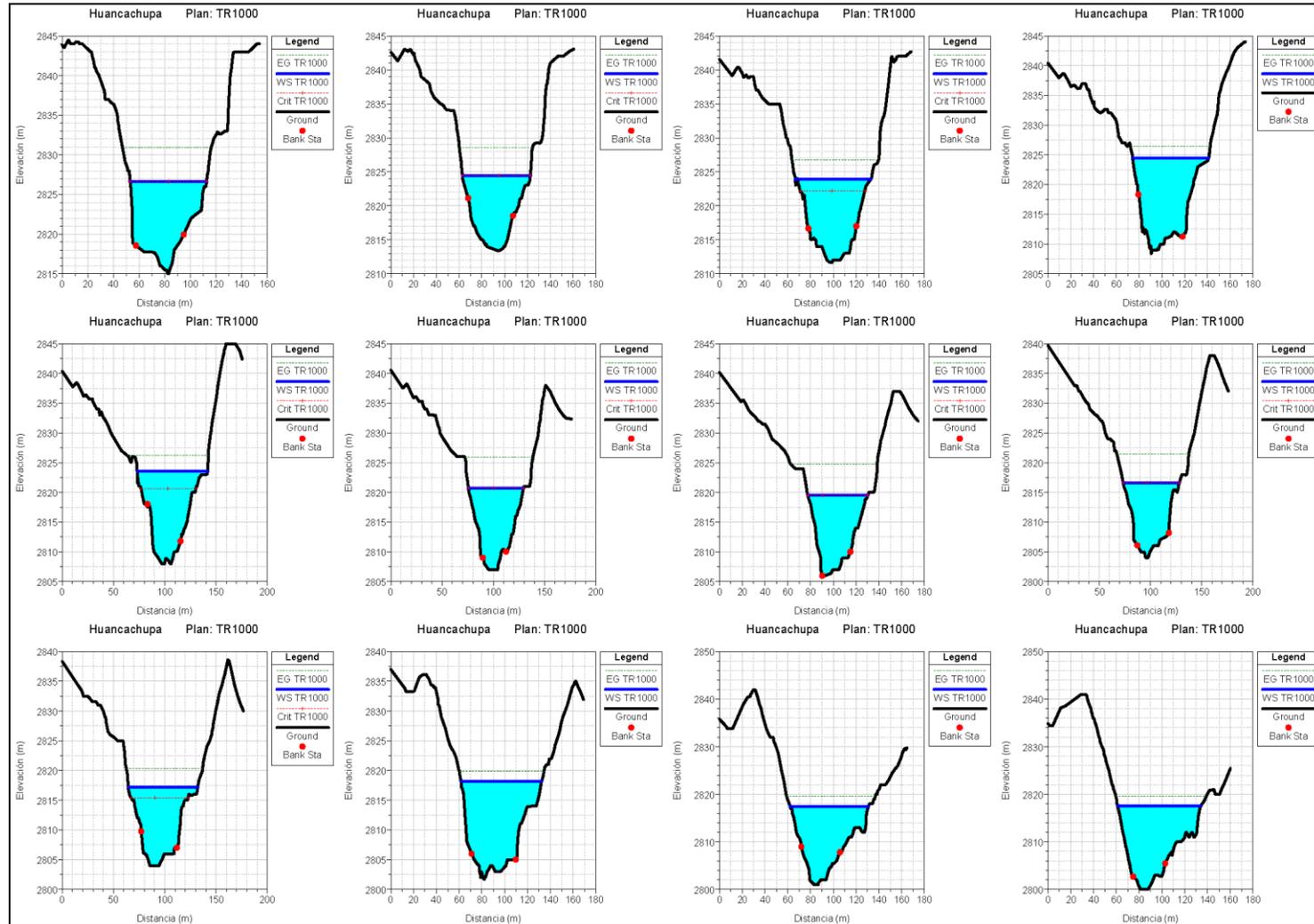
Secciones de inundación para PR=1000 años P2



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 94

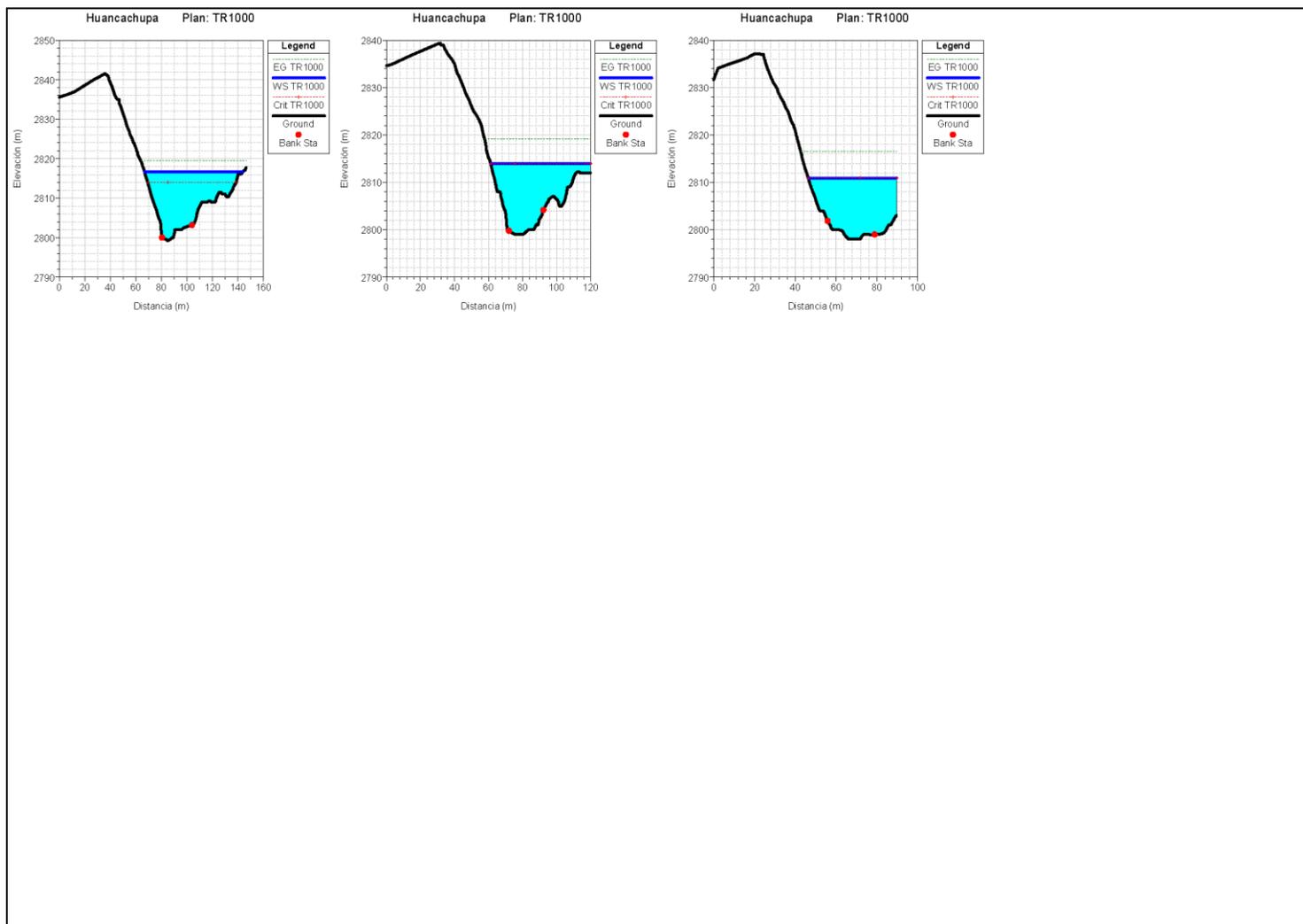
Secciones de inundación para PR=1000 años P3



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 95**

*Secciones de inundación para PR=1000 años P4*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 96**

*Vista panorámica en punto aleatorio del área a intervenir.*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 97**

*Vista panorámica configurando el dron para que inicie el vuelo.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 98**

*Vista de dron empleado para la fotogrametría del área de estudio.*



Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 99**

*Vista de control de dron.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 100**

*Vista de punto de control para el vuelo.*



Fuente: Elaboración propia