

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE, EN EL  
DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE,  
2020**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ**

**ASESOR**

**RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ**

<https://orcid.org/0000-0002-3785-2704>

**Chiclayo, 2021**

**ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE, EN EL  
DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE  
LAMBAYEQUE, 2020**

PRESENTADA POR:

**FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR:

Juan Alejandro Agreda Barbaran

PRESIDENTE

Angel Antonio Ruiz Pico

SECRETARIO

Richard Paul Pehovaz Alvarez

ASESOR

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, agradecer a Dios, por darme la vida y la oportunidad de estudiar esta carrera.

A mis padres, que siempre me han apoyado en todo momento, y me han ayudado durante toda mi vida en mi preparación tanto como persona, como profesional; y su constante dedicación y sacrificio para poder enseñarme valores y ser una persona de bien.

A mi hermano menor, que siempre es mi motivo principal para seguir adelante día y a día, y en futuro apoyarlo a ser un gran profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer al ingeniero Richard Paul Pehovaz Alvarez, por su apoyo constante y por guiarme para poder realizar esta investigación de la mejor manera, y tener la dedicación y paciencia para guiarme en el camino.

## RESUMEN

En esta investigación se realizó el análisis hidrológico de la cuenca Motupe, y posteriormente el análisis hidráulico del río Motupe, para así, poder obtener un mapa de inundación que permita identificar las zonas susceptibles a este fenómeno, en el distrito de Motupe, departamento de Lambayeque.

Para poder realizar el mapa de inundación, se parte del análisis hidrológico que consta de delimitar la cuenca Motupe, determinar sus características, con ayuda del programa ArcGis.

Para el análisis hidrológico, se empleó el modelo matemático Hec-HMS. Previamente, se recolectó datos de estaciones pluviométricas del 1971 a 2005, de las estaciones: Motupe, Jayanca, Cueva Blanca, El Limón y Olmos, y se usaron métodos probabilísticos como LOG PEARSON III y GUMBEL, y el ajuste de bondad de Smirnov Kolmogorov. Se obtuvo para 100 años un caudal de 468.3 m<sup>3</sup>/s, para 200 años un caudal de 874 m<sup>3</sup>/s, y para 500 años un caudal de 2062.4 m<sup>3</sup>/s.

Para el análisis hidráulico, se necesitó realizar visitas a campo, para poder determinar el coeficiente de rugosidad más apropiado para el río, y además para obtener un panorama más amplio sobre el lugar de estudio. También, a partir de un modelo de elevación digital (DEM) proporcionado por la NASA a través de su satélite ASTER, se obtuvieron la topografía y secciones transversales. Con la extensión HEC – GEORAS se y en conjunto con ARCGIS y HEC RAS, se obtuvieron las áreas de inundación, concluyendo así que se necesitarían obras que ayuden a mitigar el riesgo, y se optó por dique enrocado, y finalmente se modeló la sección con la propuesta de solución, resultando satisfactorio la propuesta de solución.

**Palabras clave:** Inundación, Mapa de inundación, HEC – RAS, HEC – HMS

## ABSTRACT

In this research, the hydrological analysis of the Motupe basin was carried out, and later the hydraulic analysis of the Motupe river, in order to obtain a flood map that allows identifying the areas susceptible to this phenomenon, in the district of Motupe, department of Lambayeque.

In order to carry out the flood map, we start from the hydrological analysis that consists of delimiting the Motupe basin, determining its characteristics, with the help of the ArcGis program.

For the hydrological analysis, the mathematical model Hec-HMS was used. Previously, data was collected from rainfall stations from 1971 to 2005, from the stations: Motupe, Jayanca, Cueva Blanca, El Limón and Olmos, and probabilistic methods such as LOG PEARSON III and GUMBEL were used, and the goodness adjustment of Smirnov Kolmogorov. A flow of 468.3 m<sup>3</sup> / s was obtained for 100 years, for 200 years a flow of 874 m<sup>3</sup> / s, and for 500 years a flow of 2062.4 m<sup>3</sup> / s.

For the hydraulic analysis, it was necessary to carry out field visits, to be able to determine the most appropriate roughness coefficient for the river, and also to obtain a broader panorama on the study place. Also, from a digital elevation model (DEM) provided by NASA through its ASTER satellite, topography and cross sections were obtained. With the HEC - GEORAS extension and in conjunction with ARCGIS and HEC RAS, the flood areas were obtained, thus concluding that works would be needed to help mitigate the risk, and a rocky dock was chosen, and finally the section was modeled with the solution proposal, the solution proposal being satisfactory.

**Keywords:** Flood, Flood Map, HEC - RAS, HEC - HMS

## Índice

I. INTRODUCCIÓN.....	14
II. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS .....	18
2.1. Antecedentes .....	18
2.2. Bases Legales .....	21
2.2.1. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje .....	21
2.2.2. Ley de Recursos Hídricos: Ley N° 29338 .....	21
2.3. Bases Teóricas.....	22
2.3.1. Hidrología .....	22
2.3.1.1. Ciclo Hidrológico.....	22
2.3.1.2. Balance Hídrico .....	23
2.3.1.3. Cuenca Hidrográfica.....	24
2.3.1.4. Precipitación .....	27
a. Estimación de Datos Faltantes .....	28
b. Análisis de consistencia de datos.....	30
c. Análisis probabilístico de precipitación .....	31
d. Pruebas de bondad de ajuste.....	33
e. Cálculo de precipitación media .....	34
f. Hietograma .....	37
g. Curvas I – D – F.....	37
2.3.1.5. Escorrentía .....	39
2.3.1.6. Infiltración .....	41
2.3.1.7. Hidrograma.....	44
2.3.2. Hidráulica .....	48
2.3.2.1. Río.....	48
2.3.2.2. Ecuaciones que gobiernan el flujo .....	52
a. Ecuación de continuidad.....	52
b. Ecuación de Navier – Stokes.....	53
c. Momentum.....	54
2.3.2.3. Conductos abiertos.....	55
2.3.2.4. Propiedades geométricas .....	56
2.3.2.5. Hidráulica fluvial.....	58
a. Erosión en Cuencas .....	58
b. Transporte de sedimentos.....	60
2.3.2.6. Tipos de Flujos.....	62
2.3.2.7. Distribución de Velocidades .....	64

2.3.2.8.	Formula de Manning y coeficiente de rugosidad.....	64
2.4.	Modelos Matemáticos .....	67
2.4.1.	HEC – HMS .....	67
2.4.2.	HEC – RAS .....	68
2.4.3.	ARCGIS .....	69
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	70
3.1.	Tipo y Nivel de investigación.....	70
3.2.	Diseño de Investigación.....	71
3.3.	Población y muestra .....	71
3.4.	Operacionalización de variables .....	71
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	72
3.6.	Procedimientos .....	72
3.7.	Plan de procesamiento y análisis de datos.....	73
3.8.	Matriz de consistencia.....	74
3.9.	Consideraciones éticas .....	75
IV.	CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	75
4.1.	Descripción del Área de estudio .....	75
4.2.	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA.....	76
4.3.	Análisis de la precipitación.....	81
4.4.	Elaboración de las curvas IDF .....	83
4.5.	Construcción de Hietogramas de Diseño.....	86
4.7.	Caudales para diferentes tiempos de retorno con HEC – HMS .....	92
4.8.	Análisis Hidráulico .....	98
4.9.	Propuesta de Solución.....	113
V.	CONCLUSIONES.....	118
VI.	RECOMENDACIONES.....	119
VII.	REFERENCIAS .....	120
VIII.	ANEXOS .....	124

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Pérdidas económicas en millones de Dólares .....	14
Gráfico 2: Población afectada por las inundaciones a nivel mundial.....	14
Gráfico 3: Evolución del número de afectados y damnificados de los departamentos más afectados (01 febrero - 18 abril 2017) .....	15
Gráfico 4: Ciclo Hidrológico, representación cualitativa.....	23
Gráfico 5: Análisis de Doble Masa .....	31
Gráfico 6: Hietograma .....	37
Gráfico 7: Curvas IDF .....	38
Gráfico 8: Ejemplo de Curva I - D - F para lluvia máxima.....	38
Gráfico 9: Solución de las ecuaciones de escorrentía.....	42
Gráfico 10: Elementos de un Hidrograma .....	44
Gráfico 11: Justificación de la curva de Agotamiento .....	45
Gráfico 12: Hidrograma Unitario Triangular del SCS .....	48
Gráfico 13: Diagrama del proceso de escorrentía usado por el HEC - HMS .....	68
Gráfico 14: Curva Hipsométrica de la Cuenca.....	78
Gráfico 15: Frecuencia de Altitudes .....	79
Gráfico 16: Curvas I-D-F para la estación Cueva Blanca .....	85
Gráfico 17: Hietograma de Diseño. Tr 100 años. Estación Cueva Blanca.....	87
Gráfico 18: Hidrograma para Tr=25 años .....	93
Gráfico 19: Caudal para Tr=25 años .....	94
Gráfico 20: Hidrograma para Tr=50 años .....	94
Gráfico 21: Caudal para Tr=50 años .....	95
Gráfico 22: Hidrograma para Tr=100 años .....	95
Gráfico 23: Caudal para Tr=100 años .....	96
Gráfico 24: Hidrograma para Tr=200 años .....	96
Gráfico 25: Caudal para Tr=200 años .....	97
Gráfico 26: Hidrograma para Tr=500 años .....	97
Gráfico 27: Caudal para Tr=500 años .....	98
Gráfico 28: Valores de Manning en HEC - RAS .....	102
Gráfico 29: Sección de progresiva 22+575 .....	102
Gráfico 30: Sección de progresiva 20+475 .....	103
Gráfico 31: Sección de progresiva 18+225 .....	103

Gráfico 32: Sección de progresiva 13+275 .....	104
Gráfico 33: Sección de progresiva 09+375 .....	104
Gráfico 34: Sección de progresiva 08+325 .....	105
Gráfico 35: Sección de progresiva 05+175 .....	105
Gráfico 36: Sección de progresiva 00+300 .....	106
Gráfico 37: Sección de progresiva 00+150 .....	106
Gráfico 38: Zonas de Inundación para $Tr=25$ años .....	107
Gráfico 39: Zonas de Inundación para $Tr=50$ años .....	108
Gráfico 40: Zonas de Inundación para $Tr=100$ años .....	109
Gráfico 41: Zonas de Inundación para $Tr=200$ años .....	110
Gráfico 42: Zonas de Inundación para $Tr=500$ años .....	111

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Ciclo Hidrológico .....	22
Ilustración 2: Partes de una cuenca.....	24
Ilustración 3: Partes de una cuenca.....	25
Ilustración 4: Ejemplo de delimitación de una cuenca .....	26
Ilustración 5: Polígonos de Thiessen .....	35
Ilustración 6: Método de las Isoyetas .....	36
Ilustración 7: Escorrentía base en un hidrograma aislado .....	39
Ilustración 8: Perfil longitudinal de un Río .....	49
Ilustración 9: Sección transversal de un cauce artificial y natural. ....	49
Ilustración 10: Pendiente longitudinal, sección transversal y en planta de los diferentes tipos de ríos.....	52
Ilustración 11: Diferencial de sección de canal (Ecuación de Movimiento).....	52
Ilustración 12: Definición esquemática para el momentum .....	54
Ilustración 13: Curva de Momentum y tirantes conjugados.....	55
Ilustración 14: Área Hidráulica de un Canal .....	56
Ilustración 15: Perímetro Mojado.....	56
Ilustración 16: Tirante de un canal .....	57
Ilustración 17: Variables para determinar tirante hidráulico .....	57
Ilustración 18: Variación de Pendientes durante la Erosión.....	58
Ilustración 19: Transporte de sedimentos por arrastre.....	60
Ilustración 20: Transporte de sedimentos por saltación .....	60
Ilustración 21: Transporte de sedimentos por suspensión .....	61
Ilustración 22: Distribución de velocidades en diferentes secciones de canales .....	64
Ilustración 23: Sección transversal obtenida con el programa HEC-RAS .....	69
Ilustración 24: Interfaz del software Arc-GIS .....	70
Ilustración 25: Río Motupe (Tramo Motupe).....	75
Ilustración 26: Delimitación de la cuenca del Río Motupe .....	76
Ilustración 27: Subdelimitación Cuenca del Río Motupe.....	77
Ilustración 28: Red Hídrica (Río Motupe).....	80
Ilustración 29: Mapa de la Cuenca del río Motupe según descripción de Suelo.....	87
Ilustración 30: Mapa de la Cuenca del Río Motupe Según Cobertura Vegetal.....	88
Ilustración 31: Generación del mapa CN para la cuenca del Río Motupe .....	88

Ilustración 32: Influencia de estaciones pluviométricas usando Polígonos de Thiessen	90
Ilustración 33: Modelo Hidrológico de la cuenca del Río Motupe .....	92
Ilustración 34: Río Motupe en el software ArcGIS .....	98
Ilustración 35: Flowpaths y Banks del Río Motupe .....	99
Ilustración 36: Secciones transversales cada 75m .....	100
Ilustración 37: Secciones transversales importadas cada 75m en HEC - GEORAS ....	101
Ilustración 38: Fotografía referencial de la Zona de Estudio .....	112
Ilustración 39: Ancho estables usando software River.....	114
Ilustración 40: Método de Li List Van Levediev .....	115
Ilustración 41: Diseño preliminar usando software River.....	116
Ilustración 42: Sección de Río con propuesta de Solución .....	116

## Lista de Tablas

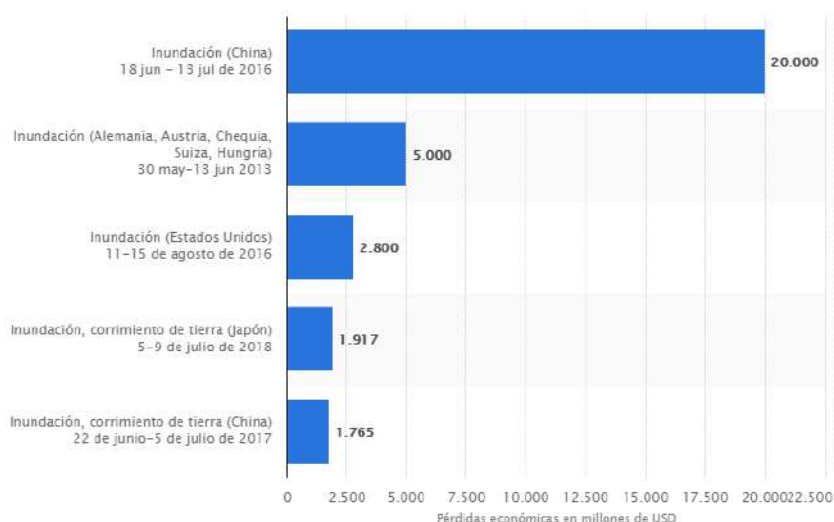
Tabla 1: Valores críticos “d” para la prueba de Kolmogorov - Smirnov .....	34
Tabla 2: Valores del coeficiente de C de escorrentía .....	40
Tabla 3: Valores de coeficiente de C de escorrentía con Tiempo de Retorno.....	40
Tabla 4: Valores de CN .....	43
Tabla 5: Factores que afectan el Hidrograma.....	46
Tabla 6: Clasificación de partículas de acuerdo a la A.G.U.....	61
Tabla 7: Tabla de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n.....	66
Tabla 8: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (Corrientes Naturales) ....	67
Tabla 9: Características de las Sub Cuencas .....	77
Tabla 10: Tabla para construcción de Curva Hipsométrica .....	78
Tabla 11: Parámetros Geomorfológicos .....	79
Tabla 12: Orden de cuencas (GRID_CODE) en ArcMAP.....	80
Tabla 13: Análisis de Datos Dudosos. Estación: Cueva Blanca.....	81
Tabla 14: Tabla de distribución de probabilidades de la Estación Cueva Blanca.....	82
Tabla 15: Prueba de Bondad para la estación Cueva Blanca .....	82
Tabla 16: Precipitación Máxima en 24 hrs para diferentes tiempos de retorno. Distribución Log Pearson III. Estación Cueva Blanca .....	83
Tabla 17: Precipitación de diseño para duración menores a 24hrs. Estación Cueva Blanca .....	83
Tabla 18: Intensidades de diseño para duración menores a 24 hrs. Estación Cueva Blancas .....	84
Tabla 19: Intensidades Máximas (Estación Cueva Blanca) .....	85
Tabla 20: Precipitaciones alternadas para $T_r=100$ años. Estación Cueva Blanca.....	86
Tabla 21: CN para cada Sub Cuenca .....	89
Tabla 22: Tiempos de Concentración para las sub cuencas .....	90
Tabla 23: Descargas mensuales del Río Motupe (m <sup>3</sup> /s) - 1962 - 1998.....	91
Tabla 24: Prueba de Kolmogorov - Smirnov en Hydrognomon 4 para los caudales ....	91
Tabla 25: Caudales para diferentes tiempos de retorno usando datos del ANA .....	92
Tabla 26: Caudales para diferentes tiempos de retorno.....	93
Tabla 27: Sección Teórica de propuesta de Solución.....	114

## I. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos naturales producto de desbordamiento de ríos a causa de aumento de caudal en su cauce debido a fuertes lluvias, o simplemente a excesos de lluvias que a causa de la topografía de la zona conducen a la inundación de la misma. Produciendo daños importantes a viviendas, a infraestructura vial, áreas de cultivo, etc.

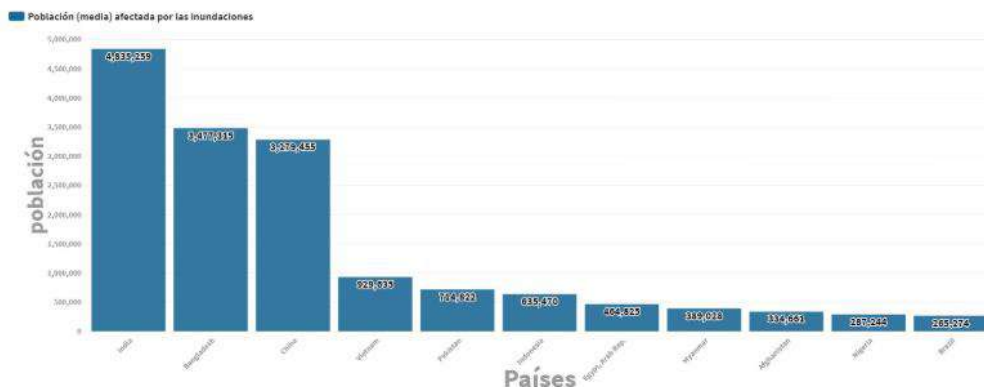
Para el siglo XX, se registró un fallecimiento de acerca 100 000 personas y, de acuerdo al **Gráfico 2**, alrededor de 1,4 millones de personas afectadas en todo el mundo debido a este fenómeno natural. Las estadísticas señalan que la mayor población de fallecidos se dio en el continente asiático en comparación con otras partes del mundo. Dejando, además en china pérdidas que superaban los 20 000 millones de dólares tal como se detalla en el **Gráfico 1** [1].

*Gráfico 1: Pérdidas económicas en millones de Dólares*



Fuente: Statista. 2020

*Gráfico 2: Población afectada por las inundaciones a nivel mundial*



Fuente: iAgua. 2020

Debido al entorno físico en Perú, el país es susceptible a inundaciones repentinas, debido a la presencia de montañas y de zonas que están tectónicamente activas. Sumado a eso, sus condiciones geológicas, en verano donde presenta una temporada de altas precipitaciones, provocan el desencadenamiento de distintos tipos de desastres naturales, siendo las inundaciones una de ellas. [2]

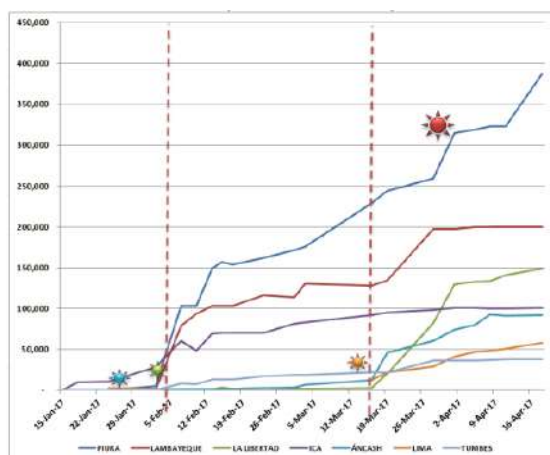
En Perú, este fenómeno se da principalmente desde los meses de noviembre a abril cada año. Durante estos meses, debido a la inundación se producen episodios de erosión y sedimentación.

En la costa peruana se centra la mayor parte de las pérdidas por inundaciones, debido a que las ciudades principales, con mayor población, están ubicadas en las llanuras de inundación de los ríos. [3]

Como ya se ha mencionado, este fenómeno en Perú, es un problema recurrente cada año, y esto debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, y en la época de lluvia que es bien diferenciada, que se produce en la época de verano, suelen producirse los fenómenos “El Niño” o “La Niña” que producen un aumento de caudales de los ríos, y a consecuencia de esto se producen desbordes y ocasionando daños en las ciudades de la costa, principalmente en la región norte del Perú, teniendo a: Lambayeque, Piura y Tumbes. [2]

A nivel Nacional se registraron un total de 113 Víctimas mortales, 178 701 Damnificados, 1 049 083 afectados, 397 heridos y 17 desaparecidos al 18 de abril del 2017, siendo, de acuerdo al **Gráfico 3**, Lambayeque la segunda región más afectada con un 16% del total, dando un total de 199 822 personas que se vieron perjudicados por el Fenómeno de “El Niño” que se llevó a cabo ese año.

*Gráfico 3: Evolución del número de afectados y damnificados de los departamentos más afectados (01 febrero - 18 abril 2017)*



*Fuente: Organización Panamericana de la Salud. 2017*

Las inundaciones traen consigo también enfermedades y una de las más conocidas es el Dengue, debido a que el vector, el zancudo *Aedes Aegypti*, se reproduce en lugares donde se encuentre agua acumulada. Según la Organización Panamericana de la Salud, para las fechas donde ocurrió dicho fenómeno se tuvo registro de casos de dengue y según la Situación Epidemiológica, para la semana 14 se tuvo 397 casos confirmados y para la semana 15 se obtuvo 403; todos ocurridos en Lambayeque [4]. En Motupe, se registraron 80 casos de dengue en el 2017, iniciando el brote en las semanas donde tuvo lugar el comienzo del Fenómeno de “El Niño” [5].

En Motupe, está ubicado el río Motupe que es producto de la confluencia de dos Ríos: El río Chiniama y el Río Chochope. Los registros datan que la descarga máxima diaria anual del Río Motupe es de 33.8 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, en el 2017 se tuvo un incremento de su caudal a 145 m<sup>3</sup>/s, es decir más de 4 veces su caudal normal, hasta el 1 de marzo. Además, 11 caseríos de Motupe fueron afectados por las lluvias, debido al desborde del río, aproximadamente 100 familias tuvieron que ser reubicadas [6].

También, Motupe, es conocido por ser productor de Limón, Maracuya, Aji Paprika, Mango Criollo, etc., pero producto del Fenómeno de “El Niño” ocurrido en 2017, los agricultores se vieron afectados, teniendo un aproximado de pérdida de 150 hectáreas de cultivo [7]. Esta pérdida en cultivos se puede ver traducida en un alza del precio de los productos, tal es el caso del Limón que tuvo un alza del precio del 200% [8].

Por tal motivo se plantea este trabajo, a fin de conocer las zonas críticas de inundación con el propósito de pronosticar y evitar daños a la población de esta zona.

Como justificación técnica se tiene que, gracias a este proyecto, se busca definir de manera preliminar las zonas con riesgo de inundación, usando software, y procesando datos de precipitaciones obtenidas de SENAMHI y así obtener un mapa de inundabilidad, que será de gran importancia al momento de plantear alternativas de solución adecuadas en favor de la población en riesgo.

Como justificación social, el distrito de Motupe cuenta con 29 836 habitantes según el último censo realizado por el INEI en el año 2017, además uno de los materiales predominantes en las viviendas es el adobe. Entonces, en un futuro desborde la población y sobre todo las viviendas del material mencionado serían las más afectadas. Por eso gracias a este proyecto, con las alternativas de solución, se podrá salvar la vida de los pobladores y evitar daños a viviendas en riesgo.

Como justificación económica, Motupe es un distrito que se dedica a la producción y exportación de productos como limón, maracuyá, mango, palta, entre otros productos; por tanto, cuenta con grandes hectáreas de cultivo dedicada a la siembra y cosecha de diversos productos. Gracias a este proyecto, se podrá reducir o mitigar el riesgo que un desborde del río ocasionaría, y evitar la pérdida de cultivo y así evitar un daño en la economía del sector.

Este proyecto tiene como objetivo general Identificar las zonas con riesgo de inundación de Motupe urbano y rural para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años. Así mismo, se tienen como objetivos específicos los siguientes:

- Realizar el modelo hidráulico del río Motupe mediante el uso del Software ArcGIS y HEC-RAS.
- Determinar los caudales máximos del río Motupe para los diferentes tiempos de retorno.
- Determinar e identificar las posibles zonas de riesgo, elaborando un mapa de inundación usan los softwares ArcGIS y HEC-RAS.
- Obtener el relieve de la zona a estudiar mediante el uso de software.
- Proponer alternativa de solución para la prevención de riesgos de inundación.
- Predimensionamiento de la alternativa de solución.
- Modelamiento hidráulico de la propuesta de solución.

## **II. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. A nivel Internacional**

**María Fernanda Torres Quintana. Bogotá, Colombia. “Modelación Hidrológica para el estudio de inundación, en el departamento de Cundinamarca, del Río Frío a la altura del municipio de Chia”**

En esta tesis, se calcularon los caudales máximos para periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años. A partir de los valores mencionados anteriormente se obtuvieron caudales, los cuales fueron usados como datos de entrada para introducir a los softwares correspondientes. Previamente, se realizó un modelo del terreno en ArcGIS, generando el eje del río, secciones transversales, etc. Finalmente, usando el HEC-RAS, se obtuvieron las láminas de agua, el número de Froude, etc., pudiendo elaborar los mapas de riesgo por inundación. En este trabajo solo se presentaron mapas de inundación para periodos de retorno de 50 años y 100 años. Es así que, en este trabajo, se concluyó que la lámina de agua sí rebosa los bordes, causando inundación al municipio de Chia en los puntos mencionados en la presente tesis.

**Hernández-Uribe, R. E., Barrios-Piña, H., & Ramírez, A. I. (mayo-junio, 2017). “Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac”**

En esta tesis se desarrolló aplicando un análisis de riesgo por inundación para zonas urbanas. En este caso al río Atemajac. Se trabajaron dos enfoques: el determinista, donde tiene como base la modelación numérica usándose el HEC-RAS y la determinación de daños; y el enfoque paramétrico, usándose valores adimensionales teniendo en cuenta los componentes sociales, económicos, físicos y ambientales. A partir de los datos obtenidos se generaron mapas de inundación para periodos de retorno de 50 y 100 años. El método determinista permitió generar los mapas de riesgo necesarios para se pueden observar daños que involucran a las inundaciones. Además, se evidenció, con el método determinista, zonas importantes de inundación para los periodos de retorno de 50 y 100 años.

**Jorge Chinchilla Dannemberger, Cartago, Costa Rica. “Análisis y soluciones a problemas de inundaciones en el Cantón de Oreamuno, Cartago”**

En esta investigación se realizó un cálculo cuantitativo, mediante una modelación hidrológica que permite la estimación de los escenarios extremos de precipitación, los cuales sirvieron como base para modelaciones hidráulicas que permitieron calcular la capacidad de la infraestructura existente para contener y canalizar este tipo de eventos máximos de precipitación. Con estos cálculos se confirmaron las limitaciones existentes de infraestructura que dan como resultado los problemas en los periodos lluviosos. Se calcularon los caudales picos generados para periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años para las cuencas de Cipreses, Oratorio y Chayotillo y se muestran las limitaciones de la infraestructura hidráulica vigente ante estas precipitaciones. Se calculan las dimensiones necesarias de infraestructura hidráulica para estos eventos y se presentan alternativas accesibles como embalses de retención y disminución de caudales picos en áreas de uso agrícola sin perder su funcionalidad para un periodo de retorno de 50 años.

**Giuseppe Esaú Lucas Vera, Guayaquil, Ecuador. “Análisis del riesgo por inundación en la localidad de Roblecito, Cantón Urdaneta: Propuesta de medidas de mitigación”**

El objetivo de este trabajo fue analizar el riesgo de inundación en la localidad de Roblecito y proponer medidas correctivas para disminuir los potenciales daños que se producirían, la primera etapa fue la determinación de la vulnerabilidad global para lo cual se estudiaron 7 tipos de vulnerabilidad: ambiental, física, económica, social, educativa, cultural y científica. En la segunda etapa se realizó un análisis a nivel de microcuenca mediante mapas de: elevación, pendiente, curvatura, TWI, SPI, número de curva y distancia al río, para determinar el grado de amenaza, posteriormente con el uso de sistemas de información geográfica se generaron los mapas de vulnerabilidad y amenaza para determinar el riesgo. Los resultados mostraron altos niveles de vulnerabilidad en gran parte del área de estudio mientras que la amenaza fue caracterizada como muy alta, en base a estos cálculos se determinó que la mayor parte del poblado se encuentra expuesto a un riesgo alto y muy alto por inundación por lo cual se proponen medidas de prevención, mitigación y respuesta.

### **2.1.2. A nivel Nacional**

#### **Miguel Angel Mendoza Solis. Cajamarca, Perú. “Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada Romero, del distrito de Cajamarca, periodo 2011-2016”**

En esta tesis, se evaluó con respecto a la quebrada, su peligrosidad y el riesgo que tiene los habitantes aledaños a esta, ante un riesgo de inundación. Además, se obtuvieron datos meteorológicos de la estación Augusto Weberbauer, los cuales se procesaron, y así con el uso del Software ArcGIS se crearon mapas de inundación. Con esto se obtuvo el nivel de peligrosidad de la quebrada Romero, siendo esta de nivel alto. Esto se debe a que la intensidad y las anomalías de precipitación elevados, siendo la zona más peligrosa la que se encuentre ente Jr. Miguel de Cervantes cuadra 4 hasta el Jr. Desamparados cuadra 6.

#### **Alex M. Oyola R., Oscar A. Medina T. Tumbes, Perú. “Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso Río Zarumilla – 2018”**

En la realización de esta tesis, se calcularon caudales para 6 tiempos de retorno. Además, para el procesamiento de la topografía de la zona a estudiar se usó GPS y en conjunto del software ArcGIS se crearon las secciones transversales y en conjunto con el HEC-RAS se generaron los mapas de inundación. Se concluyó que los sectores de La Palma, Los Olivos, Papayal y la Coja; que pertenecen al margen izquierdo del río, se inundan aproximadamente: 8.9, 13.5, 31.3, 58.7, 97.6 y 167.6 hectáreas respectivamente.

#### **Elmer Mochica Mamani, Puno, Perú. “Análisis de Máximas avenidas con fines de diseño de defensa del Rio Chichanaco de la ciudad de Sandía”**

El trabajo de investigación que se realizó, tuvo como objetivo determinar la avenida máxima con el propósito de diseñar una defensa ribereña en el río Sandía. Para ello, se realizó un estudio hidrológico para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, donde sus precipitaciones máximas para cada año respectivamente son 30, 33.7, 38.2, 41.1, y 44.6 mm. Para ello, se utilizó el modelo matemático HEC – HMS. Finalmente, se obtuvieron caudales de diseño para cada periodo de retorno: 256.1, 318.4, 385.4, 438.4 y 512.5 m<sup>3</sup>/s.

**Juan Francisco, Loyola Morales, La Libertad, Perú. “Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada del Río Grande, tramo desde el Puente Candopata hasta el Puente Cambicus de la ciudad de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión – La Libertad”**

En esta tesis se presentó la peligrosidad de la quebrada del Río Grande, y se analizó que existen 31 familias aledañas a la zona. Para esto, se utilizó el manual del INDECI para estimación de riesgos, utilizándose las tablas provenientes del manual. Al realizar el procesamiento de la información obtenida en campo y gabinete se ha determinado que el nivel de peligrosidad es alto y el nivel de vulnerabilidad científica y tecnológica y la vulnerabilidad educativa es muy alta, mientras que la vulnerabilidad física, económica, social, política e institucional, ideológica y cultural es alta, además que la vulnerabilidad institucional es media; por lo que se ha obtenido que el nivel de riesgo en la quebrada del cauce del Río Grande es Alto.

## **2.2. Bases Legales**

### **2.2.1. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje**

Debido a las características geográficas, geológicas, hidrológicas y geotécnicas que existen en el Perú, se presentan problemas afectando al diseño de carreteras y obras hidráulicas. Por lo cual, se plantea este documento que tiene como objetivo general “*tener un documento técnico que sirva de guía conceptual y metodológica para la determinación de los parámetros hidrológicos e hidráulicos de diseño*”, además, sirve de guía para el ingeniero como una herramienta práctica para poder desarrollar de una mejor forma estudios de hidrología e hidráulica [9], los cuales son fundamentales en la presente tesis a desarrollar.

### **2.2.2. Ley de Recursos Hídricos: Ley N° 29338**

La Ley de Recursos Hídricos establece deberes y derechos, ligados con los bienes asociados al agua, y en conjunto con la máxima autoridad reguladora de los recursos hídricos (ANA) y en coordinación con el Consejo de Cuenca, buscan vigilar y fiscalizar el estado físico en el que se encuentre el agua, mediante su artículo N° 76. Por lo tanto, se busca controlar, supervisar, fiscalizar el cumplimiento de esta Ley. Asimismo, mediante la vigilancia y monitoreo, busca reducir el riesgo en la calidad o cantidad del recurso, o, reducir el riesgo que el recurso produzca para la población.

## 2.3. Bases Teóricas

### 2.3.1. Hidrología

Según M. Villón [10]: “La Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos”.

Además, se enfoca en el ciclo hidrológico global y en los procesos que se involucran en dicho ciclo. La hidrología de una determinada zona o región está determinada por su entorno tal como la topografía, geología, vegetación, etc.

Por tanto, ayuda a predecir como varía la trayectoria del agua según se encuentre en una etapa terrestre, oceánica o atmosférica; y también, cómo es su comportamiento sobre la etapa terrestre ya sea encima o por debajo de la superficie terrestre, teniendo en cuenta sus procesos químicos, físicos y biológicos [11].

#### 2.3.1.1. Ciclo Hidrológico

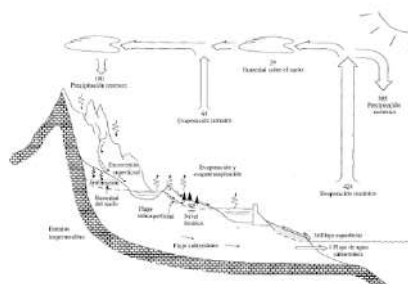
Se puede definir al ciclo hidrológico como, los diferentes procesos que sufre el componente agua en la naturaleza, ya sea en su estado, como en su forma.

Es la parte central de la hidrología, así mismo todos sus procesos que constituyen el ciclo hidrológico (precipitación, evaporación, infiltración, etc.) ocurren de manera simultánea [12].

Se compone por una serie de variables, que están relacionadas entre sí gracias a los procesos hidrológicos, y estos a su vez se asocian con fenómenos que intervienen en el comportamiento del flujo del agua y también en los cambios en sus características (físicas, químicas y biológicas) [11].

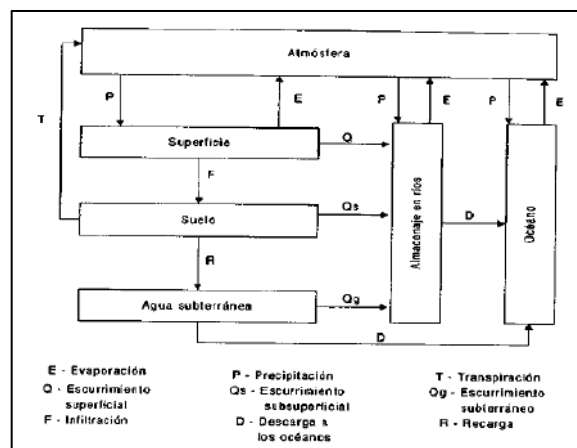
El Ciclo Hidrológico es irregular, y es por esto que el ser humano que trata de predecir con métodos para así tener una idea de, por ejemplo, cuáles son los periodos donde se podrá alcanzar una cantidad de agua óptima para satisfacer diferentes actividades (irrigación, generación de energía, uso de la población, etc.) o, predecir un fenómeno natural que podría poner en riesgo la vida e integrar de cierta localidad [10].

*Ilustración 1: Ciclo Hidrológico*



*Fuente: Hidrología Aplicada. Ven Te Chow.1994*

Gráfico 4: Ciclo Hidrológico, representación cualitativa



Fuente: Hidrología. Máximo Villón. 2002

En síntesis, el ciclo hidrológico se podría definir con un sistema que según el **Gráfico 1** tiene los siguientes procesos: precipitación, escurrimiento, infiltración, y las siguientes que se muestran en el gráfico.

### 2.3.1.2. Balance Hídrico

Cuando se habla de aguas superficiales, se tiene que tener en cuenta los ríos, ya que son componentes del medio natural, y uno de los más importantes, puesto que han participado en la vida del hombre y de la sociedad. Por eso, estudiar las cuencas hidrográficas, es de suma importancia. Y para llevar a cabo una buena evaluación de los recursos hídricos que brinda la cuenca, se debe realizar un balance hídrico. Y así se puede conocer mejor el ciclo hidrológico y como es el comportamiento de los ríos y arroyos.

Este método, es de mucha utilidad en la investigación en cuencas. Por ejemplo, saber si existe déficit de humedad, es de suma importancia al momento de saber si un proyecto de irrigación es viable, ya que se puede calcular el volumen total que se necesitará en una época del año, y también como será el comportamiento de los volúmenes de agua en tiempo de sequía.

Al momento de hacer un estudio hidrológico, saber cuándo existe excedente de agua, y el por qué el suelo está en su máxima capacidad de retención de agua, es muy importante, ya que nos ayudaría a planificar de la mejor manera y gestionar eficientemente los recursos hídricos, de tal manera que tenga un impacto positivo en el desarrollo socioeconómico.

El balance hídrico, se tiene que determinar para un cierto periodo dado y para un lugar específico, a través de la comparación de los aportes y pérdidas de agua en el lugar y para ese mismo periodo. Además, se tiene que tener en cuenta las reservas y extracciones del agua. Las aportaciones de agua, son gracias a las lluvias (precipitaciones), que se transforman en escorrentía y también de la derivación de aguas de otras cuencas. Y cuando se habla de pérdidas, básicamente es por la evapotranspiración, y también por la infiltración del agua en el suelo. [13].

### 2.3.1.3. Cuenca Hidrográfica

Es un área delimitada por las características topográficas de la región, donde el agua se precipitación es captada de forma natural, y que convierte todo el flujo en un único punto de salida [14].

*Ilustración 2: Partes de una cuenca*



*Fuente: Manual de Manejo de Cuencas. World Vision. 2013.*

Se puede clasificar a las cuencas, según su tipo de salida, existiendo fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En la cuenca endorreicas, el punto de salida se encuentra dentro de los límites de la cuenca, y puede ser un lago; en cambio en la exorreica, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca, y puede estar en otra corriente o en el mar [15].

Según el Manual de Manejo Cuencas: “es el espacio de territorio delimitado por una línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar” [16]. Según su tamaño se clasifican en:

**Cuenca grande**, es aquella cuenca en la que predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área, cauce). Una cuenca, para fines prácticos, se considera grande cuando el área es mayor de 250 km<sup>2</sup>.

**Cuenca pequeña**, es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración, y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más importantes que las del cauce. Se considera cuenca pequeña aquella cuya área varíe desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que para propósitos prácticos se considera 250 km<sup>2</sup> [17].

### Divisiones de una cuenca Hidrográfica:

**Cuenca alta**, principalmente corresponde a el área donde se encuentran las cabeceras de los cerros, y está limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

**Cuenca media**, donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principalmente mantiene un cauce definido.

**Cuenca baja o zonas transicionales**, donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales [18].

*Ilustración 3: Partes de una cuenca*



*Fuente: ¿Qué es cuenca Hidrológica?. Ordoñez Gálvez. 2011.*

## CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA

**Superficie de una cuenca**, Es el área de una cuenca proyectada de un plano horizontal, siendo de forma irregular, y se obtiene después de realizar la delimitación de una cuenca.

**Delimitación de una cuenca**, se realiza teniendo como base un plano topográfico de curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuarum, siendo unas líneas

imaginarias [17]. La delimitación sirve para: definir el área de estudio y realizar el modelamiento hidráulico (a través de software).

*Pasos para delimitar una cuenca:*

- ✓ Identificar el más bajo de la cuenca (punto de aforo).
- ✓ Identificar los puntos más altos (divisorias de agua)
- ✓ Delimitar las zonas que tiene subcuencas
- ✓ Comprobar que la delimitación no corta los afluentes, solo la entrada.

*Ilustración 4: Ejemplo de delimitación*



*Fuente: Hidrología. Máximo Villón. 2002*

**Divisoria de agua**, es la línea imaginaria que divide la lluvia que caen en cuencas que son continuas. Son los puntos más altos topográficamente hablando.

**Perímetro de la cuenca**, es el borde que se obtiene al realizar la delimitación de una cuenca proyectada en un plano horizontal, siendo de forma muy irregular [19]. Es el contorno de la cuenca delimitada.

**Longitud del río principal**, viene a ser la longitud del río principal de la cuenca, donde se drenan todos los afluentes y quebradas.

**Índice de Gravellius (coeficiente de compacidad,  $K_c$ )**, Es la relación que se tiene entre el perímetro de la cuenca, y el perímetro equivalente de una circunferencia, con la misma área de la cuenca [17]. A mayor  $K_c$ , más irregular es la cuenca, y el valor mínimo del coeficiente es la unidad.

$$Kc = \frac{P_{cuenca}}{P_{circulo}} = 0.282 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P= Perímetro de la cuenca (km)

A= Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Pendiente media de la Cuenca**, Tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Controla el tiempo de escurrimiento superficiales y concentración de la lluvia en los canales de drenaje. Controla en su mayor parte, la velocidad con la viaja la escorrentía de la superficie, y por consiguiente, el tiempo que va a permanecer la escorrentía en la red de la cuenca.

$$Sm = \frac{D * LL}{A}$$

D= Equidistancia entre curvas de nivel

LL= Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca

A= Área de la cuenca

#### 2.3.1.4.Precipitación

De los procesos mencionados, **precipitación**, es el agua que cae en la superficie terrestre ya sea en forma líquida (lluvia, llovizna, etc.), sólida (granizo, nieve, etc.) o como precipitación oculta (rocío). Para que se lleve a cabo la **precipitación** se necesita un cambio físico llamado, *condensación*, que viene a ser el paso del agua de la fase de vapor a la fase líquida [20]. Las precipitaciones se generan en la cuenca a diferentes alturas y en función al área de captación de la cuenca, cobertura vegetal en la misma y pendiente.

La Precipitación Máxima (PP máx.) que se suscita en la Cuenca da lugar a la generación de los caudales. La magnitud de los mismos se genera de acuerdo al Área de la Cuenca Colectora, Geomorfología, Cobertura vegetal y otros parámetros. Estas variables que interactúan entre si dando como resultado el caudal de avenidas en un evento de Precipitación máxima.

El desborde está directamente relacionado con el Tirante de Agua correspondiente al caudal y características del cauce analizado. Si el cauce del río es angosto y la pendiente del cauce es baja hay posibilidad de que se provocará el desborde [19].

Los caudales máximos de avenidas se presentan con una frecuencia en el tiempo. Frecuencia es conocida con el nombre de periodo de retorno, que es el lapso de tiempo en que se presenta un evento de determinada magnitud.

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros [9].

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

R= Riesgo de falla

T= Tiempo de Retorno

n= Vida útil de la obra en años

Siguiendo las recomendaciones de la “*Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Áreas Agrícolas o Urbanas*”, se puede considerar un tiempo de retorno para zonas rurales de 10, 25 y 50 años.

#### **a. Estimación de Datos Faltantes**

En ciertos casos se presentar registros con datos faltantes, esto es debido a fallas instrumentales, o, debido a la falta o ausencia de los operadores en las estaciones pluviométricas.

Sin embargo, existen métodos que permiten calcular estos datos faltantes en base a datos que nos proporcionan estaciones (estaciones índices) y que se seleccionan de modo que se encuentre lo más cerca posible y que tengan una altitud similar a la estación que se quiere estudiar (Distancia y Altitud).

- Si los datos faltantes corresponden a lluvias diarias, se aplica el Método del US Weather Bureau. Donde se eligen, como mínimo 3 estaciones índice; y se siguen las siguientes condiciones: **i)** Si es que la precipitación media anual en cada estación

índice está dentro de un 10% de diferencia con la correspondiente a la estación incompleta, se podrá calcular el dato faltante con un promedio aritmético simple ( $\bar{X}$ ).

ii) Si las precipitaciones anuales se diferencian en más del 10% en al menos una de ellas, se tendrá que aplicar la siguiente fórmula.

$$Px = \frac{1}{N} * \left( \frac{\bar{X}}{\bar{XA}} * PA + \frac{\bar{X}}{\bar{XB}} * PB + \frac{\bar{X}}{\bar{XC}} * PC + \dots \right)$$

N= Número de estaciones índice

$\bar{XA}$ = Precipitación media anual de la estación índice A

$\bar{X}$ = Precipitación media anual de la estación índice con dato faltante

PA= Precipitación diaria de la estación A

- Si los datos faltantes son precipitaciones anuales se pueden aplicar *El Método de los promedios*, o, *El Método de la recta de regresión*.

**Método de los promedios**, consiste en escoger una estación índice y su respectiva precipitación media anual. Si existen más de una estación índice, se realiza el método con cada una de las estaciones índice, y el resultado es, el promedio de los valores asociados a cada una de las estaciones índice.

$$X = \frac{\bar{X}}{\bar{XA}} * XA$$

**Método de la recta de regresión**, consiste en dibujar el diagrama de dispersión donde la recta de “x” pertenece a los datos de la estación índice o estación con datos completos, y la recta de “y” pertenece a los datos de la estación con datos incompletos. Del diagrama de dispersión se obtiene una recta, la cual se llama “línea de regresión” la cual se usa para completar la información requerida. A partir de varias estaciones índice, se elige la que está mejor correlacionada con la estación incompleta, es decir la que tiene mejor coeficiente r (-1<r<1).

$$r = \frac{\sum(X - \bar{X}) * (Y - \bar{Y})}{(n - 1) * \sigma_x * \sigma_y}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(Y - \bar{Y})^2}{n - 1}}$$

n= Número de datos del eje “y”

$\bar{X}$ = Media aritmética de datos “x” que forman pares con “y”

$\bar{Y}$ = Media aritmética de datos “y”

$\sigma_x$ = Desviación estándar de todos los datos “x” que forman pares con “y”

$\sigma_y$ = Desviación estándar de para todos los datos de “y”

## b. Análisis de consistencia de datos

Las precipitaciones varían según el lugar y según el tiempo que se den. Para poder analizar y sintetizar las mediciones, primero se deben hacer verificaciones, por lo cual se requiere analizar las distintas estaciones pluviométricas, los cuales nos proporcionarán información para poder realizar nuestros cálculos hidrológicos. Para ello se requiere determinar la consistencia de los datos que se ofrecen, como por ejemplo estimar los datos faltantes, redistribuir datos acumulados, etc.

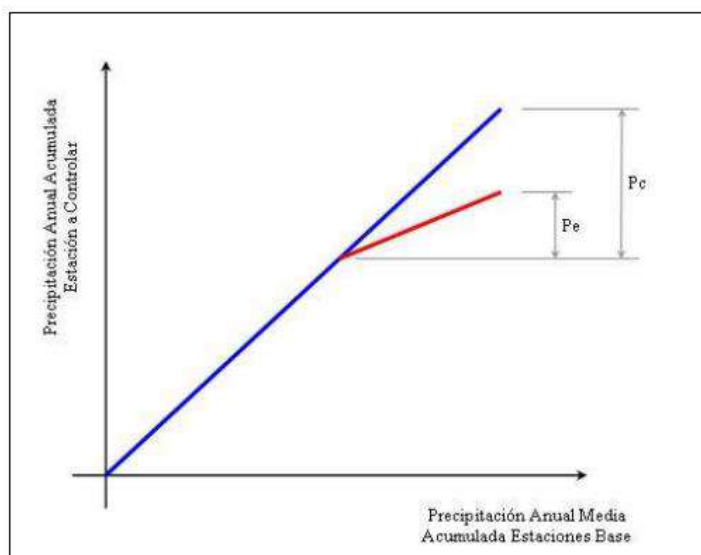
En ciertos casos, la información que se obtiene de las estaciones pluviométricas puede generar errores. Sin embargo, para poder determinar si existen variaciones y corregirlas se puede utilizar *El Análisis de Doble Masa*, que permite comparar datos de una estación en estudio con los datos de otra estación o estaciones índice o patrones [21].

### - Análisis de Doble Masa

El procedimiento de este análisis, doble masa, donde existe una zona que se puede considerar homogénea meteorológicamente, las precipitaciones que registren las estaciones en periodos anuales, son proporcionales entre ellos y pueden representarse gráficamente. Para darse esa representación, se debe identificar la estación que se quiere controlar, junto con sus valores de precipitación anual. Además, es necesario la ayuda de tres estaciones cercanas, cuyos registros tengan coherencia (confiables) y se les llamará

estaciones base. Para cada año, contando el primer registro de este, se deberán promediar los valores que se registren en las estaciones bases y así sucesivamente, hasta obtener la precipitación media anual acumulada. Se grafica en un sistema de ejes, los valores de precipitación (media anual acumulada) de todas las estaciones bases, y, si no ha habido variaciones, los datos estarán alineados, en una pendiente, y por tanto, no serán necesarias correcciones. En caso existan variaciones en su pendiente, quiere decir que contamos con valores erróneos, y se debe corregir el registro a partir del años donde se visualice el error. Para eso será necesario un factor de corrección, el cual es proporcional a la variación de la pendiente. Este factor de corrección se puede hallar usando  $P_c/P_e$ . [22].

*Gráfico 5: Análisis de Doble Masa*



*Fuente: Precipitación: Datos Englobados y Faltantes. Ada Moreno.*

### **c. Análisis probabilístico de precipitación**

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos”. [9]

### Distribución Normal

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

Donde:

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

$x$  = Es la variable independiente

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

$s$  = Es un parámetro de escala, igual a la desviación estándar de  $x$

### Distribución Log Normal 2 Parámetros

Se expresa mediante la función de probabilidad:

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

Donde:

$X$  y  $S$  son los parámetros necesarios para la distribución

### Distribución Log Pearson tipo III

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

Función Válida para:

$$x_0 \leq x < \infty / -\infty < x < \infty / 0 < \beta < \infty / 0 < \gamma < \infty$$

Donde:

$X_0$ : es el parámetro de posición

$\gamma$ : es el parámetro de forma

$\beta$ : es el parámetro de escala

### Distribución de probabilidad de Gumbel

Conocida como de distribución de Tipo 1 o distribución de Gumbel o doble exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la ecuación

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

Haciendo uso del método de momentos, se obtienen las ecuaciones siguientes:

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

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

Donde:

$\alpha$ : parámetro de concentración

$\beta$ : parámetro de localización

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

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

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

Ecuación reducida log Gumbel.

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

#### **d. Pruebas de bondad de ajuste**

“Es una prueba de hipótesis y se utiliza para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida. En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la  $X^2$  y la Kolmogorov-Smirnov” [9].

#### **Prueba de Kolmogorov – Smirnov**

“Consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia (D) entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_o(x_m)$  y la estimada  $F(x_m)$ ”.

$$D = \text{máx}|F_o(x_m) - F(x_m)|$$

“Con un valor crítico “d” que depende del número de datos y el nivel de significancia Si D es menor a “d”, se acepta la hipótesis nula. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba de  $X^2$  de que compara los datos con el método estadístico sin necesidad de agruparlos” [9].

Se determina mediante la función.

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

Donde:

m: es el número de orden de dato xm en una lista de mayor a menor

n: es el número total de datos

En la siguiente tabla se muestran los valores para “d” con parámetros dependientes al tamaño de la muestra y el nivel de significancia. ( $\alpha$ )

*Tabla 1: Valores críticos “d” para la prueba de Kolmogorov - Smirnov*

Tamaño de la muestra	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.2	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

*Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. 2018.*

#### **e. Cálculo de precipitación media**

La altura de lluvia que cae sobre un determinado lugar difiere de la que cae a sus alrededores, así sean sitios cercanos. Para poder calcular la lluvia media de una tormenta determinada, existen tres métodos:

##### **- Método Aritmético**

Este método consiste en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación que se registra en cada estación [15].

$$h_p = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n h_{pi}$$

$h_p$  = Altura de la precipitación media

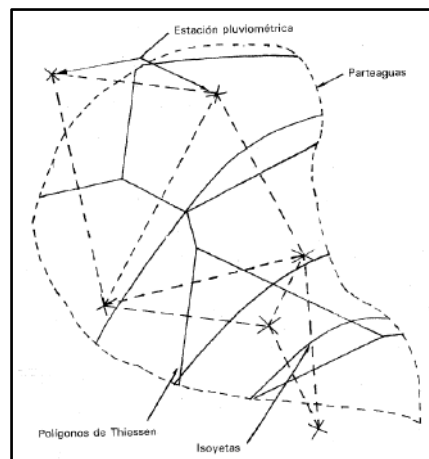
$h_{pi}$  = Altura de precipitación registrada en la estación  $i$

$n$  = número de estaciones bajo análisis

#### - Polígonos de Thiessen

El método consiste en unir mediante líneas rectas, dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí, formando así triángulos, donde en sus vértices se encuentran las estaciones pluviométricas. Luego de ello, se debe trazar líneas rectas que bisecan los lados de los triángulos, donde por geometría se sabe que se unirán (convergerán) en un solo punto. Y es así como se formarán los polígonos de Thiessen, donde también estará incluido la divisoria de agua de la cuenca (parte aguas). El área que encierra la estación pluviométrica, será el área de influencia de la estación a la cual corresponde [15].

Ilustración 5: Polígonos de Thiessen



Fuente: Fundamentos de Hidrología de superficie. Aparicio.1992.

Para el cálculo de la lluvia media se calcula con el área de influencia correspondiente para cada estación, y su respectiva serie de datos registrados de precipitación.

$$h_p = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^n A_i * h_{pi}$$

$h_p$  = Altura de la precipitación media

$h_{pi}$  = Altura de precipitación registrada en la estación  $i$

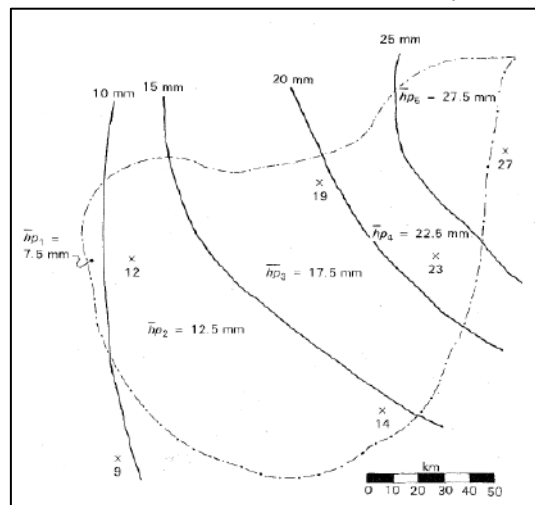
$A_i$  = Área de influencia de la estación  $i$

$A_T$  = Área total de la cuenca

### - Método de las Isoyetas

El método de las Isoyetas consiste en trazar líneas que unen puntos que contenga igual altura de precipitación a las cuales se les llama *Isoyetas* (parecidas a las curvas de nivel) [15].

Ilustración 6: Método de las Isoyetas



Fuente: Fundamentos de Hidrología de superficie. Aparicio.1992.

Para el cálculo de la precipitación media, es similar al método anterior, pero ahora se debe calcular la precipitación promedio entre dos isoyetas, con su respectiva área correspondiente.

$$h_p = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^{n'} (h_{pi} * A'_i)$$

$h_p$  = Altura de la precipitación media

$h_{pi}$  = Altura de precipitación registrada en la estación  $i$

$A'_i$  = Área entre dos isoyetas

$A_T$  = Área total de la cuenca

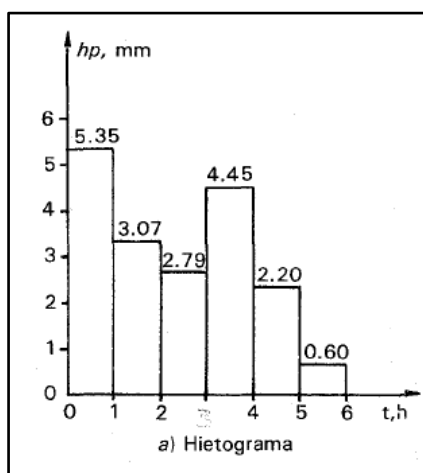
$n'$  = Número de áreas  $A'$

## f. Hietograma

La intensidad de una tormenta se da durante una unidad de tiempo. Es así que, para los diseños de hidrología, se necesita saber cómo es el comportamiento de las mismas pues se pueden presentar variaciones las cuales son muy importantes conocerlas.

Previamente, mencionando al *hietograma*, se define como un gráfico en el que se plasma la variación de la intensidad expresada en mm/hora de una tormenta, en el transcurso de la misma expresado en minutos u horas. Generalmente se representa mediante un histograma (gráfico de barras).

Gráfico 6: Hietograma



Fuente: *Fundamento de Hidrología de Superficie. Aparicio. 1992.*

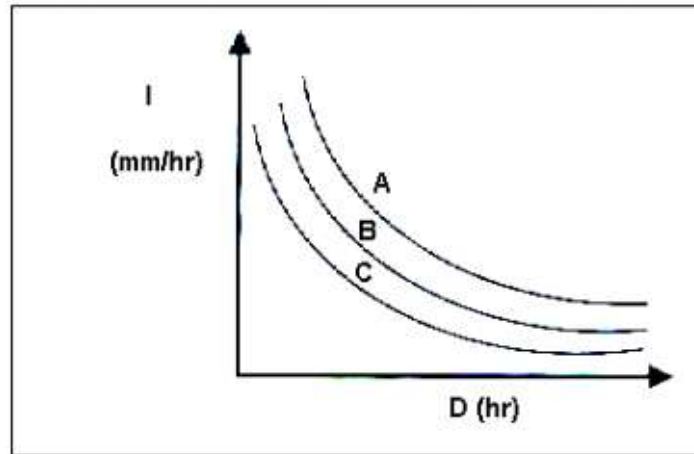
## g. Curvas I – D – F

Las curvas IDF son una parte fundamental en el estudio hidrológico, y para el diseño y construcción de obras hidráulicas, como, por ejemplo: drenajes pluviales, presas, embalses, etc., las cuales buscan controlar las inundaciones y también aprovechar el recurso hídrico para la generación de energía eléctrica [23].

Según el Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje [9] :“son un elemento diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencias”.

Son rectas del resultado de la unión de puntos representativos de la intensidad media con intervalos de diferente duración, que, además, corresponde a un mismo periodo de retorno.

Gráfico 7: Curvas IDF



Fuente: Módulo 2: Curvas Intensidad Duración Frecuencia.

La importancia de las curvas IDF radica en que permite la fácil estimación de crecidas de una cuenca hidrográfica, además su utilidad principal es la estimación de la intensidad, duración y frecuencia de zonas que cuentan con pluviógrafos o de zonas donde no existe información pluviométrica [24].

Las curvas IDF se pueden expresar como ecuaciones, para poder obtener de manera directa la intensidad de lluvia de diseño que proporciona la gráfica. Se podría expresar de la siguiente manera:

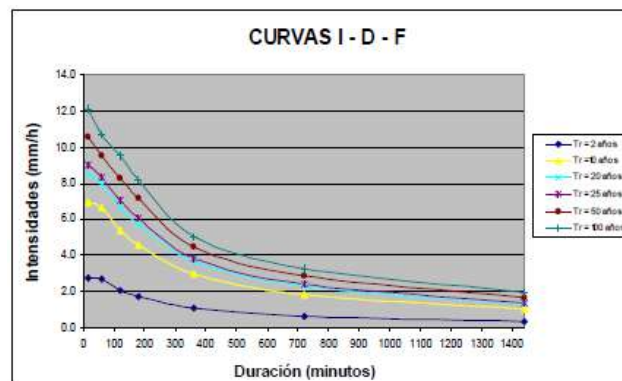
$$I = \frac{a}{(D + b)^m}$$

I = Intensidad de lluvia de diseño

D = Duración

a, b, m = coeficientes que varían según el lugar y tiempo de retorno

Gráfico 8: Ejemplo de Curva I - D - F para lluvia máxima



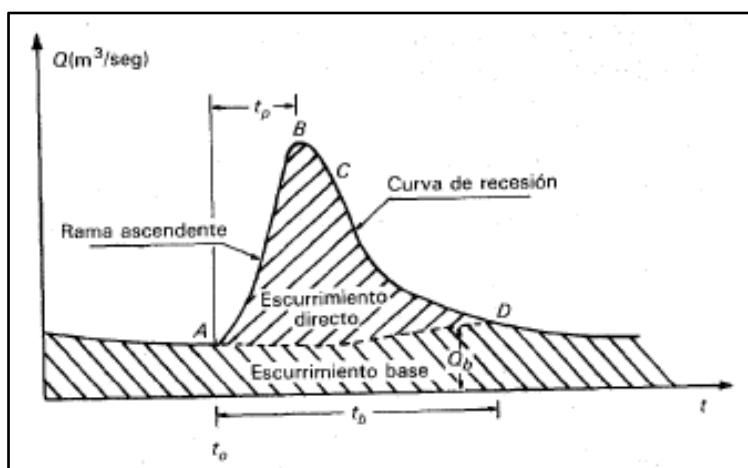
Fuente: Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje (MTC). 2018.

La metodología tradicional más usada para poder calcular las curvas IDF es realizar un análisis de frecuencia para cada una de las series con valores máximos de precipitación que se obtuvieron para cada duración.

### 2.3.1.5. Escorrentía

También llamado escurrimiento, es el agua que se acumula de la lluvia (precipitación) que se caracteriza por circular encima o bajo la superficie de la tierra, y que al final será vertida en una corriente y finalmente drenada fuera de la cuenca. Se puede dividir en: superficial, subsuperficial y subterráneo; donde el *superficial* se drena más rápido de la cuenca (es decir llega más rápido al punto de desagüe).

*Ilustración 7: Escorrentía base en un hidrograma aislado*



*Fuente: Fundamentos de Hidrología de superficie. Aparicio. 1992.*

En la imagen se puede apreciar un hidrograma donde, hay dos tipos de escurrimientos; donde el área bajo la curva tomando ambos escurrimientos, es el volumen total escurrido.

El escurrimiento base, por lo general, se forma a partir de aguas que provienen de tormentas pasadas, y es difícil saber a cuáles han pertenecido. En ciertos casos, el escurrimiento base se puede despreciar, quedando como volumen total escurrido igual al escurrimiento directo [15].

Para el cálculo de escorrentía directa, se tiene un método aproximado, el cual usa un coeficiente de escorrentía que depende las características de la zona que se quiere estudiar.

$$P_n = C * P$$

$P_n = \text{Escorrentía Directa}$

$C = \text{Coeficiente de Escorrentía}$

$P = \text{Precipitación}$

Tabla 2: Valores del coeficiente de C de escorrentía

Topografía y vegetación	Textura de suelo		
	Tierra franca Arenosa	Arcilla y limo	Arcilla compacta
<b>Bosques</b>			
Llanas, 0-5% de pendiente	0.10	0.30	0.40
Ondulado, 5-10% de pendiente	0.25	0.35	0.50
Montañoso, 10-30% de pendiente	0.30	0.50	0.60
<b>Pastizales</b>			
Llanas	0.10	0.30	0.40
Onduladas	0.16	0.36	0.55
Montañosas	0.22	0.42	0.60
<b>Tierras cultivadas</b>			
Llanas	0.30	0.50	0.60
Onduladas	0.40	0.60	0.70
Montañosas	0.52	0.72	0.82
<b>Zonas Urbanas</b>	30% de la superficie impermeable	50% de la superficie impermeable	70% de la superficie impermeable
Llanas	0.40	0.55	0.65
Onduladas	0.50	0.65	0.80

Fuente: Método de los coeficientes de escorrentía.

Tabla 3: Valores de coeficiente de C de escorrentía con Tiempo de Retorno

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Zonas urbanas</b>							
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Cemento, tejados	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
<b>Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)</b>							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
<b>Zonas rurales</b>							
<b>Campos de cultivo</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
<b>Pastizales, prados, dehesas</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<b>Bosques, montes arbolados</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: Método de los coeficientes de escorrentía.

Los valores de “C” dependerá del tipo de uso u ocupación del suelo y la pendiente media de la cuenca.

- Si escurre más, el valor de “C” tiende a uno ( $C \rightarrow 1$ )
- Si escurre menos, el valor de “C” tiende a cero ( $C \rightarrow 0$ )

### **2.3.1.6. Infiltración**

Se define como el paso a través de la superficie del suelo del agua, a la parte interior de la tierra. Está íntimamente relacionada con la palabra *percolación*, sin embargo, no significa lo mismo. Este proceso se da cuando se activa la permeabilidad del suelo, por donde se drena el agua por gravedad desde la parte superficial hasta el nivel freático (agua subterránea), siguiendo una trayectoria que opone menor resistencia [25].

El volumen que se infiltra es mayor en comparación al escurrimiento de una tormenta, especialmente en cuencas donde no existen casi zonas urbanizadas.

Los factores que afectan la capacidad de infiltración son: Textura del suelo, contenido de humedad inicial, contenido de humedad de saturación, cobertura vegetal, uso del suelo, aire atrapado, lavado de material fino, compactación, temperatura [15].

#### ***Método del SCS – Número de Curva (CN)***

Desarrollado por el SCS de los Estados Unidos, es un método estimado de la escorrentía usando la infiltración como medio. Se aplica para cuencas pequeñas a mediana magnitud, donde el parámetro más importante es la altura de lluvia y no la intensidad.

Se basa en la siguiente relación:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_e}$$

$F =$  *infiltración real acumulada (L)*

$S =$  *infiltración potencial máxima (L)*

$Q =$  *escorrentía total acumulada (L)*

$P_e =$  *escorrent + ia potencial o exceso de precipitación (L)*

Para poder calcular la escorrentía total acumulada, también incluyendo el número de curva se tiene la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{[CN(P + 5.08) - 508]^2}{CN[CN(P - 20.32) + 2032]}$$

$Q$  = escorrentía total acumulada (cm)

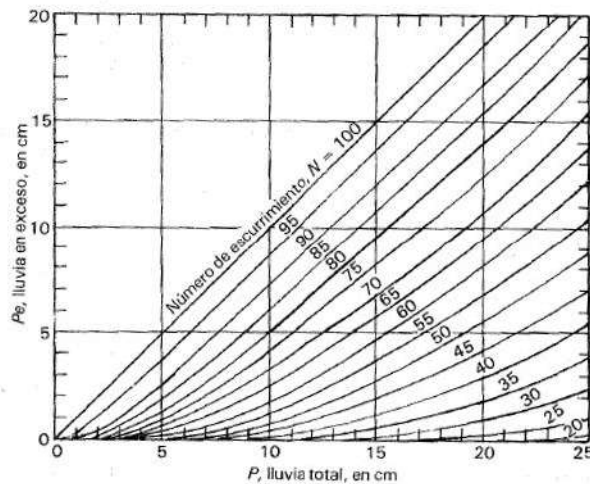
$P$  = precipitación de la tormenta (cm)

$CN$  = número de curva

Además, se debe cumplir lo siguiente:

$$CN(P + 5.08) - 508 > 0 ; P > \frac{508}{CN} - 5.08$$

Gráfico 9: Solución de las ecuaciones de escorrentía



Fuente: *Fundamento de hidrología de superficie*. Aparicio. 1992.

El número de curva (CN) se puede determinar a partir de tablas que el SCS sugiere, y es un valor que varía de 0 a 100, que dependerá del tipo de uso u ocupación del suelo, características hidrológicas del suelo, y características de humedad del suelo.

Para poder seleccionar el Número de Curva se tiene que tener en cuenta el tipo de suelo y la pendiente del terreno. Algunos valores se pueden obtener de la **Tabla 4**.

Tipos de suelo:

A = Arenas con poco limo y arcilla; suelos muy permeables

B = Arenas finas y limos

C = Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla

D = Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con sub – horizontes de roca sana, suelos muy impermeables

Tabla 4: Valores de CN

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno, en %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	—	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89
	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
Cereales	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88
	Surcos rectos	< 1	63	75	83	87
	Contorneo	> 1	63	74	82	85
	Contorneo	< 1	61	73	81	84
	Terrazas	> 1	61	72	79	82
	Terrazas	> 1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	> 1	66	77	85	89
	Surcos rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85
	Contorneo	< 1	55	69	78	83
	Terrazas	> 1	63	73	80	83
	Terrazas	< 1	51	67	76	80
Pastizales	-----	> 1	68	79	86	89
	-----	< 1	39	61	74	80
	Contorneo	> 1	47	67	81	88
	Contorneo	< 1	6	35	70	79
Pradera permanente	-----	< 1	30	58	71	78
Bosques naturales	Muy ralo	-----	56	75	86	91
	Ralo	-----	46	68	78	84
	Normal	-----	36	60	70	77
	Espeso	-----	26	52	62	69
	Muy espeso	-----	15	44	54	61
Caminos	De terracería	-----	72	82	87	89
	Con superficie dura	-----	74	84	90	92

Fuente: *Fundamento de hidrología de superficie*. 1992.

Los valores que ofrece las tablas para el CN, son para valores medios de la humedad con respecto a días anteriores. Si se quiere obtener el valor o los valores del número de curva (CN) si es que los días previos han sido húmedos o secos, se tienen las condiciones de humedad antecedente [26].

Existen tres tipos de condición de humedad antecedente las cuales son: **Condición de Humedad antecedente I (Seca)**, **Condición de Humedad antecedente II (Intermedia)**, **Condición de Humedad antecedente III (Húmeda)**.

Si es que se tiene los valores del CN de Condición de Humedad antecedente I o Condición de Humedad antecedente II se puede determinar el número de curva equivalente.

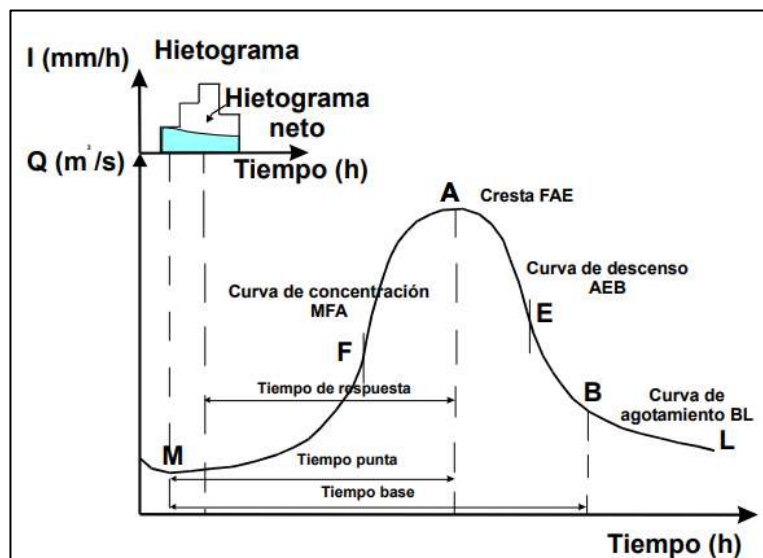
$$CN(I) = \frac{4.2CN_{II}}{10 + 0.058CN_{II}}$$

$$CN(III) = \frac{23CN_{II}}{10 + 0.13CN_{II}}$$

### 2.3.1.7. Hidrograma

El hidrograma de caudales es aquella representación gráfica que expresa la variación en el tiempo del caudal en una sección de un río, denominada sección de salida. En consecuencia, el hidrograma refleja la escorrentía total de la cuenca. Si sobre la cuenca se produce un aguacero de P mm de columna de agua (1 mm = 1 lt/m<sup>2</sup>) que genera una escorrentía de Q mm de columna de agua, el hidrograma definirá el caudal Q dependiente de t como:  $Q=f(t)$  [27].

Gráfico 10: Elementos de un Hidrograma

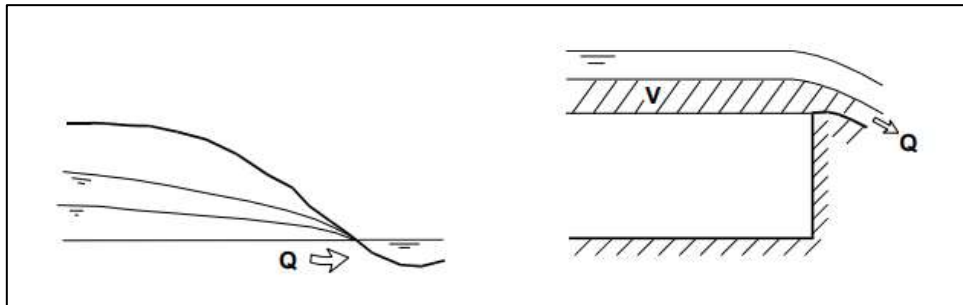


Fuente: Hidrograma asociado a una precipitación. Ricaro Juancosa Rivera.

De acuerdo al Gráfico 10: Elementos de un Hidrograma presentado, se observa en primer lugar que los caudales del río son decrecientes hasta llegar al punto M, en el que comienzan a crecer hasta llegar al denominado caudal máximo, punto A. Este tramo del hidrograma MA se conoce como Curva de concentración. El punto F es el punto de inflexión en este tramo ascendente. Desde la punta comienza un tramo de descenso, el AB, debido a la disminución paulatina en las aportaciones de la escorrentía superficial. El punto E representa el punto de inflexión en dicho tramo. Finalmente, se observa el tramo BL, tramo en el cual ya no hay aportaciones al caudal debidas a la escorrentía

superficial, y por tanto el caudal solamente está originado por escorrentía subterránea. Este tramo BL se denomina curva de agotamiento [27].

*Gráfico 11: Justificación de la curva de Agotamiento*



*Fuente: Hidrograma asociado a una precipitación. Ricaro Juancosa Rivera.*

En el *Gráfico 11: Justificación de la curva de Agotamiento* se ha representado el flujo subterráneo, el cual depende del gradiente horizontal de niveles, y un depósito donde el agua se vierte por rebose desde el mismo. Se puede observar que al igual que en un vertedero situado en un canal, el caudal dependerá del calado de la lámina libre con respecto al nivel que representa el borde superior del depósito, o también del volumen de agua que se encuentre entre dicho nivel y el calado de la lámina libre. El caudal será proporcional a dicho volumen.

$$Q = \alpha * V$$

$\alpha$ = coeficiente de agotamiento

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

V= volumen (m<sup>3</sup>)

El caudal será la variación del volumen con respecto al tiempo, con signo cambiado ya que la variación del volumen es negativa [27].

$$\frac{dV}{dt} = -\alpha * V \rightarrow V = V_0 * e^{-\alpha * t}$$

V<sub>0</sub>= Volumen para t=0

t= tiempo transcurrido desde el tiempo inicial

Los factores que afectan a la forma del hidrograma se pueden agrupar en factores climáticos y factores físico – geográficos. Generalmente tanto los factores climáticos como los físico-geográficos influyen en las formas de la curva de concentración.

*Tabla 5: Factores que afectan el Hidrograma*

<b>FACTORES FÍSICO-GEOGRÁFICOS</b>	<b>FACTORES CLIMÁTICOS</b>
<b>Características de la cuenca:</b> a) Forma b) Tamaño c) Pendiente d) Naturaleza e) Elevación f) Densidad de drenaje	<b>Características del aguacero:</b> a) Precipitación b) Intensidad c) Duración d) Magnitud y movimiento del aguacero
<b>Características del terreno:</b> a) Uso de la tierra y cobertera b) Tipo de suelo y condiciones geológicas c) Lagos, depresiones	<b>Umbral de escorrentía</b>
<b>Características del cauce:</b> a) Sección b) Rugosidad c) Capacidad de almacenamiento	<b>Evapotranspiración</b>

*Fuente: Hidrograma asociado a una precipitación. Ricaro Juancosa Rivera.*

### **Hidrograma Unitario**

El HU es el hidrograma de 1cm, 1mm de escorrentía directa de una tormenta con una duración especificada. En consecuencia, para la misma duración de lluvia e igual tiempo base en el HU y en el hidrograma resultante, se generan caudales proporcionales al volumen de precipitación efectiva. La duración de la lluvia del HU debe ser aquella que genera escurrimiento significativo. El HU es el hidrograma resultante de una precipitación efectiva uniforme de 1mm, 1cm, 1 pulgada, distribuida uniformemente en la cuenca, con intensidad constante y duración unitaria [28].

Según el MTC [9]“el hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica, siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa que se produciría en la salida de la cuenca si sobre ella se produjera una precipitación neta unidad de una duración determinada”.

### **Hidrogramas sintéticos**

Según Villón [10] :“la mayor parte de las cuencas, no cuentan con una estación hidrométrica o bien con los registros pluviográficos necesarios. Por ello es conveniente contar con métodos con los que se puedan obtener hidrogramas unitarios usando únicamente datos de características generales de la cuenca. Los hidrogramas así obtenidos se denominan sintéticos”.

Un hidrograma sintético tiene como finalidad la representación o simulación de un hidrograma que represente el comportamiento de la escorrentía, y así poder determinar el caudal máximo con el que se pretende diseñar. De los hidrogramas sintéticos desarrollado, el más usado el hidrograma unitario triangular.

### **Hidrograma sintético unitario triangular**

El Hidrograma sintético unitario triangular fue desarrollado por Mockus, este usa el Soil Conservation Service (SCS), la cual a pesar de su simplicidad proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: tiempo de recesión (hr), tiempo de retardo (hr) tiempo de concentración (hr) y el caudal en m<sup>3</sup>/s/cm.

Mediante el uso del hidrograma unitario, el volumen generado por las separaciones de la lluvia en neta y abstracciones es propagado a través del río. El tiempo de recesión se estima con la expresión:

$$tr = 1.67 * T$$

Ya que el área bajo el Hidrograma Unitario tiene que ser igual a una escorrentía de 1cm se llega a la ecuación siguiente:

$$qr = \frac{2.08 * A}{Tp}$$

Donde:

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

Tp = es el tiempo de ocurrencia del pico (hrs)

De esto, tp se determina como:

$$tp = 0.6 * Tc$$

Donde:

tp = es el tiempo de retardo (entre el centroide del hietograma y el pico de caudal) (h)

Tc = es el tiempo de concentración de la cuenca

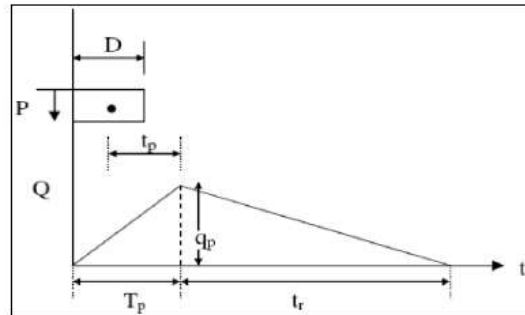
Tp, se puede expresar como:

$$Tp = \frac{D}{2} + tp$$

Donde:

D = Duración de la lluvia

Gráfico 12: Hidrograma Unitario Triangular del SCS



Fuente: Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje (MTC). 2018.

$$t_p = t_p(\text{cuenca natural}) * f_1 * f_2$$

$$f_1 = 1 - M_a * K$$

$$f_2 = 1 - M_c * K$$

$M_a$  = Porcentaje de Aumento de áreas impermeables

$M_c$  = Porcentaje de áreas canalizadas

$$K = (-0.02185CN^3 - 0.4298CN^2 + 355CN - 6789) * 10^{-6}$$

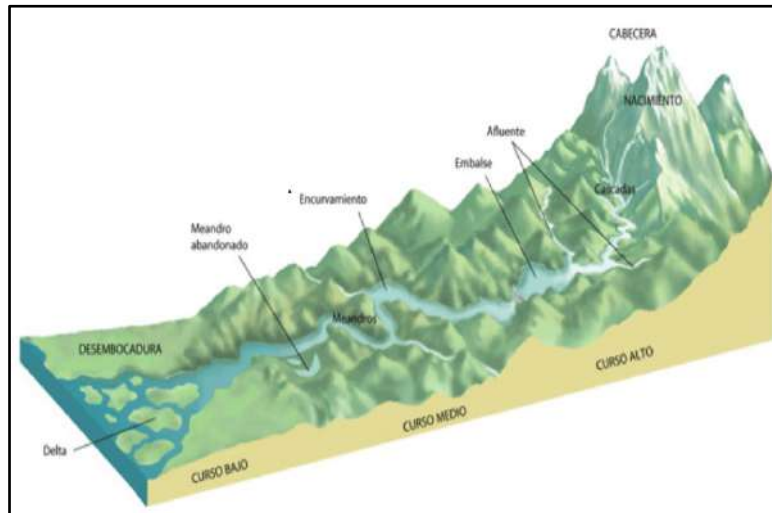
CN = Número de Curva

## 2.3.2. Hidráulica

### 2.3.2.1. Río

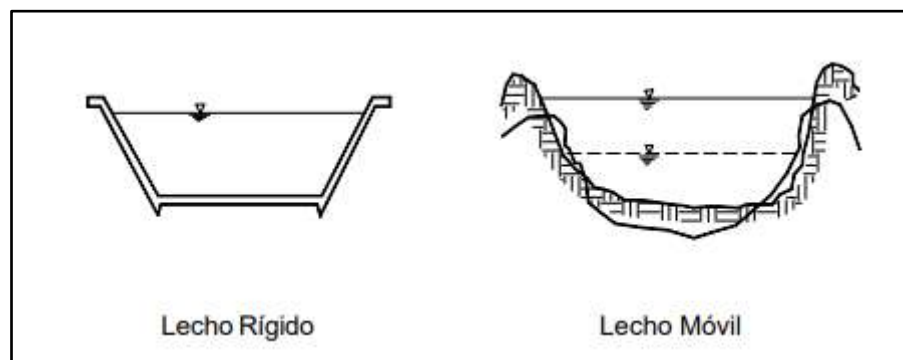
Es un sistema de canales que son naturales, en los cuales se descarga el agua de la cuenca producto de eventos meteorológicos: lluvias, deshielos, etc. Es un elemento que permite drenar el agua de la cuenca. Además, posee un fondo móvil (lecho móvil), esto es, que está conformado por arena, grava, etc., (partículas no cohesivas). Los márgenes, riberas, lechos de los ríos, generalmente están compuesto de material que se erosiona con facilidad, esto dependerá, del caudal y velocidad que pase a través de él [29].

*Ilustración 8: Perfil longitudinal de un Río*



*Fuente: ¿Qué es cuenca Hidrológica?. Ordoñez Gálvez, 2011.*

*Ilustración 9: Sección transversal de un cauce artificial y natural.*



*Fuente: Introducción a la hidráulica fluvia. Rocha Felices. 1998.*

**Clasificación de los ríos según Rosgen:**

**- Río tipo “Aa+”**

Tiene un curso fluvial con una pendiente muy elevada (mayor al 10%), además cuenta con una relación ancho/profundidad bajo y confinados. La sección transversal de este tipo de canal es estrecha y profunda.

Los cauces que corresponden al río tipo Aa+, están asociados con el sustrato de la roca, como también con zonas de “potentes sedimentos o de suelos residuales donde el río realiza una profunda incisión”.

- **Río tipo “A”**

Este tipo de río es similar al mencionado anteriormente, en formas de relieve y de características de un canal, sin embargo, sus pendientes varían de entre los 4 a 10%. Normalmente se puede encontrar en valles de grandes pendientes, y tienen un potencial de sedimentación bajo.

- **Río tipo “B”**

Su característica principal de este río son sus pendientes moderadas a ligeramente moderadas que varían del orden del 2 al 4%. Se encuentran fácilmente en valles estrechos, de laderas controladas. Su sección transversal, de este tipo de ríos, tiene una relación anchura/profundidad mayor a 12. Además, sus tasas de erosión de sus márgenes son normalmente bajas.

- **Río tipo “C”**

Este tipo de río, se desarrollan sobre depósitos aluviales, en valles desarrollados. Son ríos cuya sinuosidad es relativamente alta, sin embargo, poseen pendientes menores al 2%. Además, poseen una relación anchura/profundidad, mayores de 12. Sin embargo, pueden ser fáciles de desestabilizar, ya sea por inestabilidad en sus márgenes, o por, cambios en los flujos del canal.

- **Río tipo “D”**

El río tipo “D” es característico por tener un sistema de canales múltiples o “trenzado”, además de poseer un ratio de anchura/profundidad mayor de 40, con una pendiente que dependerá del valle, ya que será igual o similar. Además, posee una tasa de erosión en sus márgenes elevadas.

“Las características de los canales múltiples se despliegan como series de barras e islas sin cobertera vegetal que cambian de posición frecuentemente durante los eventos de escorrentía por deshielo y drenajes”.

- **Río tipo “DA”**

Se componen de sistemas de canales múltiples donde el flujo del agua que circula en él posee baja velocidad. Posee pendiente muy bajas de alrededor de 0 a 0.0001%. El ratio de anchura/profundidad no está establecido, puesto que varía de valores muy bajos a valores muy altos.

- **Río tipo “E”**

Los canales de tipo “E” poseen una baja relación anchura/profundidad menor a 12, pero con altos índices de sinuosidad. Tienen una mayor anchura de banda activa o de desplazamiento de meandros en relación a su anchura de *bankfull*. Generalmente este tipo de ríos se dan en valles aluviales, donde hay escasa presencia de elevaciones de relieve. Además, este tipo de ríos se consideran muy estables, debido a que poseen llanuras de inundación desarrolladas y relaciones W/D bajas en comparación a los demás canales.

- **Río tipo “F”**

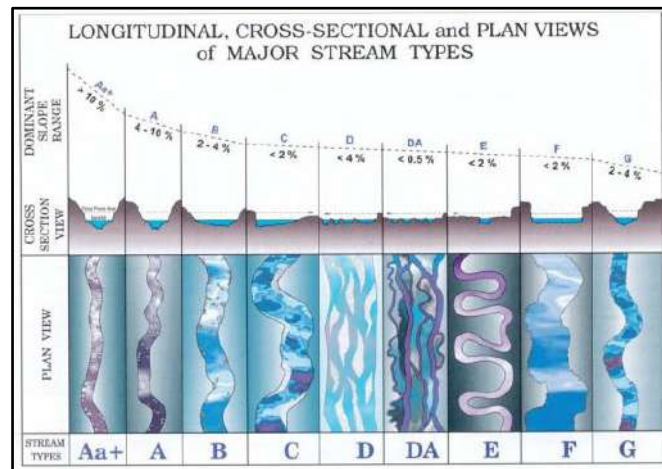
Son denominados también “meandriforme – encajados”. Poseen una relación anchura/profundidad elevada, mayor a 12. Y contiene una forma de lecho fluvial típica, como las que son las secuencias *riffle – pool*.

Generalmente poseen tasas de erosión alta en sus márgenes.

- **Río tipo “G”**

También denominados “*gully*”, tienen una relación anchura/profundidad menor a 12. Suelen tener pendientes abruptas, alrededor del 2 al 3.9%. Se pueden encontrar en cualquier tipo de terreno, pero especialmente se encuentran en abanicos aluviales. Además, poseen una alta tasa de erosión de sus márgenes, y gracias a ellos un gran aporte de sedimentos [30].

*Ilustración 10: Pendiente longitudinal, sección transversal y en planta de los diferentes tipos de ríos*



*Fuente: Aplicación de la clasificación de Rosgen al río Gállego y protocolo para su aplicación a los ríos de la cuenca del Ebro. 2003.*

### 2.3.2.2. Ecuaciones que gobiernan el flujo

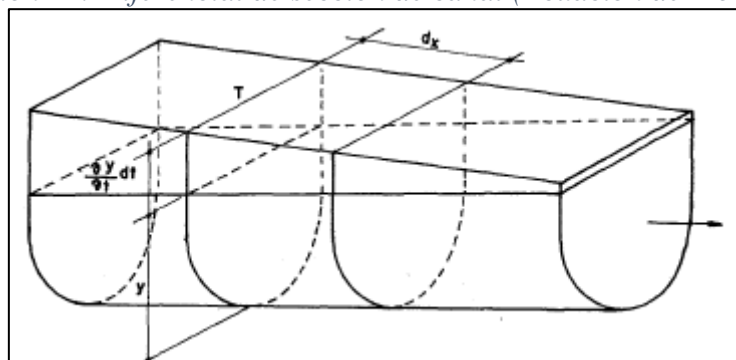
#### a. Ecuación de continuidad

“Independientemente de que un flujo sea laminar o turbulento, todo flujo de fluido debe satisfacer la ecuación de conservación de la masa, comúnmente llamada ecuación de continuidad” [31].

En la práctica, cuando se trata de diseños de canales abiertos se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

*Ilustración 11: Diferencial de sección de canal (Ecuación de Movimiento)*



*Fuente: Mecánica de Fluidos 2. Chereque Morán. 1987.*

En la figura presentada se toma un diferencial de la sección denominado  $dx$ , donde se aplica el principio de conservación de la masa.

El caudal que ingresa es  $Q$ , mientras que el que sale es  $Q+dQ$

Por lo tanto el volumen que entra es  $Q \cdot dt$ , y el que sale es  $Q \cdot dt + dQ \cdot dt$

Esto indica que hay un cambio de volumen, y además un cambio de almacenamiento.

$$T \cdot \frac{\partial y}{\partial t} \cdot dt \cdot dx$$

Además, se tiene que, si es agua incompresible, su masa es constante, por lo tanto, no existe cambio en el peso específico.

$$d \cdot V_o = 0$$

Entonces la ecuación quedaría expresada de la siguiente manera:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + T \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

Se debe tener en cuenta que:  $Q = V \cdot A$

Entonces la ecuación quedaría de la siguiente manera:

$$A \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial A}{\partial x} + T \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

### **b. Ecuación de Navier – Stokes**

Esta ecuación está fundamentada en la extrapolación de fluidos con una densidad constante, a partir de las ecuaciones donde se vinculan deformaciones y tensiones.

Esta ecuación está vinculada con las tensiones normales y tangenciales. Donde las tensiones dependen del módulo de elasticidad ( $E$ ) y las deformaciones unitarias, y, las deformaciones tangenciales dependen del módulo transversal ( $G$ ) y el ángulo de distorsión del ángulo recto ( $\gamma$ ), originado por los esfuerzos cortantes.

“Las ecuaciones son aplicadas a una sustancia de  $\nu = 1/2$ , es decir un líquido incompresible pero deformable”. En la mecánica de fluidos, las tensiones normales se le conoce como presiones, y en fluidos hay una proporcionalidad entre sollicitación y la velocidad de deformación, por lo que se tienen las siguientes ecuaciones:

$$-p_x + \frac{1}{\nu} (p_y + p_z) = E \left( \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial t} \right)$$

$$-p_y + \frac{1}{\nu} (p_x + p_z) = E \left( \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial t} \right)$$

$$-p_z + \frac{1}{\nu} (p_x + p_y) = E \left( \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial t} \right)$$

Se vinculan los esfuerzos y las deformaciones a través de lo siguiente:

$$p = \phi \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + cte ; \tau = \mu \cdot \frac{\partial V}{\partial z} = \mu \cdot \frac{\partial \gamma}{\partial t}$$

La deducción para la ecuación de Navier – Stokes, consiste en, elaborar matemáticamente el equilibrio dinámico, a lo largo de la trayectoria, de la partícula fluida en movimiento. La representación que se toma para figurar la partícula fluida en movimiento es el cubo elemental, sujeta a sollicitaciones normales y tangenciales, que resultan de del movimiento de la partícula en el fluido [32].

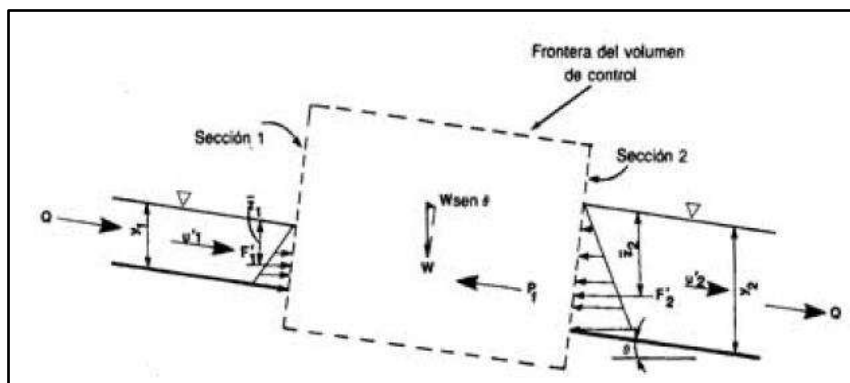
$$F - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \frac{v \nabla^2 V}{g} = \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \text{rot} \bar{V} x \bar{V} + \text{grad} \left( \frac{V^2}{2} \right)$$

### c. Momentum

Cuando se quiere aplicar la segunda ley de movimiento de Newton en problemas de flujo permanente en canales abiertos, se debería comenzar esquematizando matemáticamente un volumen de control, donde se genera una pérdida de energía desconocida entre las secciones 1 y 2 como se presenta en la figura. En muchos de los casos, el cambio que se da se asocia con la diferencia de tirantes del flujo [31].

$$F'1 + F'3 - F'2 - \sum f'f - P'f = \frac{\gamma}{g} Q (\beta_2 \bar{u}'_2 - \beta_1 \bar{u}'_1)$$

*Ilustración 12: Definición esquemática para el momentum*



*Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Richard French. 1988.*

Suponiendo primero que  $\Theta$  es pequeña, se asume que  $\Theta=0$  y su coseno es igual a 1. Además, que  $\beta_1 = \beta_2 = 1$ , y tercero que  $\sum F'f = 0$ . Entonces la ecuación planteada anteriormente quedaría expresada:

$$\gamma \cdot \bar{z}_1 \cdot A_1 - \gamma \cdot \bar{z}_2 \cdot A_2 - P_f = \frac{\gamma}{g} Q(\bar{u}_2 - \bar{u}_1)$$

Cuando se sustituye  $\bar{u}_1 = Q/A_1$  y  $\bar{u}_2 = Q/A_2$  en la ecuación anteriormente desarrollada, y se reagrupan los términos, se tiene que:

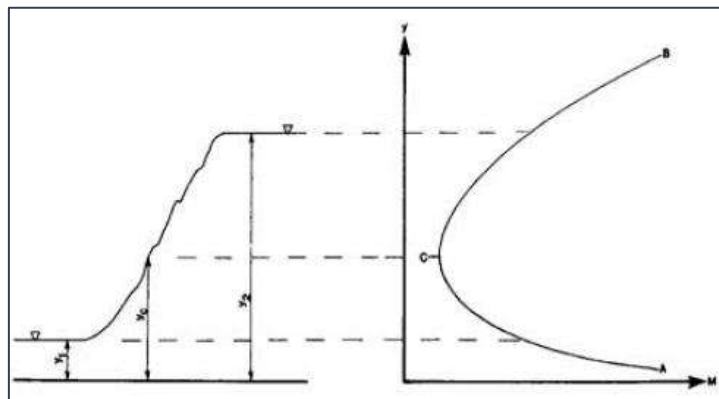
$$\frac{P_f}{\gamma} = \left( \frac{Q^2}{gA_1} + \bar{z}_1 A_1 \right) - \left( \frac{Q^2}{gA_2} + \bar{z}_2 A_2 \right)$$

$$\frac{P_f}{\gamma} = M_1 - M_2$$

$$M = \frac{Q^2}{gA} + \bar{z}A$$

Donde a M se le conoce como la función de “mometum” o fuerza específica.

*Ilustración 13: Curva de Momentum y tirantes conjugados*



*Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos. Richard French. 1988.*

### 2.3.2.3. Conductos abiertos

Los conductos abiertos, se caracterizan por tener su superficie libre, en contacto con la atmósfera, donde el flujo se produce por el peso propio del fluido que transcurre sobre el conducto. Desde el punto de vista mencionado, un río vendría a ser un canal, por lo tanto, un río es un conducto abierto.

Los caudales de los ríos (caudales fluviales) son muy irregulares en el tiempo, es por ello que, para registrar las variaciones del nivel del cauce, es necesario la ayuda de instrumentos como lo son los limnígrafos.

En ríos donde existen figuras prismáticas (forma definida), se puede lograr un movimiento uniforme, en medida que se mantenga la sección transversal. Sin embargo, en un río las secciones a lo largo de este, son muy variables, producto de ello el movimiento no es uniforme. Adicionalmente, la naturaleza de los flujos es tridimensional, donde en los ríos es más intensa, que en canales de características prismáticos. Es por ello que se usan ecuaciones, que son simplificaciones, esquematizaciones, del verdadero escurrimiento; como, por ejemplo: Manning o Chezy [29].

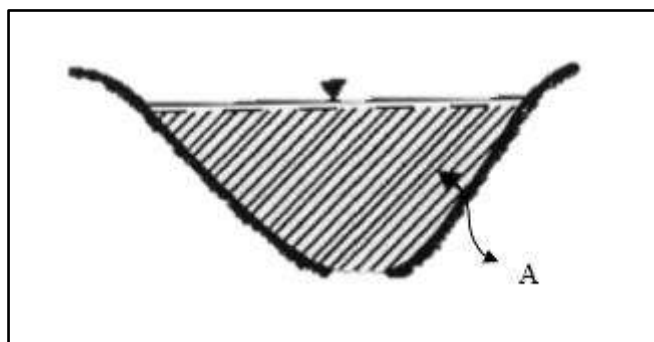
#### 2.3.2.4. Propiedades geométricas

Los canales tienen una sección transversal irregular y variable, más aún, si se trata de uno natural, como lo son los ríos, sin embargo, es necesario conocer sus propiedades a fin de poder estudiarlos con mejor precisión [33].

##### - Área Hidráulica (A):

Es la superficie que ocupa el líquido en una sección transversal, de un canal.

*Ilustración 14: Área Hidráulica de un Canal*

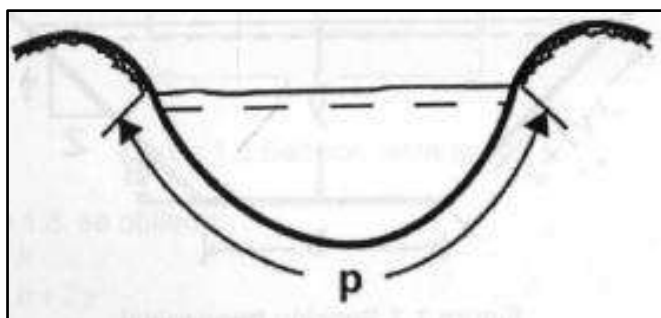


*Fuente: Hidráulica de Canales. Máximo Villon .2007.*

##### - Perímetro mojado (P):

Es la parte del conducto que está en contacto con el fluido que escurre en el canal.

*Ilustración 15: Perímetro Mojado*



*Fuente: Hidráulica de Canales. Máximo Villon .2007.*

- **Radio Hidráulico (R):**

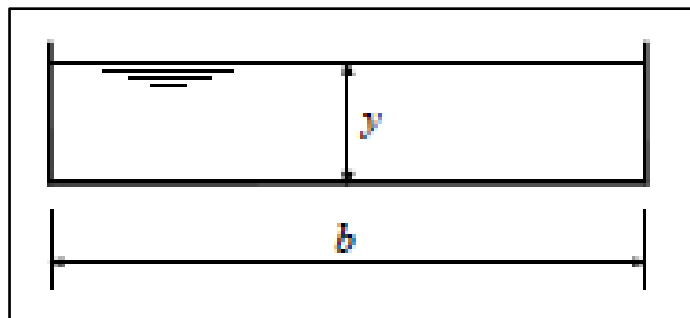
Es la dimensión característica de la sección transversal de una canal, y viene a ser la relación del Área Hidráulica y el Perímetro Mojado de la sección. Se determina mediante la siguiente fórmula:

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

- **Tirante (y):**

Viene a ser la distancia vertical de la sección transversal, medida desde el punto más bajo del canal (fondo) hasta la superficie libre.

*Ilustración 16: Tirante de un canal*

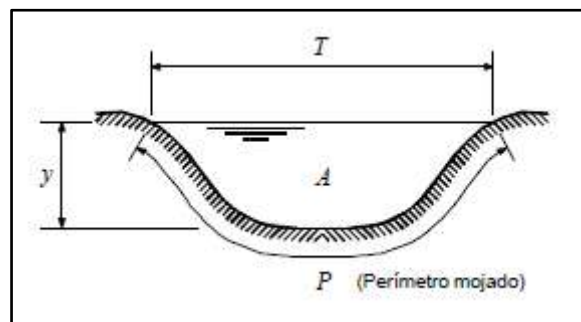


*Fuente: Hidráulica de Canales. Máximo Villon .2007.*

- **Tirante Hidráulico (d):**

Es la relación que existe en un canal, entre el área de la sección (A), y su ancho superficial (espejo de agua, T).

*Ilustración 17: Variables para determinar*



*Fuente: Hidráulica de Canales. Máximo Villon .2007.*

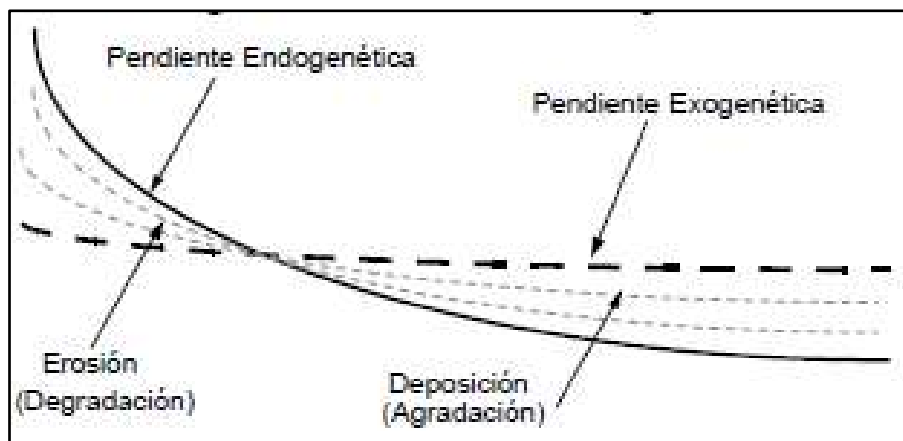
### 2.3.2.5. Hidráulica fluvial

#### a. Erosión en Cuencas

La erosión es un proceso natural que se ha desarrollado desde los tiempos geológicos y que da la forma a la corteza terrestre. Se define, también, como el desgaste que sufre la superficie terrestre (el suelo) ya sea por acción de fricción que existe por acción del agua en movimiento, glaciares, vientos y olas.

Debido al proceso de erosión se genera un cambio de la pendiente original de un terreno (pendiente endogenética). En algún punto existe la remoción de los materiales, y en otros existe la sedimentación. Y como consecuencia de ello, aparece una nueva pendiente, la cual se denomina exogenética [29].

*Ilustración 18: Variación de Pendientes durante la Erosión*



*Fuente: Introducción a la hidráulica fluvial. Arturo Rocha. 1998.*

La erosión de rocas forma un talud o un cono aluvial junto a una roca desnuda. El material producto de la erosión de rocas, llamado escombros, es transportado por el agua o el viento, y termina en los ríos, que eventualmente terminan en el mar. Pero, en los ríos, estos escombros toman el nombre de sedimentos. Este material sólido que ingresa a los cauces fluviales, puede provenir de desplomes, deslizamientos, etc., y el material que se transporta eventualmente se deposita en terrazas o áreas de inundación.

La cantidad de sólidos que resulta cuando se erosiona una cuenca se expresa en volúmenes o peso por unidad de área de la cuenca y por unidad de tiempo ( $t/km^2/año$ ,  $m^3/ha/año$ , etc.), y el valor calculado con las unidades correspondientes vendría a ser la Erosión Específica (E.E.).

## **Tipos de Erosión**

### **- Normal**

Es aquella que tiene un progreso lento. Donde se alcanza poco a poco un estado de equilibrio. Donde se caracteriza por presentar una distribución de partículas normal (incluyen desde rocas hasta limos). No existen problemas serios de erosión o sedimentación.

### **- Acelerada**

Este tipo de erosión se genera cuando hay alteraciones naturales. Por ejemplo, en cambios de clima (deshielos, aumento de temperaturas, cambios en la vegetación, etc.), fuerzas geológicas. Pero la principal, es cuando existe intervención del hombre.

### **- Erosión en cárcavas**

Se denomina así, a la erosión que causa profundas excavaciones en el suelo.

### **- Erosión laminar**

Este tipo de erosión es causada por efectos de lluvias o escurrimientos de aguas, de una capa que es casi uniforme del suelo superficial. Los factores que determinan intensidad de este tipo de erosión se encuentran: la precipitación, las características de los suelos, características del terreno, etc.

### **- Erosión en Surcos**

“Es la remoción y pérdida del suelo superficial en pequeños canales, ocasionada por el agua”.

## **Prevención de la Erosión**

Para que se prevenga la erosión, es muy importante la conservación de la vegetación. La vegetación tiene ventajas significativas debido a que: i) Rompe la fuerza de las gotas de lluvia, ii) Retiene parte de la lámina de precipitación, iii) Ayuda a conservar el suelo húmedo y absorbente, iv) Debido a la presencia de raíces y vegetación el suelo se mantiene poroso, v) Aumenta la resistencia del suelo gracias que existen raíces, vi) Aumenta el flujo subterráneo y representa una resistencia al flujo superficial.

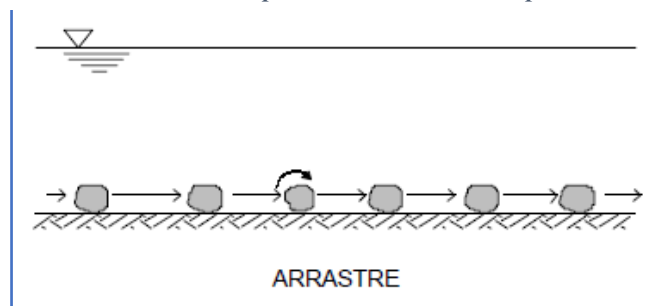
## b. Transporte de sedimentos

Cuando se tiene un canal donde se tiene concreto como material de la sección, se puede establecer una relación entre las variables mediante las ecuaciones de Manning o Chezy. El caudal estará en función de la pendiente, la rugosidad de la sección y las dimensiones de la sección. Pero, si hablamos de un canal donde se tiene un material erosionable y una sección no definida (por ejemplo, un río natural), la sección está sujeta a cambios de debido a la erosión o sedimentación.

Entonces se debe tener muy en cuenta, aquellas partículas que se van a transportar, aquellas que se quedarán posadas en el fondo, y aquellas que se quedarán en suspensión.

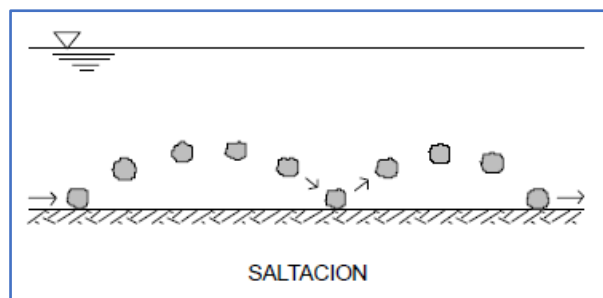
De acuerdo al tamaño de las partículas, éstas pueden desplazarse por saltos (transporte por saltación), aquellas partículas que poseen un tamaño mayor rodarán o se deslizarán, pero siempre en contacto con el fondo del canal, y por último las partículas de menor tamaño quedarán suspendidas, hay que tener en cuenta que en el caso de las partículas en suspensión las velocidades con la que se transportan son muy similar a la velocidad de la corriente [29].

*Ilustración 19: Transporte de sedimentos por arrastre*



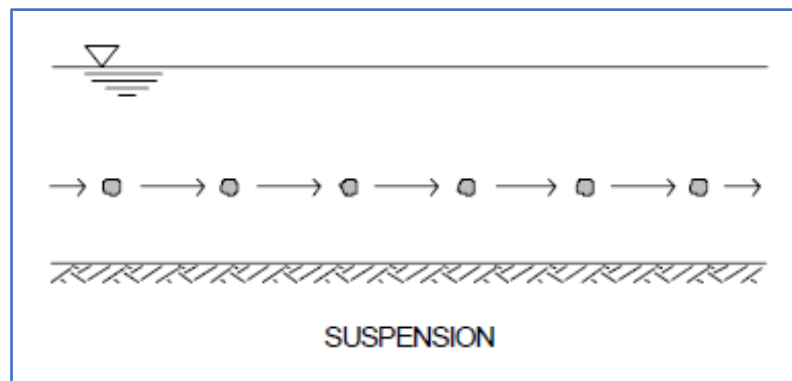
*Fuente: Introducción a la hidráulica fluvial. Arturo Rocha.1998.*

*Ilustración 20: Transporte de sedimentos por saltación*



*Fuente: Introducción a la hidráulica fluvial. Arturo Rocha.1998.*

Ilustración 21: Transporte de sedimentos por suspensión



Fuente: *Introducción a la hidráulica fluvial*. Arturo Rocha. 1998.

De acuerdo a las partículas que participan en el transporte de sólidos, se encuentran las cohesivas y las no cohesivas. Las cohesivas son aquellas que se encuentran adheridas unas a otras, la cual requiera una fuerza adicional para transportarlas, que se denomina fuerza de cohesión, y pueden ser las arcillas y los limos. En cambio, los materiales no cohesivos solo se necesita la fuerza suficiente que requiere para mover su peso y forma [29].

Tabla 6: Clasificación de partículas de acuerdo a la A.G.U

1) Cantos rodados (250-4 000 mm)	muy grandes grandes medianos pequeños	4 000-2 000 mm 2 000-1 000 mm 1 000-500 mm 500-250 mm
2) Guijarros (64-250 mm)	grandes pequeños	250-125 mm 125-64 mm
3) Gravas (2-64 mm)	muy gruesa gruesa media fina muy fina	64-32 mm 32-16 mm 16-8 mm 8-4 mm 4-2 mm
4) Arenas (0,062-2 mm)	muy gruesa gruesa media fina muy fina	2-1 mm 1-0,5 mm 0,5-0,25 mm 0,25-0,125 mm 0,125-0,062 mm
5) Limos (4 a 62 $\mu$ ) = (0,004 a 0,062 mm)		
6) Arcillas (0,24 a 4 $\mu$ ) = (0,00024 a 0,004 mm)		

Fuente: *Introducción a la hidráulica fluvial*. Arturo Rocha. 1998.

### 2.3.2.6. Tipos de Flujos

Para clasificar un flujo, primero se debe tener en cuenta qué variable se está tomando como referencia, ya que se puede tomar como parámetros: el tiempo, el espacio, la viscosidad, etc.

#### - Flujo Permanente y no permanente

En esta clasificación se toma como variable principal el tiempo. Se puede afirmar que el flujo es *permanente* si los parámetros (velocidad, tirante, etc.) no varían con respecto al tiempo, es decir, en la sección del canal, durante todo el tiempo los elementos del flujo permanecen constantes, etc. [34].

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0; \frac{\partial v}{\partial t} = 0; \frac{\partial A}{\partial t} = 0; \text{ etc.}$$

En cambio, si todos estos parámetros varían con el tiempo, entonces, el flujo se llama *no permanente*.

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial A}{\partial t} \neq 0; \text{ etc.}$$

#### - Flujo uniforme y variado

Para poder determinar si un flujo es uniforme o variado, se analizarán los parámetros (tirante, velocidad, área, etc.) de acuerdo al espacio (variable principal en esta clasificación). Se puede afirmar que un flujo es *uniforme*, cuando en cualquier sección del canal, los parámetros permanecen constantes.

$$\frac{\partial y}{\partial L} = 0; \frac{\partial v}{\partial L} = 0; \frac{\partial A}{\partial L} = 0; \text{ etc.}$$

Si, por el contrario, los parámetros se ven afectados, de una sección a otra, se puede afirmar que el flujo no es uniforme o *variado*.

$$\frac{\partial y}{\partial L} \neq 0; \frac{\partial v}{\partial L} \neq 0; \frac{\partial A}{\partial L} \neq 0; \text{ etc.}$$

El flujo variado, se puede clasificar también, en gradual y rápidamente variados. Donde, el flujo gradualmente variado, es donde los parámetros varían de forma gradual a lo largo del canal, como es el caso de una curva de remanso. Por otro lado, el flujo rápidamente variado, es donde los parámetros varían de forma instantánea, dado es el caso de un resalto hidráulico [34].

#### - **Flujo laminar o turbulento**

En los canales, el comportamiento del flujo, depende principalmente de los efectos de las fuerzas viscosas y de gravedad, en relación con las fuerzas de inercia del flujo.

Cuando se tiene como variable la viscosidad, el flujo se puede dividir en: laminar ( $Re < 580$ ), de transición ( $580 \leq Re \leq 750$ ) o turbulento ( $Re > 750$ ). Al igual que en conductos cerrados, la fuerza viscosa se puede medir a través del número de Reynolds ( $Re$ ), donde se relacionan las fuerzas de inercia de velocidad con fuerzas viscosas [34].

$$Re = \frac{v * R}{\nu}$$

$R =$  *Radio hidráulico (m)*

$v =$  *velocidad media (m/s)*

$\nu =$  *viscosidad cinemática del fluido (m<sup>2</sup>/s)*

#### - **Flujo crítico, subcrítico y supercrítico**

Cuando se relaciona el flujo con el efecto de la gravedad, el puede ser crítico, subcrítico y supercrítico, donde para poder saber en que caso nos encontramos, recurrimos a calcular el número de Froude (F), donde se relacionan las fuerzas de inercia de velocidad con las fuerzas de gravedad [34].

$$F = \frac{v}{\sqrt{g * L}}$$

$v$  = velocidad media de la sección (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$L$  = longitud característica de la sección (m)

Flujo subcrítico (F<1)

Flujo crítico (F=1)

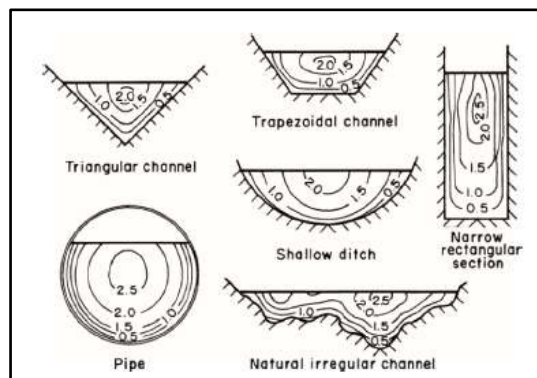
Flujo supercrítico (F>1)

### 2.3.2.7. Distribución de Velocidades

El flujo de velocidades en un canal varía de un punto a otro. Esto se debe al esfuerzo cortante en el fondo y a los laterales del canal, además de la superficie libre.

El flujo de velocidades puede tener componentes en los tres ejes cartesianos, sin embargo, los componentes de las velocidades en la dirección vertical y transversal son generalmente pequeñas que se desprecian. Por lo tanto, sólo serán considerados los valores de velocidad que estén en dirección paralela al flujo de corriente. La velocidad varía según la profundidad de la sección [35].

*Ilustración 22: Distribución de velocidades en diferentes secciones de canales*



*Fuente: Open – Channel Flow. Hanif Chaudhry. 2008.*

### 2.3.2.8. Formula de Manning y coeficiente de rugosidad

Es una fórmula que se usa frecuentemente en los cálculos hidráulicos, y se encuentra más extendida en la actualidad. Se basa en la fórmula de Chezy, donde reemplazando la siguiente expresión:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

En:

$$V = C * \sqrt{R * S}$$

Se obtiene la fórmula de Manning, también conocida como Manning – Strickler:

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{0.5}}{n} \rightarrow Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{0.5}}{n}$$

En el libro *“Hidráulica de Tuberías y Canales”* de Arturo Rocha Felices se señala que [33]: *“La fórmula de Manning es aceptable para valores intermedios de la rugosidad relativa. Tampoco hay que olvidar que una expresión de este tipo no puede englobar la acción de la viscosidad. Es, pues, de suponer que su poca exactitud disminuya con número de Reynolds bajos”*.

Consideraciones a tener al momento de elegir el coeficiente de rugosidad de Manning:

- a) En la presencia de **curvas** a lo largo del alineamiento del canal, aumenta la resistencia, ya que el coeficiente de rugosidad, es un coeficiente de resistencia. Tener en cuenta la cantidad de curvas, y el radio de curvaturas que estas posean.
- b) La presencia de **vegetación** y el crecimiento de esta, sobre todo en canales no muy anchos, donde se pueden alterar los valores que se proponen para la rugosidad. Un crecimiento desmedido de **vegetación** puede alterar el coeficiente de rugosidad hasta en 50% superior al valor propuesto para el valor de n.
- c) Las **irregularidades** en los canales que puedan tener, afectan al coeficiente de rugosidad, esto es debido a bancos, depósitos de sedimentos, etc.
- d) Tener en cuenta el tirante que se está proponiendo o evaluando, ya que rugosidad relativa disminuye y por lo tanto disminuye el coeficiente n.

Para la selección del coeficiente de rugosidad n, Cowan planteó una fórmula de acuerdo a las consideraciones antes mencionadas.

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

$n_0$  = valor básico que depende de la rugosidad

$n_1$  = valor adicional para tomar en cuenta las irregularidades

$n_2$  = valor adicional para tomar en cuenta las variaciones en la forma y el tamaño de la sección transversal

$n_3$  = valor donde se toma en cuenta las obstrucciones

$n_4$  = valor donde se toma en cuenta la vegetación

$m_5$  = valor donde se toma en cuenta la presencia de meandros

*Tabla 7: Tabla de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente  $n$*

Superficie del canal	Tierra	$n_0$	0.020
	Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Irregularidad	Suave	$n_1$	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severa		0.020
Variación de la Sección	Gradual	$n_2$	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010-0.015
Efecto de la obstrucción	Despreciable	$n_3$	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Bajo	$n_4$	0.005-0.010
	Medio		0.010-0.025
	Alto		0.025-0.050
	Muy Alto		0.050-0.100
Intensidad de Meandros	Menor	$m_5$	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

*Fuente: Hidráulica de Tubería y Canales. 2007.*

Adicionalmente se puede obtener los coeficientes de rugosidad de Manning ( $n$ ) del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje; proporcionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018).

Tabla 8: Valores del Coeficiente de Rugosidad de Manning (Corrientes Naturales)

	Tipo de Canal	Mínimo	Normal	Máximo
Corrientes Menores (Ancho Superficial < 30)	a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
	rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
	Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
	Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
	b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos	0.075	0.100	0.150
	Árboles y arbustos sumergidos			
	Parcialmente en crecidas con piedras y	0.030	0.040	0.050
	Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.	0.040	0.050	0.070
Planicies de Inundación	a. con pasto sin arbusto			
	pastizales bajos	0.025	0.030	0.035
	pastizales altos	0.030	0.035	0.050
	b. áreas cultivadas			
	sin cultivo	0.020	0.030	0.040
	con cultivos	0.030	0.040	0.050
	c. Arbustos y Malezas			
	escasos	0.040	0.060	0.080
	densos	0.070	0.100	0.160
d. Árboles				
saucos	0.110	0.150	0.200	
tierra despejada con troncos	0.030	0.040	0.050	
Ríos Principales (ancho superior a 30m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060
	Secciones Irregulares	0.035	-	0.100

Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. 2018.

## 2.4. Modelos Matemáticos

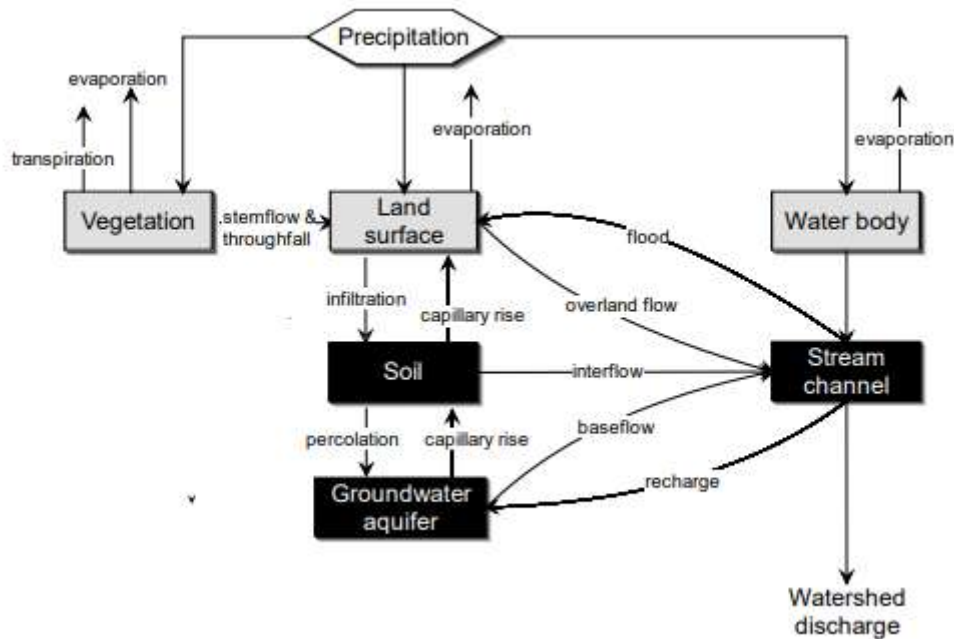
### 2.4.1. HEC – HMS

Desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), perteneciente al Instituto para fuentes de agua (IWR), del cuerpo de ingenieros del ejército estadounidense. Es un software de modelamiento hidrológico que permite simular procesos hidrológicos pertenecientes a una cuenca. El software está basado en métodos tradicionales para el análisis hidrológico, tales como hidrogramas unitarios, infiltración, escorrentía, etc.

Este programa ayuda, a obtener, el comportamiento de una cuenca de un río específico producto de la precipitación, gracias a que se representa la cuenca como un sistema conectado, mediante sus componentes hidráulicos e hidrológicos.

Para poder modelar en HEC – HMS necesitas datos de precipitación, para ello se realiza la prueba de consistencia de datos, mencionada en el capítulo anterior, se necesita además de la intensidad y de las características de la cuenca [36].

Gráfico 13: Diagrama del proceso de escorrentía usado por el HEC - HMS



Fuente: HEC – HMS Technical Reference Manual. 2000.

#### 2.4.2. HEC – RAS

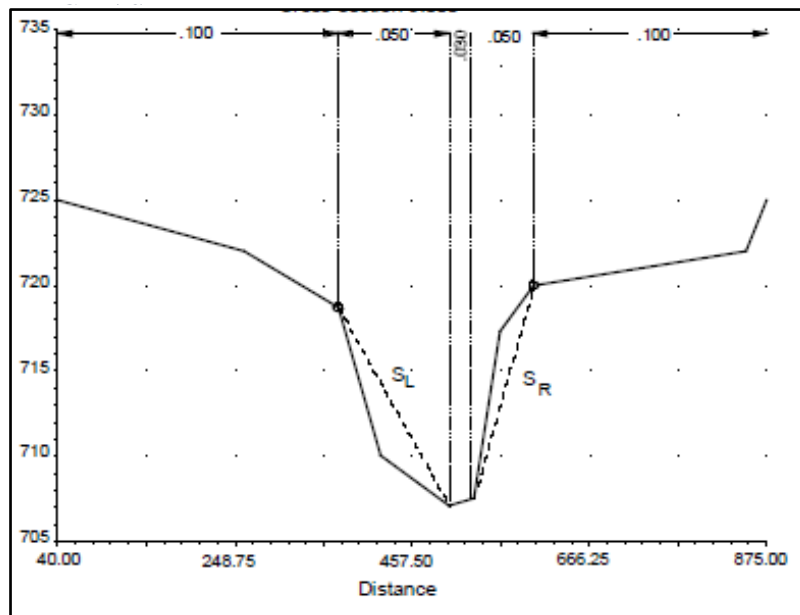
El software HEC – RAS es un aplicativo de computador, que fue desarrollado en el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC por sus siglas en inglés), el cuál es una división del Instituto para fuentes de agua (IWR), del cuerpo de ingenieros del ejército estadounidense.

Este programa está diseñado para desarrollar modelos en una dimensión (1D), en dos dimensiones (2D), o en su defecto combinar ambos modelos (1D y 2D), y así realizar los cálculos necesarios para una red natural completa y canales construidos.

En el programa se puede modelar perfiles de superficie de agua de flujo permanente, lo que permite calcular perfiles de superficie de agua para flujos permanentes gradualmente variados.

La lógica básica para poder hacer el cálculo computacional está basada en la solución de la ecuación de energía en una dimensión. Las pérdidas de energía son evaluadas por fricción, apoyándose del coeficiente de Manning, y por contracción y expansión (coeficiente multiplicado por el cambio de potencial de velocidad). La ecuación de momento es utilizada en situaciones donde el perfil de superficie de agua es rápidamente variado.

*Ilustración 23: Sección transversal obtenida con el programa*



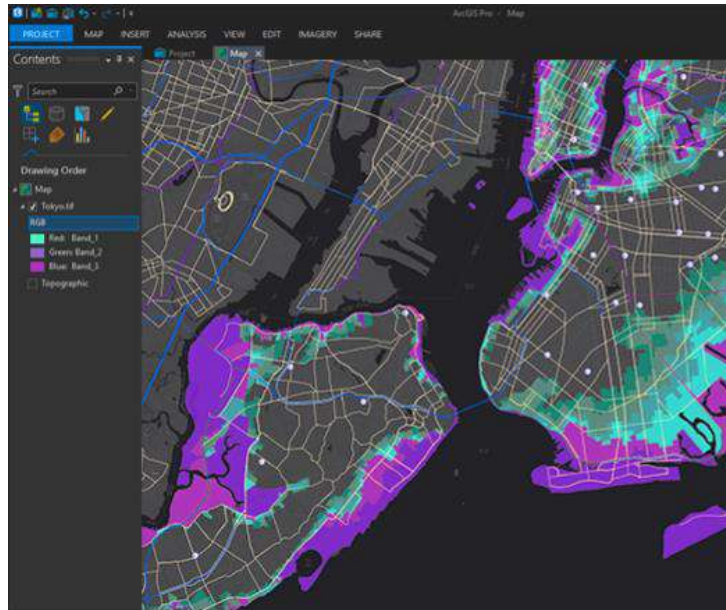
*Fuente: HEC-RAS 5.0 Manual reference. 2020.*

### 2.4.3. ARCGIS

Es un software que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es una plataforma que sirve para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG) [37]. Perteneciente a la empresa ESRI, permite crear mapas dinámicos con los cuales se permite observar el comportamiento, en este caso, del río Motupe y el comportamiento de su flujo.

Los mapas que se crean con ArcGIS muestran información y al mismo tiempo permiten utilizarla para la consulta, el análisis, la planificación y la administración. Este es un concepto clave en ArcGIS: los mapas constituyen a la vez un producto final del trabajo SIG y una herramienta utilizada en este trabajo. Un mapa de ArcGIS es una ventana interactiva donde pueden visualizar, explorar, analizar y actualizar información geográfica. Con ArcGIS, los mapas se crean no sólo para mostrar datos, sino también como herramienta para buscar y comprender patrones y relaciones, realizar análisis y modelado a fin de resolver problemas específicos, visualizar y realizar un seguimiento del estado, permitir la entrada y la compilación de datos y dar a conocer ideas, planes y diseños.

*Ilustración 24: Interfaz del software Arc-GIS*



*Fuente: Arc-GIS (ESRI). 2020.*

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Tipo y Nivel de investigación

El tipo de investigación que se plantea es *descriptivo, cuantitativo y correlacional*.

##### **Descriptivo**

Especificar a través del relieve de la zona a estudiar, las características de la cuenca, características de las secciones del río y así poder determinar parámetros necesarios para el estudio a realizarse.

##### **Cuantitativo**

Determinar la cantidad de precipitación y caudal que se tendrá de acuerdo a los tiempos de Retorno que se plantean, además determinar el tirante máximo y en cada sección de río y, el área inundada.

##### **Correlacional**

Establecer la relación que existe con la variable independiente (estudio hidrológico) y la variable dependiente (estudio de inundabilidad).

$$X (\text{estudio hidrológico}) \rightarrow Y (\text{estudio de inundabilidad})$$

El nivel de investigación es *no experimental*.

Analizar el nivel de riesgo de inundación de las zonas aledañas al río Motupe en el distrito de Motupe, mediante el estudio hidrológico y los tiempos de retorno que se plantean.

### 3.2. Diseño de Investigación

La **hipótesis** correlacional sería: ¿Mediante el estudio hidrológico del río Motupe, y con apoyo de softwares se podrá determinar las zonas con riesgo de inundación para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años, en el distrito de Motupe?

En este trabajo, el diseño correspondiente a la investigación planteada es, **no experimental transeccional correlacional causal**, debido a que según los datos de precipitación que se obtengan, se podrán relacionar con la cantidad de área inundada según los tiempos de retorno que se proponen.

### 3.3. Población y muestra

#### Población:

La población del presente proyecto es el Distrito de Motupe.

#### Muestra:

La muestra del presente proyecto son las zonas aledañas al Río Motupe

### 3.4. Operacionalización de variables

Variable	Dimension	Indicador	Instrumento	unidad
INDEPENDIENTE	Estudio Hidrológico	Precipitaciones	SENAMHI	mm
		T. Retorno	Manual de Drenaje Vial	Años
		Hietograma	HEC-HMS	P vs t
	Estudio Topográfico Preliminar	Curvas de Nivel	NASA (Aster Dem)	msnm
		Perfil Longitudinal	Autocad	msnm
		Delimitación Cuenca	ArcGIS	GLB.
Estudio geomorfológico	Mapas de suelo/Mapas de uso de suelo	INGEMMET/ANA/MINAGRI	GLB.	
DEPENDIENTE	Modelamiento Hidráulico/Mapa De Inundabilidad	Hidrograma	HEC-HMS	Q vs t
		Secciones Trans.	Batimetría	m
			HEC-GEORAS	m

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### - Técnicas

Se usará la observación, para poder hacer un reconocimiento de campo, y además saber el tipo de coeficiente a usar en el modelamiento hidráulico del río Motupe. Además, permitirá saber la cantidad de vegetación que cubre la zona.

#### - Instrumentos

Para poder obtener las **características de campo** de la zona a estudiar, se requerirá una **cámara**.

Para poder obtener el **relieve de la zona**, se usará **software de computador como ArcGIS y mapas satelitales** proporcionados por la NASA a través de su satélite ASTER (ASTER DEM).

Además, para el **modelamiento hidrológico** se usarán datos de precipitaciones de las estaciones pertenecientes a la Cuenca Motupe, proporcionados por SENAMHI, apoyándome de software como **Excel** para el análisis de consistencia de datos, y **HEC-HMS** para dicho modelamiento. Para el modelamiento hidrológico, se usarán los datos de la topografía y batimetría del río, usando como apoyo el software **HEC-RAS**.

Y para la redacción de las bases teóricas y presentación de la investigación se usará el software **Word**. Y para la presentación de planos se usará el software **AutoCAD**.

### 3.6. Procedimientos

#### - Recolección de datos de la cuenca y zona a estudiar

Se procede a identificar la cantidad de estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca Motupe para poder establecer si la cantidad de estaciones es suficiente o faltarían.

Se realiza visita a la zona de estudio para poder hacer un reconocimiento de campo de la zona, y poder ver la cantidad de vegetación existente, observar el tipo de suelo predominante por zonas, y para poder determinar el coeficiente de rugosidad que se utilizará para el modelamiento hidráulico.

#### - Obtención de datos meteorológicos y plan de procesamiento de datos

Se solicitan los datos de precipitación de las estaciones a usar de SENAMHI, para poder analizarlos y así poder identificar si hay datos faltantes, y poder completarlos. Seguidamente, se la hace un análisis de consistencia, para saber si los datos

proporcionados guardan relación, además, se usan *distribuciones probabilísticas* como Log Normal, Gumbel, etc. Para finalmente, realizar la prueba de bondad de ajuste que según el Manual del MTC, se puede usar el método de Kolmogorov – Smirnov.

#### - **Construcción de las Curvas IDF**

Se calculan las precipitaciones máximas para tiempos de duración tipo, además se calcula la intensidad de lluvia de acuerdo a los tiempos de retorno planteados. Se verifica que no haya incompatibilidad en los gráficos (no se crucen las diferentes curvas).

#### - **Modelo Hidrológico**

Para el modelo hidrológico, se necesitan los datos de registro pluviométricos de la cuenca Motupe, se calibra el modelo hidrológico. Todo esto realizado en el software HEC-HMS.

#### - **Modelo Hidráulico**

En el modelo hidráulico se necesita la configuración topográfica (relieve) y la batimetría para las secciones transversales, y además, gracias al reconocimiento se puede introducir el coeficiente de rugosidad de Manning (otorgado por el Manual del MTC). Todo esto se realiza con el software HEC-RAS y su extensión HEC-GEORAS.

#### - **Generación del mapa de inundación**

Con ayuda del software Arc-GIS, se importa el archivo generado previamente en el modelo hidráulico, y se genera la grilla que ayudará a la creación de la red triángulos irregulares de la superficie también conocido como TIN, correspondiente a la zona de inundación. Estos mapas de inundación se crearán para periodo de retorno.

### **3.7. Plan de procesamiento y análisis de datos**

#### **Parte I:** Recolección de datos

- Recolección de datos de la cuenca del río Motupe
- Recolección de información bibliográfica
- Recolección de datos bibliográficos
- Revisión de Ley Hidraulica

#### **Parte II:** Trabajo de gabinete fase I

- Delimitación del área a estudiar
- Obtención del relieve de la zona a estudiar mediante el uso de software

- Perfil longitudinal del río
- Realizar el plan de procesamiento de datos de los datos pluviométricos

### Parte III: Trabajo de gabinete fase II (Hidrología)

- Cálculo de las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración.
- Cálculo de intensidad de lluvia para los diferentes periodos de retorno.
- Construcción de las curvas I-D-F
- Obtención de hietograma de diseño e hidrograma de diseño a partir de las curvas I-D-F para cada periodo de retorno.
- Modelo Hidrológico en HEC – HMS

### PARTE IV: Modelo Hidráulico

- Digitalización del río Motupe en el software en HEC-RAS
- Creación de secciones transversales con ayuda del software HEC-GEORAS

### PARTE V: Mapa de inundación y Alternativas de Solución

- Obtención del mapa de inundabilidad para diferentes tiempos de retorno con el software Arc-GIS
- Proponer alternativa de solución para mitigar el riesgo
- Predimensionamiento de la propuesta de solución.
- Modelamiento hidráulico de la propuesta de solución.

## 3.8. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Diseño Metodológico	Población y Muestra
¿Cuáles son las zonas inundables en el distrito de Motupe, para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años del río Motupe aplicando los softwares ArcGIS, HEC-RAS, en un estudio preliminar de inundación?	<p><b>GENERAL:</b> Identificar las zonas con riesgo de inundación de Motupe urbano y rural para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años.</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b> -Realizar el modelo hidráulico del río Motupe mediante el uso del Software ArcGIS y HEC-RAS. -Determinar los caudales máximos del río Motupe para los diferentes tiempos de retorno. -Determinar e identificar las posibles zonas de riesgo, elaborando un mapa de inundación usan los softwares ArcGIS y HEC-RAS. -Obtener el relieve de la zona a estudiar mediante el uso de software. -Proponer alternativa de solución para la prevención de riesgos de inundación. -Predimensionamiento de la alternativa de solución. -Modelamiento hidráulico de la propuesta de solución.</p>	¿Mediante el estudio hidrológico del río Motupe, y con apoyo de softwares se podrá determinar las zonas con riesgo de inundación para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años, en el distrito de Motupe?	<p><b>Independiente:</b> Modelamiento Hidrológico</p> <p><b>Dependiente:</b> Estudio de inundabilidad</p>	<p><b>Tipo de Investigación:</b> Descriptivo, cuantitativo y correlacional</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b> No experimental</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No experimental transeccional correlacional causal</p>	<p><b>Población:</b> Distrito de Motupe</p> <p><b>Muestra:</b> Zonas aledañas al Río Motupe</p>

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### 3.9. Consideraciones éticas

- Se debe tener en cuenta que los datos de precipitación obtenidos pertenecen a una base de datos de una entidad pública, por lo que no se está preservando la fidelidad de los datos. Es decir, no se están inventando datos a fin de favorecer el producto de la presente investigación.
- Se está referenciando cada una de la información necesaria como base teórica para el desarrollo de esta tesis. La referenciación se está haciendo en base a los protocolos establecidos y el formato IEE.
- Se está tomando en cuenta documentación oficial y reglamentos vigentes como es el “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje” del MTC, para el desarrollo de esta tesis, además, de información complementaria que recomienda.

## IV. CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Descripción del Área de estudio

Motupe se encuentra ubicado en la provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque. Por esta localidad, se encuentra el Río Motupe (tramo Motupe), con una extensión aproximada de 22 km, el cual se forma de la confluencia del Río Chiniama y Río Chochope, y termina en el cruce con Salas.

Para el presente trabajo de investigación, se tiene como punto de **INICIO** en las coordenadas UTM: E: 637136.00; N: 9303903.0, y como punto **FINAL** en las coordenadas UTM: E: 644726.00; N: 9320620.00.

*Ilustración 25: Río Motupe (Tramo Motupe)*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

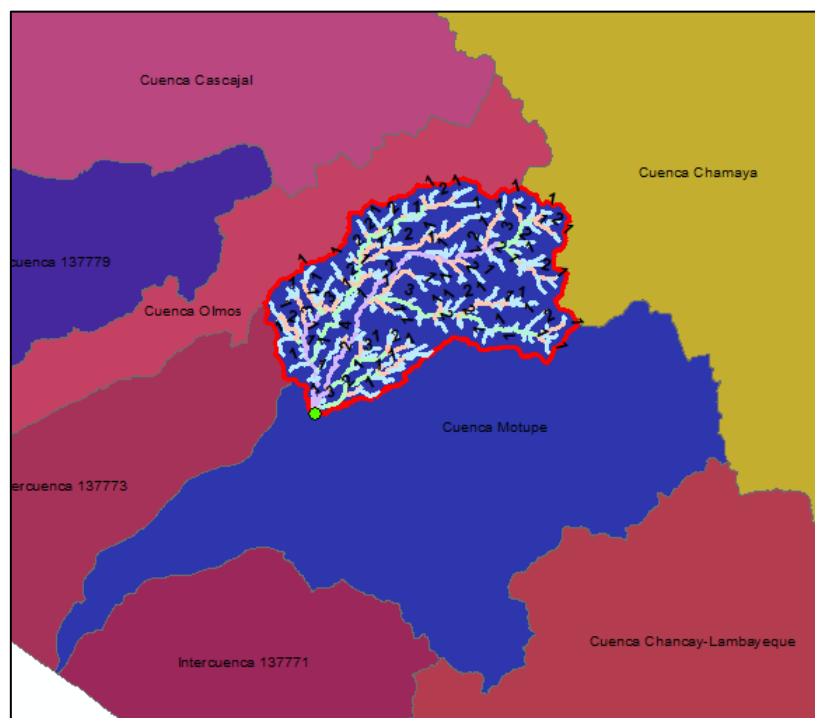
## 4.2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

Para la obtención de los parámetros geomorfológicos de la cuenca, y para su delimitación se usaron imágenes satelitales (DEM), obtenidas del satélite **ASTER** que proporciona la **NASA** a través de su página web.

Para ello se usó como herramienta de apoyo, el software **Arc-GIS**, en conjunto con el software **HIDRO-CALC**. El primero para obtener la delimitación, y el segundo, con la ayuda del primer software se obtendrán los parámetros geomorfológicos de la cuenca del Río Motupe.

En la **Ilustración 26** se muestra la delimitación de la cuenca del Río Motupe, que forma parte de la Cuenca Motupe.

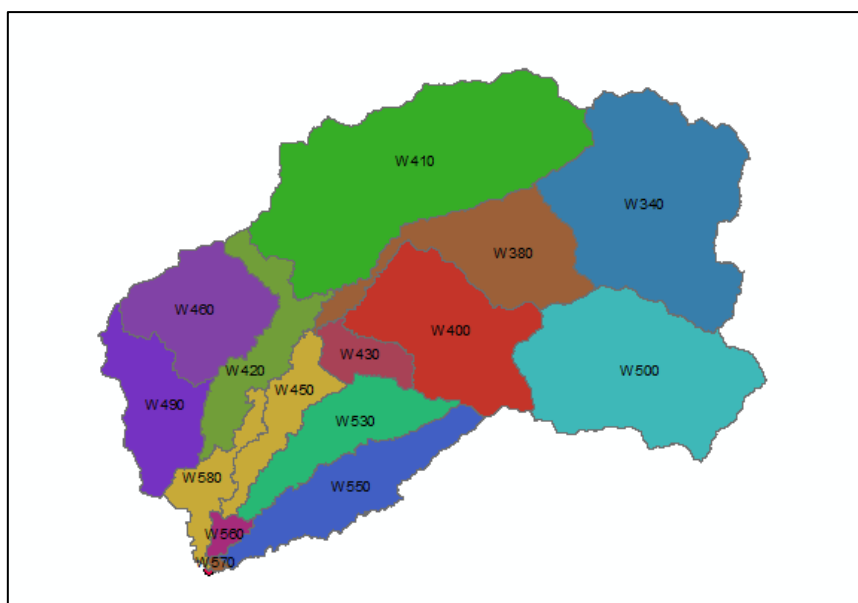
*Ilustración 26: Delimitación de la cuenca del Río Motupe*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Para la cuenca en estudio del río Motupe, se obtuvieron 15 subcuencas, a las que se le han denominado: W340, W380, W400, W410, W420, W430, W450, W460, W490, W500, W530, W550, W560, W570 y W580; las cuales se pueden observar en la **Ilustración 27**.

*Ilustración 27: Subdelimitación Cuenca del Río Motupe*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

*Tabla 9: Características de las Sub Cuenas*

NOMBRE	AREA	LC(km)	Cota M+ (msnm)	Cota M-(msnm)	S(m/m)
W410	204.76	33.53	2206	154	0.0612
W340	164.57	19.70	3081	770	0.1173
W420	46.95	25.47	1206	108	0.0431
W460	67.68	15.06	1185	119	0.0708
W380	77.66	29.35	2369	156	0.0754
W490	55.26	16.42	980	108	0.0531
W450	32.51	18.27	298	104	0.0106
W500	139.61	22.93	3905	613	0.1436
W580	26.56	17.26	134	91	0.0025
W430	20.07	10.17	691	157	0.0525
W530	54.29	21.83	1316	104	0.0555
W400	95.57	19.43	1931	164	0.0909
W550	63.65	26.90	1575	94	0.0551
W560	6.34	5.37	111	93	0.0034
W570	1.13	2.14	103	93	0.0047

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

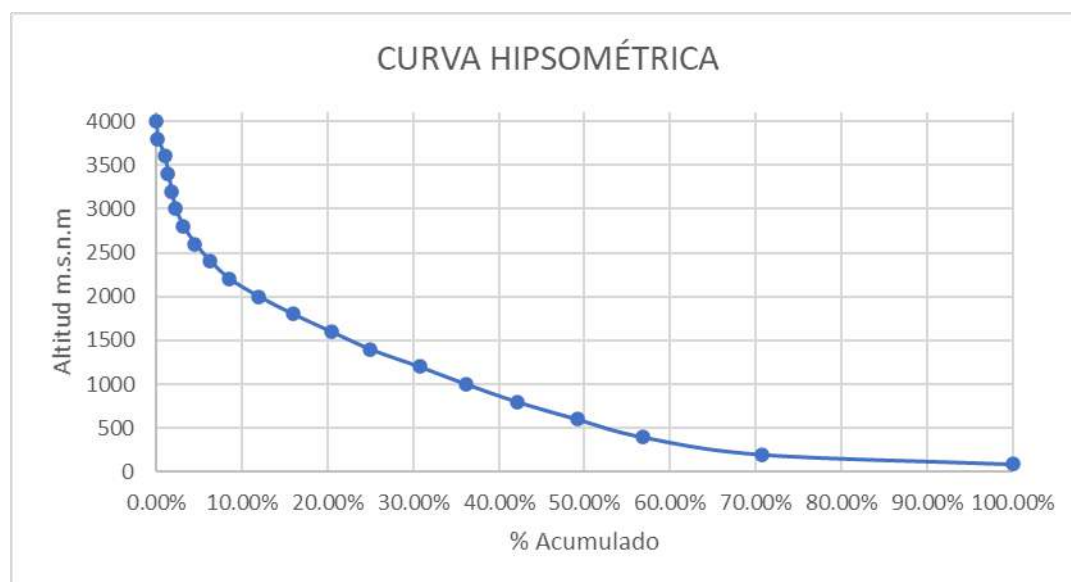
Para poder hacer la construcción de la curva hipsométrica de la cuenca del Río Motupe, se usó como programa de apoyo HIDROCALC.

Tabla 10: Tabla para construcción de Curva Hipsométrica

Cota min	Cota max	Area parcial (km2)	Área Acum
91	200	308.903	100.00%
201	400	148.098	70.76%
401	600	79.724	56.75%
601	800	74.367	49.20%
801	1000	62.869	42.16%
1001	1200	57.917	36.21%
1201	1400	60.724	30.73%
1401	1600	48.326	24.98%
1601	1800	46.995	20.41%
1801	2000	42.407	15.96%
2001	2200	35.768	11.95%
2201	2400	23.87	8.56%
2401	2600	18.682	6.30%
2601	2800	14.68	4.54%
2801	3000	9.568	3.15%
3001	3200	5.113	2.24%
3201	3400	4.147	1.76%
3401	3600	4.284	1.37%
3601	3800	8.415	0.96%
3801	4000	1.726	0.16%
4001	4047	0.013	0.00%

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

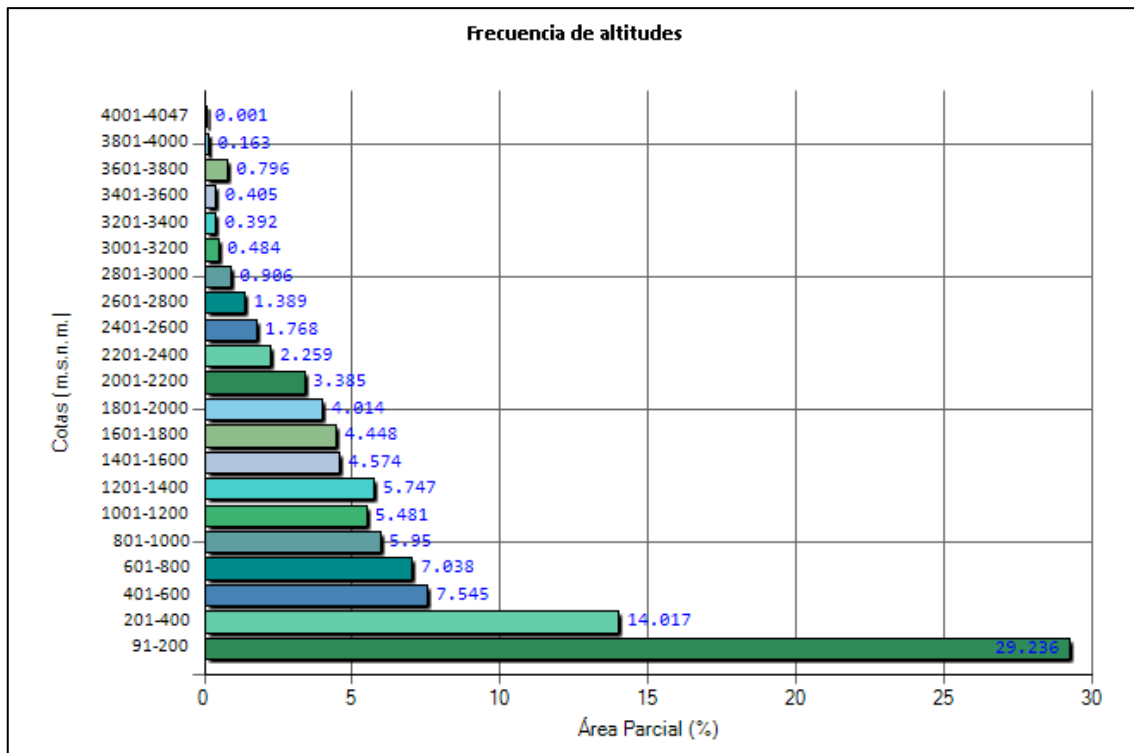
Gráfico 14: Curva Hipsométrica de la Cuenca



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Como se puede observar en el **Gráfico 14**, nos encontramos ante una curva hipsométrica tipo C, es decir, la cuenca está en fase de vejez, es una cuenca sedimentaria.

*Gráfico 15: Frecuencia de Altitudes*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

*Tabla 11: Parámetros Geomorfológicos*

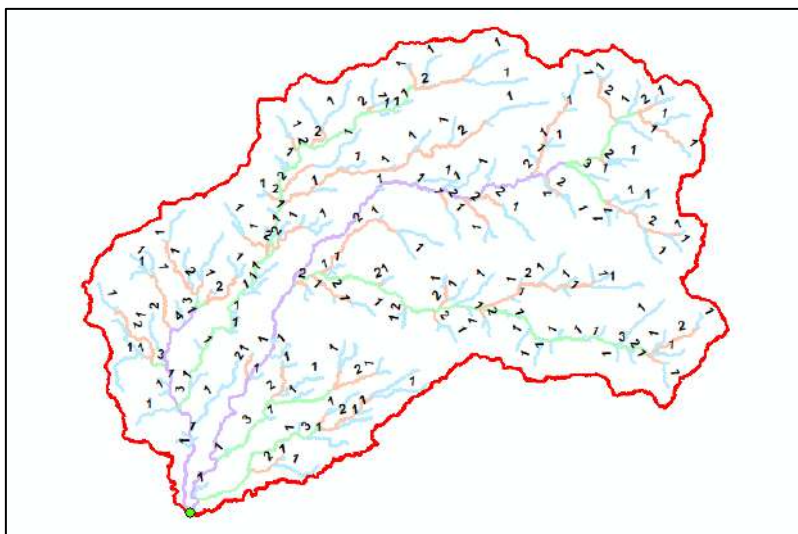
<b>TABLA RESUMEN DE PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS</b>	
Coeficiente o índice de compacidad	1.919
Factor de Forma	0.219
Pendiente de cuenca	0.3378
Altitud media (m)	890.034
Pendiente del cauce principal	0.007
Ancho Promedio (km)	15.211
Altitud mas frecuente (m.s.n.m.)	91-200
Densidad de drenaje	0.645
Tiempo de concentración (hrs)	19.3

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Para obtener los parámetros Geomorfológicos, que se presentan en la **Tabla 11**, se hizo uso del software HIDROCALC. Además, para el tiempo de concentración se usaron fórmulas como la del SCS, Kirpich y Temez, dando como resultado un  $T_c=19.3$ hrs. El

orden de cuenca, es 5, tal como se muestra en la **Ilustración 28**, y se comprueba gracias a la **Tabla 12** que permite ver el máximo valor para el orden de cuenca.

*Ilustración 28: Red Hídrica (Rio Motupe)*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

*Tabla 12: Orden de cuencas (GRID\_CODE) en ArcMAP*

Red_Drenaje_Stream_Feature						
FID	Shape *	ARCID	GRID_CODE	FROM_NODE	TO_NODE	Long_m
375	Polyline	376	3	364	381	4852.777433
376	Polyline	377	1	380	383	295.970869
377	Polyline	378	1	382	383	455.437861
378	Polyline	379	4	349	384	7496.242992
379	Polyline	380	3	381	384	542.188799
380	Polyline	381	2	383	385	758.108288
381	Polyline	382	3	371	387	5805.956002
382	Polyline	383	2	385	387	1966.110499
383	Polyline	384	1	386	385	4124.676478
384	Polyline	385	1	388	389	198.134925
385	Polyline	386	4	378	389	3013.071421
386	Polyline	387	1	390	391	1925.370432
387	Polyline	388	4	384	391	4500.917547
388	Polyline	389	4	391	392	271.599026
389	Polyline	390	3	387	392	4923.747364
390	Polyline	391	4	389	393	2779.191272
391	Polyline	392	4	392	393	1216.105271
392	Polyline	393	5	393	394	26.516504

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### 4.3. Análisis de la precipitación

Para poder llevar a cabo el análisis de este apartado, se hizo la recolección de datos pluviométricos de 5 estaciones meteorológicas: Olmos, Motupe, Jayanca, El Limón y Cueva Blanca. Estos, datos se recolectaron desde el año 1971 a 2005, teniendo 35 años con datos, y el mínimo recomendado para hacer un análisis hidrológico es de 20 años.

Estos datos se obtuvieron haciendo una solicitud para Tesista a SENAMHI, accediendo a la modalidad: ATENCIÓN AL CIUDADANO. Para el procesamiento de datos, primero se completó la data faltante con la metodología de: Regresión Lineal, y así poder tener la data completa para todos los años y meses.

Además, se hizo un análisis para comprobar la existencia datos dudosos con respecto a la Precipitación Máxima en 24 hrs, para cada estación. Concluyendo, que no hay presencia de datos dudosos para ninguna estación.

*Tabla 13: Análisis de Datos Dudosos. Estación: Cueva Blanca*

# De datos	35	35		
Máximo	86.50	4.46	CORRECTO	
Mínimo	16.90	2.83	CORRECTO	
Promedio	39.60	3.60		
Desviación Estándar	16.68	0.38		
Coef. De Asimetría	1.31	0.55		
Kn	2.628	2.628		
XH	4.60	Umbral Superior		
PH	99.70	Precipitación maxima Aceptable (mm)		
XL	2.61	Umbral Inferior		
PL	13.56	Precipitación minima Aceptable (mm)		

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Como se aprecia en la **Tabla 13**, el máximo valor aceptable para la precipitación de 99.70 mm, y se obtiene como dato de las tablas un valor máximo de 86.50; para los valores mínimos, el mínimo aceptable es 13.56mm, siendo el valor mínimo de la tabla de precipitaciones 16.90mm. Por tanto, están los datos de precipitación de la estación Cueva Blanca, para los años entre 1971 y 2005, dentro de los rangos aceptables. Así mismo, se realizó el análisis de datos dudosos para todas las estaciones.

Después del análisis de datos dudosos, se procedió a realizar, los análisis probabilísticos de los datos, con el uso de las distribuciones de probabilidad que recomienda el MTC en su manual. De acuerdo a ello, se procedió a usar las distribuciones:

Normal, Log – Normal, Gumbel 1, Pearson III y Log Pearson III. Para finalmente, hacer la prueba de bondad de ajuste con el método propuesto de Kolmogorov – Smirnov.

Tabla 14: Tabla de distribución de probabilidades de la Estación Cueva Blanca

N	T	P(X>=XT)	Valor Observado		NORMAL		LOGNORMAL		EV1 GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			P24	Log(P24)	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO
1	36.00	2.78%	86.50	4.46	1.91	71.55	1.91	76.05	2.33	78.53	2.40	79.66	2.14	91.48
2	18.00	5.56%	76.50	4.34	1.59	66.19	1.59	67.32	1.78	69.32	1.83	70.12	1.72	73.62
3	12.00	8.33%	75.50	4.32	1.38	62.68	1.38	62.16	1.45	63.86	1.49	64.40	1.45	64.64
4	9.00	11.11%	62.50	4.14	1.22	59.97	1.22	58.44	1.22	59.92	1.24	60.26	1.25	58.83
5	7.20	13.89%	60.00	4.09	1.09	57.71	1.09	55.52	1.03	56.81	1.04	56.99	1.09	54.62
6	6.00	16.67%	59.80	4.09	0.97	55.74	0.97	53.09	0.88	54.24	0.88	54.27	0.95	51.34
7	5.14	19.44%	56.50	4.03	0.86	53.98	0.86	51.00	0.74	52.02	0.74	51.93	0.83	48.68
8	4.50	22.22%	50.00	3.91	0.76	52.36	0.76	49.16	0.63	50.06	0.67	49.87	0.72	46.44
9	4.00	25.00%	47.50	3.86	0.67	50.86	0.67	47.50	0.52	48.30	0.50	48.01	0.62	44.53
10	3.60	27.78%	43.70	3.78	0.59	49.44	0.59	45.99	0.43	46.70	0.40	46.33	0.52	42.85
11	3.27	30.56%	41.80	3.73	0.51	48.09	0.51	44.60	0.34	45.22	0.31	44.77	0.43	41.36
12	3.00	33.33%	40.00	3.69	0.43	46.79	0.43	43.30	0.25	43.84	0.22	43.33	0.35	40.03
13	2.77	36.11%	37.90	3.63	0.36	45.53	0.36	42.08	0.18	42.54	0.14	41.98	0.27	38.81
14	2.57	38.89%	35.70	3.58	0.28	44.31	0.28	40.93	0.10	41.31	0.07	40.70	0.19	37.70
15	2.40	41.67%	35.30	3.56	0.21	43.11	0.21	39.83	0.03	40.13	-0.01	39.49	0.12	36.68
16	2.25	44.44%	35.10	3.56	0.14	41.93	0.14	38.78	-0.04	39.01	-0.08	38.33	0.05	35.72
17	2.12	47.22%	34.80	3.55	0.07	40.77	0.07	37.76	-0.10	37.92	-0.14	37.22	-0.02	34.83
18	2.00	50.00%	34.60	3.54	0.00	39.60	0.00	36.77	-0.16	36.86	-0.21	36.15	-0.09	33.99
19	1.89	52.78%	33.90	3.52	-0.07	38.44	-0.07	35.81	-0.23	35.83	-0.27	35.11	-0.16	33.20
20	1.80	55.56%	33.40	3.51	-0.14	37.27	-0.14	34.87	-0.29	34.82	-0.33	34.10	-0.23	32.44
21	1.71	58.33%	33.10	3.50	-0.21	36.09	-0.21	33.95	-0.35	33.82	-0.39	33.11	-0.29	31.72
22	1.64	61.11%	32.00	3.47	-0.28	34.89	-0.28	33.04	-0.41	32.84	-0.45	32.14	-0.36	31.03
23	1.57	63.89%	30.40	3.41	-0.36	33.67	-0.36	32.13	-0.46	31.85	-0.50	31.19	-0.43	30.37
24	1.50	66.67%	30.30	3.41	-0.43	32.42	-0.43	31.23	-0.52	30.87	-0.56	30.24	-0.50	29.72
25	1.44	69.44%	30.00	3.40	-0.51	31.12	-0.51	30.32	-0.58	29.88	-0.62	29.31	-0.57	29.09
26	1.38	72.22%	28.60	3.35	-0.59	29.77	-0.59	29.40	-0.64	28.87	-0.67	28.37	-0.64	28.48
27	1.33	75.00%	27.10	3.30	-0.67	28.35	-0.67	28.47	-0.70	27.84	-0.73	27.43	-0.71	27.88
28	1.29	77.78%	26.80	3.29	-0.76	26.84	-0.76	27.51	-0.77	26.78	-0.79	26.47	-0.79	27.28
29	1.24	80.56%	26.40	3.27	-0.86	25.23	-0.86	26.52	-0.83	25.68	-0.85	25.50	-0.87	26.68
30	1.20	83.33%	25.50	3.24	-0.97	23.46	-0.97	25.47	-0.90	24.51	-0.91	24.50	-0.96	26.08
31	1.16	86.11%	25.40	3.23	-1.09	21.49	-1.09	24.36	-0.98	23.25	-0.97	23.45	-1.05	25.47
32	1.13	88.89%	25.40	3.23	-1.22	19.24	-1.22	23.14	-1.06	21.85	-1.03	22.34	-1.16	24.83
33	1.09	91.67%	25.10	3.22	-1.38	16.53	-1.38	21.75	-1.16	20.25	-1.11	21.13	-1.29	24.15
34	1.06	94.44%	22.10	3.10	-1.59	13.02	-1.59	20.09	-1.28	18.29	-1.19	19.74	-1.44	23.40
35	1.03	97.22%	16.90	2.83	-1.91	7.66	-1.91	17.78	-1.45	15.49	-1.30	17.99	-1.66	22.49

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Tabla 15: Prueba de Bondad para la estación Cueva Blanca

m	Xm	Fo(Xm)	NORMAL		LOG NORMAL			EV1 - GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			F (Xm) Normal	Δnormal	Ym=log(Xm)	F (Ym) Log Normal	Δlog normal	F (Xm) EV1 Gumbel	ΔEv1 Gumbel	F (Xm) Pearson III	Δ Pearson III	F (Ym) Log Pearson III	Δ Log Pearson III
1	86.50	0.9722	0.9975	0.0253	4.4601	0.9879	0.0157	0.9849	0.0126	0.9833	0.0110	0.9770	0.0048
2	76.50	0.9444	0.9865	0.0421	4.3373	0.9732	0.0287	0.9676	0.0232	0.9647	0.0202	0.9604	0.0160
3	75.50	0.9167	0.9843	0.0676	4.3241	0.9710	0.0543	0.9651	0.0484	0.9620	0.0453	0.9581	0.0415
4	62.50	0.8889	0.9150	0.0261	4.1352	0.9189	0.0300	0.9079	0.0190	0.9038	0.0149	0.9098	0.0209
5	60.00	0.8611	0.8892	0.0281	4.0943	0.9015	0.0403	0.8895	0.0284	0.8857	0.0246	0.8948	0.0337
6	59.80	0.8333	0.8870	0.0536	4.0910	0.8999	0.0666	0.8879	0.0546	0.8841	0.0508	0.8935	0.0601
7	56.50	0.8056	0.8444	0.0388	4.0342	0.8711	0.0655	0.8580	0.0524	0.8552	0.0496	0.8689	0.0634
8	50.00	0.7778	0.7334	0.0444	3.9120	0.7909	0.0131	0.7769	0.0009	0.7786	0.0008	0.8013	0.0235
9	47.50	0.7500	0.6820	0.0680	3.8607	0.7500	0.0000	0.7364	0.0136	0.7410	0.0090	0.7663	0.0163
10	43.70	0.7222	0.5970	0.1252	3.7773	0.6753	0.0469	0.6638	0.0584	0.6738	0.0485	0.7010	0.0212
11	41.80	0.6944	0.5524	0.1421	3.7329	0.6322	0.0623	0.6224	0.0721	0.6354	0.0591	0.6621	0.0323
12	40.00	0.6667	0.5095	0.1572	3.6889	0.5877	0.0790	0.5801	0.0866	0.5959	0.0707	0.6210	0.0457
13	37.90	0.6389	0.4594	0.1795	3.6350	0.5317	0.1072	0.5273	0.1116	0.5462	0.0926	0.5675	0.0714
14	35.70	0.6111	0.4075	0.2036	3.5752	0.4689	0.1422	0.4686	0.1425	0.4901	0.1210	0.5051	0.1060
15	35.30	0.5833	0.3982	0.1851	3.5639	0.4571	0.1262	0.4577	0.1256	0.4795	0.1039	0.4931	0.0903
16	35.10	0.5556	0.3936	0.1619	3.5582	0.4512	0.1044	0.4522	0.1034	0.4741	0.0815	0.4870	0.0686
17	34.80	0.5278	0.3867	0.1411	3.5496	0.4422	0.0855	0.4439	0.0839	0.4660	0.0618	0.4777	0.0500
18	34.60	0.5000	0.3821	0.1179	3.5439	0.4363	0.0637	0.4383	0.0617	0.4606	0.0394	0.4715	0.0285
19	33.90	0.4722	0.3663	0.1060	3.5234	0.4152	0.0571	0.4188	0.0534	0.4413	0.0309	0.4494	0.0228
20	33.40	0.4444	0.3550	0.0894	3.5086	0.4000	0.0445	0.4048	0.0397	0.4274	0.0171	0.4333	0.0111
21	33.10	0.4167	0.3484	0.0683	3.4995	0.3908	0.0259	0.3963	0.0204	0.4189	0.0023	0.4235	0.0069
22	32.00	0.3889	0.3243	0.0646	3.4657	0.3571	0.0318	0.3652	0.0237	0.3875	0.0014	0.3869	0.0020
23	30.40	0.3611	0.2906	0.0705	3.4144	0.3080	0.0531	0.3201	0.0410	0.3408	0.0203	0.3321	0.0290
24	30.30	0.3333	0.2886	0.0448	3.4111	0.3050	0.0283	0.3173	0.0160	0.3379	0.0046	0.3286	0.0047
25	30.00	0.3056	0.2825	0.0231	3.4012	0.2959	0.0097	0.3089	0.0034	0.3290	0.0025	0.3182	0.0127
26	28.60	0.2778	0.2548	0.0230	3.3534	0.2539	0.0239	0.2703	0.0074	0.2875	0.0097	0.2695	0.0083
27	27.10	0.2500	0.2268	0.0232	3.2995	0.2107	0.0393	0.2304	0.0196	0.2431	0.0069	0.2180	0.0320
28	26.80	0.2222	0.2214	0.0008	3.2884	0.2023	0.0199	0.2226	0.0004	0.2343	0.0120	0.2079	0.0143
29	26.40	0.1944	0.2144	0.0199	3.2734	0.1913	0.0031	0.2124	0.0180	0.2226	0.0281	0.1946	0.0002
30	25.50	0.1667	0.1990	0.0323	3.2387	0.1674	0.0007	0.1901	0.0235	0.1966	0.0299	0.1656	0.0011
31	25.40	0.1389	0.1973	0.0584	3.2347	0.1648	0.0259	0.1877	0.0488	0.1937	0.0548	0.1624	0.0235
32	25.40	0.1111	0.1973	0.0862	3.2347	0.1648	0.0537	0.1877	0.0766	0.1937	0.0826	0.1624	0.0513
33	25.10	0.0833	0.1924	0.1090	3.2229	0.1572	0.0738	0.1805	0.0972	0.1852	0.1018	0.1531	0.0698
34	22.10	0.0556	0.1471	0.0915	3.0956	0.0899	0.0343	0.1158	0.0602	0.1055	0.0500	0.0724	0.0168
35	16.90	0.0278	0.0868	0.0590	2.8273	0.0203	0.0075	0.0401	0.0124	0.0127	0.0150	0.0055	0.0223
n	35	Distribución	NORMAL		LOG NORMAL			EV1 - GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
Significación	0.05	Δmax	0.2036		0.1422			0.1425		0.1210		0.1060	
Acritico	0.2248		Correcto		Correcto			Correcto		Correcto		Correcto	
		Mejor ajuste	Mejor ajuste de todas										

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Como se puede apreciar en la **Tabla 15**, el mejor ajuste de probabilidad para un nivel de significancia del 5% para la estación, es la LOG PEARSON III, puesto que su diferencia máxima estadística es la menor, con un valor de 0.1060, a comparación de las otras probabilidades, por tanto, para esta estación se usará LOG PEARSON III.

*Tabla 16: Precipitación Máxima en 24 hrs para diferentes tiempos de retorno. Distribución Log Pearson III. Estación Cueva Blanca*

T	P(X<=XT)	LOG PEARSON III			Pmax (mm)	Pmax(corre g.) (mm)
		KT	XT	e^XT		
2	50.00%	-0.0902	3.5705	35.53	35.53	40.15
3	33.33%	0.3504	3.7377	42.00	42.00	47.46
5	20.00%	0.8031	3.9096	49.88	49.88	56.36
10	10.00%	1.3242	4.1074	60.79	60.79	68.69
20	5.00%	1.7839	4.2819	72.37	72.37	81.78
25	4.00%	1.9229	4.3346	76.30	76.30	86.22
50	2.00%	2.3341	4.4907	89.18	89.18	100.78
100	1.00%	2.7208	4.6375	103.28	103.28	116.71
200	0.50%	3.0889	4.7772	118.77	118.77	134.21
300	0.33%	3.2973	4.8563	128.55	128.55	145.26
500	0.20%	3.5536	4.9536	141.68	141.68	160.10

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Cabe precisar que los análisis de precipitación de las demás estaciones estarán en anexos.

#### 4.4. Elaboración de las curvas IDF

Para la construcción de las curvas IDF se usó la metodología de Dick y Peschke, se procedió a realizar una tabla que contenga tiempos de duración de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 240, 360, 420, 480, 600, 660, 720 y 1440 min.

*Tabla 17: Precipitación de diseño para duración menores a 24hrs. Estación Cueva Blanca*

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	11.59	16.27	19.83	23.61	24.89	29.09	33.69	38.74	46.22
0.33	20	13.78	19.35	23.58	28.08	29.60	34.60	40.07	46.07	54.96
0.50	30	15.26	21.41	26.10	31.07	32.75	38.29	44.34	50.99	60.83
0.67	40	16.39	23.01	28.04	33.39	35.20	41.14	47.65	54.79	65.36
0.83	50	17.33	24.33	29.65	35.30	37.22	43.50	50.38	57.93	69.11
1.00	60	18.14	25.46	31.03	36.95	38.95	45.53	52.73	60.64	72.33
1.50	90	20.08	28.18	34.34	40.89	43.11	50.39	58.35	67.10	80.05
2.00	120	21.57	30.28	36.91	43.94	46.32	54.15	62.71	72.11	86.02
4.00	240	25.66	36.01	43.89	52.25	55.09	64.39	74.57	85.75	102.30
6.00	360	28.39	39.85	48.57	57.83	60.96	71.26	82.53	94.90	113.21
7.00	420	29.51	41.42	50.48	60.10	63.36	74.06	85.77	98.63	117.66
8.00	480	30.51	42.83	52.19	62.14	65.51	76.57	88.68	101.98	121.65
10.00	600	32.26	45.28	55.19	65.71	69.27	80.97	93.77	107.83	128.63
11.00	660	33.04	46.37	56.52	67.29	70.94	82.92	96.03	110.43	131.73
12.00	720	33.77	47.39	57.76	68.77	72.50	84.74	98.14	112.86	134.63
24.00	1440	40.15	56.36	68.69	81.78	86.22	100.78	116.71	134.21	160.10

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

En la **Tabla 17**, se muestra las precipitaciones de diseño para tiempos de duración menores a 24 hrs. Usando la siguiente fórmula:

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

De la misma manera se realizaron para las demás estaciones.

Posteriormente, se realiza el cálculo de intensidades de diseño para duraciones menores a 24 hrs. Usando los datos de la **Tabla 17**.

*Tabla 18: Intensidades de diseño para duración menores a 24 hrs. Estación Cueva Blancas*

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	69.55	97.62	118.97	141.65	149.33	174.55	202.15	232.46	277.30
0.33	20	41.35	58.05	70.74	84.23	88.79	103.79	120.20	138.22	164.89
0.50	30	30.51	42.83	52.19	62.14	65.51	76.57	88.68	101.98	121.65
0.67	40	24.59	34.51	42.06	50.08	52.80	61.71	71.47	82.19	98.04
0.83	50	20.80	29.20	35.58	42.36	44.66	52.20	60.46	69.52	82.93
1.00	60	18.14	25.46	31.03	36.95	38.95	45.53	52.73	60.64	72.33
1.50	90	13.38	18.79	22.90	27.26	28.74	33.59	38.90	44.74	53.37
2.00	120	10.79	15.14	18.45	21.97	23.16	27.07	31.35	36.05	43.01
4.00	240	6.41	9.00	10.97	13.06	13.77	16.10	18.64	21.44	25.57
6.00	360	4.73	6.64	8.10	9.64	10.16	11.88	13.75	15.82	18.87
7.00	420	4.22	5.92	7.21	8.59	9.05	10.58	12.25	14.09	16.81
8.00	480	3.81	5.35	6.52	7.77	8.19	9.57	11.08	12.75	15.21
10.00	600	3.23	4.53	5.52	6.57	6.93	8.10	9.38	10.78	12.86
11.00	660	3.00	4.22	5.14	6.12	6.45	7.54	8.73	10.04	11.98
12.00	720	2.81	3.95	4.81	5.73	6.04	7.06	8.18	9.40	11.22
24.00	1440	1.67	2.35	2.86	3.41	3.59	4.20	4.86	5.59	6.67

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Para finalizar, a partir de los datos de la **Tabla 18**, se obtienen coeficientes que van a ser usados en la siguiente fórmula que nos ayudará a la creación de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia:

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

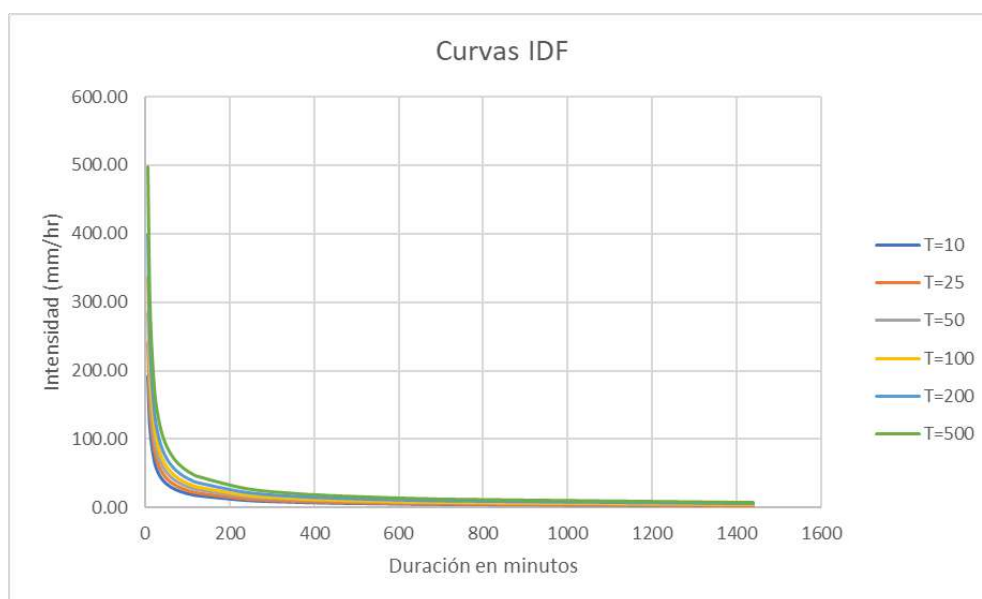
Para este caso (estación Cueva Blanca) los coeficientes obtenidos fueron: K=366.66, m=0.24 y n=0.75. Reemplazando los valores, obtendremos la Tabla 19, que nos ayudará a la construcción de las curvas IDF.

Tabla 19: Intensidades Máximas (Estación Cueva Blanca)

Duración (t) minutos	Periodo de Retorno (T) en años					
	10	25	50	100	200	500
5	192.06	240.05	284.17	336.40	398.22	497.72
10	114.20	142.74	168.97	200.02	236.78	295.95
20	67.90	84.87	100.47	118.93	140.79	175.97
30	50.10	62.62	74.13	87.75	103.88	129.83
40	40.38	50.46	59.74	70.72	83.72	104.63
50	34.15	42.69	50.53	59.82	70.82	88.51
60	29.79	37.23	44.08	52.18	61.76	77.20
70	26.54	33.17	39.26	46.48	55.02	68.77
80	24.01	30.01	35.52	42.05	49.78	62.22
90	21.98	27.47	32.52	38.49	45.57	56.96
100	20.31	25.38	30.05	35.57	42.11	52.63
110	18.91	23.63	27.97	33.12	39.20	49.00
120	17.71	22.14	26.21	31.02	36.73	45.90
240	10.53	13.16	15.58	18.45	21.84	27.29
360	7.77	9.71	11.50	13.61	16.11	20.14
420	6.92	8.65	10.24	12.12	14.35	17.94
480	6.26	7.83	9.27	10.97	12.98	16.23
600	5.30	6.62	7.84	9.28	10.98	13.73
660	4.93	6.16	7.30	8.64	10.23	12.78
720	4.62	5.77	6.84	8.09	9.58	11.97
1440	2.75	3.43	4.06	4.81	5.70	7.12

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 16: Curvas I-D-F para la estación Cueva Blanca



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

#### 4.5. Construcción de Hietogramas de Diseño

Para poder obtener los hietogramas de diseño, se usaron las curvas IDF, y además se aplicó el método de los bloques alternos, para una duración de tormenta de 24 hrs. En la **Tabla 19**, se muestra la intensidad de lluvia de 4.81 mm/hr para una duración de 24 hrs y una precipitación máxima para 24 hrs de 115.48 mm. En este caso se usaron intervalos de 60 min, para un periodo de retorno de 100 años.

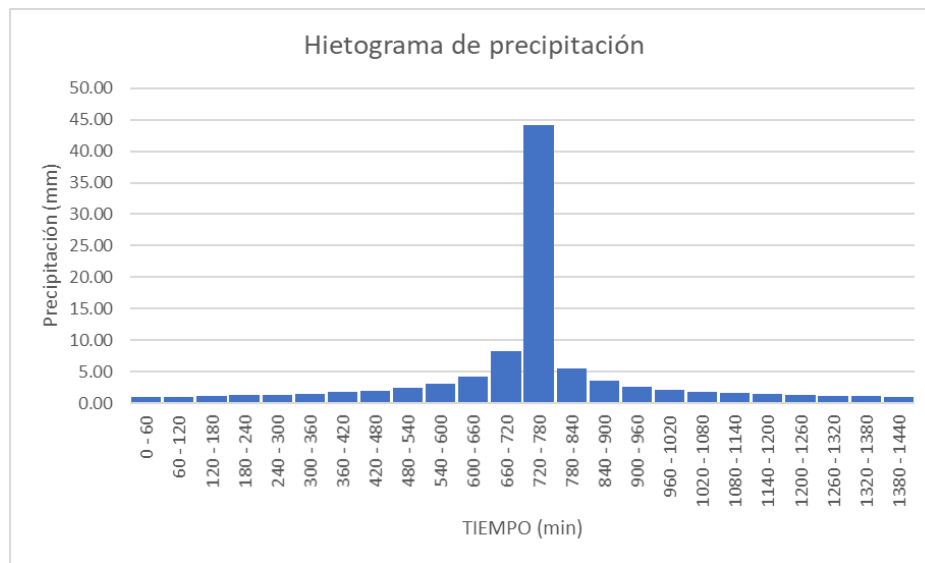
*Tabla 20: Precipitaciones alternadas para  $Tr=100$  años. Estación Cueva Blanca*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	52.18	52.18	52.18	0 - 60	1.22
120	31.02	62.05	9.87	60 - 120	1.31
180	22.89	68.67	6.62	120 - 180	1.41
240	18.45	73.79	5.12	180 - 240	1.52
300	15.60	78.02	4.23	240 - 300	1.67
360	13.61	81.66	3.64	300 - 360	1.85
420	12.12	84.87	3.21	360 - 420	2.09
480	10.97	87.75	2.88	420 - 480	2.41
540	10.04	90.37	2.62	480 - 540	2.88
600	9.28	92.78	2.41	540 - 600	3.64
660	8.64	95.02	2.24	600 - 660	5.12
720	8.09	97.11	2.09	660 - 720	9.87
780	7.62	99.07	1.96	720 - 780	52.18
840	7.21	100.93	1.85	780 - 840	6.62
900	6.85	102.68	1.76	840 - 900	4.23
960	6.52	104.35	1.67	900 - 960	3.21
1020	6.23	105.94	1.59	960 - 1020	2.62
1080	5.97	107.47	1.52	1020 - 1080	2.24
1140	5.73	108.93	1.46	1080 - 1140	1.96
1200	5.52	110.34	1.41	1140 - 1200	1.76
1260	5.32	111.69	1.35	1200 - 1260	1.59
1320	5.14	113.00	1.31	1260 - 1320	1.46
1380	4.97	114.26	1.26	1320 - 1380	1.35
1440	4.81	115.48	1.22	1380 - 1440	1.26

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

En la **Tabla 20**, en la última fila, se puede apreciar los valores de precipitación alternados, los cuales fueron usados para la construcción del hietograma mostrado en el **Gráfico 17**. Cabe mencionar que las demás tablas para los diferentes tiempos de retorno se encontrarán en los Anexos.

Gráfico 17: Hietograma de Diseño. Tr 100 años. Estación Cueva Blanca



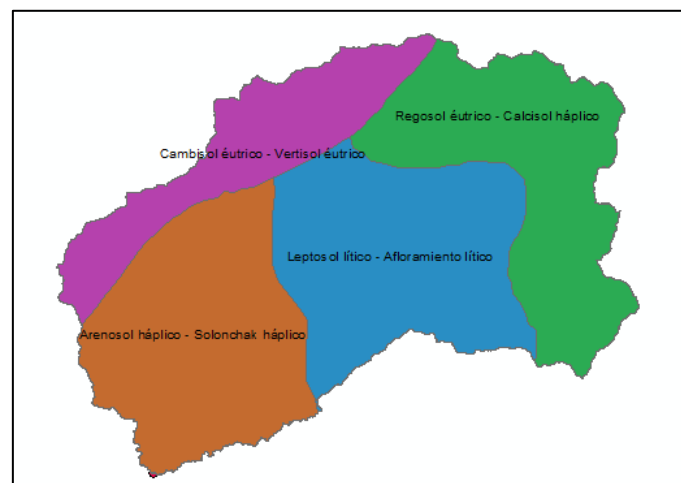
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

#### 4.6. Modelo HEC – HMS

Para poder hacer un modelo hidrológico en HEC – HMS se deberá hacer unos cálculos previos como por ejemplo obtener el número de curva (CN) o saber el tiempo de concentración de cada subcuenca.

Para el cálculo del CN, se usó como guía “Generación del Mapa Temático Número de Curva” que proporciona la Autoridad Nacional del Agua, además de *shapfiles* de uso de suelo según su “Reclasificación del Mapa del Suelo” y la tabla del CN de acuerdo al uso de suelo y al grupo hidrológico que pertenece.

Ilustración 29: Mapa de la Cuenca del río Motupe según descripción de Suelo



Fuente: Elaboración Propia. 2020.



Sin embargo, se requiere el CN para cada subcuenca, de tal manera que se procesó en una hoja de cálculo los CN para cada sub cuenca, teniéndose como resultado final la siguiente tabla:

*Tabla 21: CN para cada Sub Cuenca*

NOMBRE	CN
W410	74
W340	77
W420	65
W460	57
W380	67
W490	42
W450	62
W500	75
W580	62
W430	58
W530	47
W400	63
W550	38
W560	60
W570	67

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Adicionalmente al CN, se procedió a calcular los Tiempos de concentración de cada sub cuenca, usando las formulas del Kirpich, Temez y del SCS.

Kirpich:

$$T_c = 0.000325 * \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

SCS:

$$T_c = \frac{100 * Lp^{0.8} * [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 * (S * 100)^{0.5}}$$

Temez:

$$T_c = 0.3 * \left( \frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Tabla 22: Tiempos de Concentración para las sub cuencas

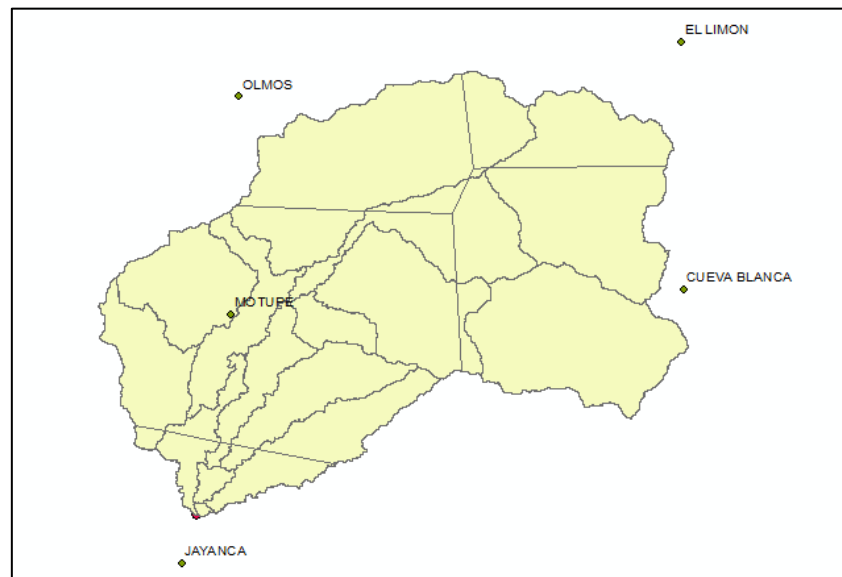
NOMBRE	AREA	LC(km)	S(m/m)	TcK(min)	Tlag (K)	CN	Tc (SCS)	Tlag (SCS)	Tc(Temez)	Tlag (T)
W410	204.76	33.53	0.0612	174.22	104.53	74	252.02	151.21	178.60	107.16
W340	164.57	19.70	0.1173	90.02	54.01	77	110.45	66.27	106.06	63.64
W420	46.95	25.47	0.0431	161.28	96.77	65	310.12	186.07	155.15	93.09
W460	67.68	15.06	0.0708	88.92	53.35	57	195.28	117.17	95.33	57.20
W380	77.66	29.35	0.0754	145.06	87.03	67	252.73	151.64	155.39	93.23
W490	55.26	16.42	0.0531	106.20	63.72	42	355.82	213.49	107.39	64.43
W450	32.51	18.27	0.0106	214.24	128.55	62	518.58	311.15	157.30	94.38
W500	139.61	22.93	0.1436	93.62	56.17	75	118.32	70.99	114.45	68.67
W580	26.56	17.26	0.0025	358.31	214.99	62	1031.93	619.16	197.80	118.68
W430	20.07	10.17	0.0525	73.76	44.26	58	162.68	97.61	75.13	45.08
W530	54.29	21.83	0.0555	129.92	77.95	47	383.30	229.98	131.79	79.07
W400	95.57	19.43	0.0909	98.27	58.96	63	180.01	108.00	110.14	66.08
W550	63.65	26.90	0.0551	153.10	91.86	38	577.63	346.58	154.40	92.64
W560	6.34	5.37	0.0034	130.16	78.10	60	367.32	220.39	77.99	46.79
W570	1.13	2.14	0.0047	56.38	33.83	67	123.54	74.13	36.74	22.04

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Además del tiempo de concentración, se tuvo que calcular un tiempo de retraso o también llamado *Lag Time*, que se calcula como  $0.6 * T_c$ , como se puede apreciar en la **Tabla 22**.

Para poder saber el área de influencia de las estaciones en cada subcuenca, se hizo del uso de los Polígonos de Thiessen, tal como se muestran en la **Ilustración 32**.

Ilustración 32: Influencia de estaciones pluviométricas usando Polígonos de Thiessen



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Finalmente, se hizo una calibración del modelo hidrológico teniendo en cuenta datos de una estación hidrométrica, que lo proporciona un documento del ANA, cuyos datos se reflejan en la **Tabla 23**.

*Tabla 23: Descargas mensuales del Río Motupe (m<sup>3</sup>/s) - 1962 - 1998*

DESCARGAS MENSUALES DEL RÍO MOTUPE (m <sup>3</sup> /s) - 1962 - 1998													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM.	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	MAX
1962	0.43	8.00	7.00	2.50	1.86	1.11	0.82	1.31	0.57	0.14	0.39	0.12	8.00
1963	0.39	0.32	1.01	1.26	0.53	0.35	0.23	0.19	0.18	0.66	0.77	0.97	1.26
1964	1.26	1.69	1.72	2.53	1.90	1.46	0.70	0.44	0.00	0.72	0.90	0.10	2.53
1965	0.88	0.91	3.50	6.00	1.50	0.70	1.24	0.92	0.05	0.00	0.40	1.13	6.00
1966	1.43	1.45	1.89	2.10	2.30	1.17	0.71	0.66	0.35	0.12	0.00	0.84	2.30
1967	2.11	3.64	33.82	2.59	1.49	1.30	0.94	0.67	0.63	1.02	1.38	0.55	33.82
1968	1.35	0.73	1.31	1.50	0.71	0.24	0.46	0.81	0.76	0.87	0.87	0.37	1.50
1969	1.18	1.31	10.00	2.64	0.59	0.74	0.65	0.46	0.79	0.30	0.10	0.16	10.00
1970	1.24	1.26	1.80	1.32	1.93	0.86	0.90	0.90	0.85	0.85	1.07	1.74	1.93
1971	1.38	2.55	9.00	9.44	0.94	0.40	0.25	0.25	0.18	0.16	0.16	0.34	9.44
1972	0.34	1.00	255.00	16.50	1.67	1.71	1.36	1.30	1.05	0.77	1.15	1.05	255.00
1973	0.89	19.20	12.20	4.05	2.89	2.27	2.04	2.33	2.06	2.35	1.79	1.49	19.20
1974	1.66	3.43	2.50	1.58	1.91	1.69	1.72	1.50	1.82	2.18	1.34	1.97	3.43
1975	2.74	4.69	23.18	3.74	1.93	2.07	1.65	3.10	1.87	2.63	0.57	0.43	23.18
1976	2.86	10.69	4.35	6.70	3.27	1.70	1.09	0.58	0.58	0.45	0.59	0.63	10.69
1977	0.76	3.90	6.52	4.01	2.80	1.12	0.67	0.47	8.06	0.45	0.83	1.05	8.06
1978	1.73	1.56	10.00	8.00	2.40	1.91	1.74	1.07	1.46	1.70	1.98	1.30	10.00
1979	1.68	1.48	8.14	9.14	6.30	1.49	1.00	0.66	1.34	0.80	0.40	0.49	9.14
1980	0.71	1.18	1.81	3.70	1.20	1.10	0.72	0.52	0.26	1.30	1.12	1.12	3.70
1981	0.61	3.12	6.00	1.89	1.53	1.50	0.99	0.85	0.41	9.68	1.75	1.11	9.68
1982	0.85	1.00	1.14	2.37	1.66	0.97	1.04	0.40	0.63	1.40	1.25	3.36	3.36
1983	11.50	11.22	240.00	240.00	300.00	20.00	2.00	1.52	2.15	1.62	1.26	1.71	300.00
1984	1.55	12.50	8.53	2.86	2.88	1.44	1.93	0.72	0.91	2.76	2.24	2.51	12.50
1985	2.30	4.46	5.24	1.96	1.86	1.18	0.75	0.77	0.98	1.90	0.76	1.96	5.24
1986	3.09	0.99	1.66	4.43	2.89	1.32	0.74	1.11	0.79	0.97	1.24	1.51	4.43
1987	2.79	6.50	7.20	5.20	2.83	1.11	1.51	1.73	0.53	0.74	0.08	0.81	7.20
1988	2.26	4.20	1.82	2.90	1.00	1.34	0.40	0.32	0.33	0.98	2.26	0.89	4.20
1989	2.26	4.22	5.50	3.20	2.40	2.22	1.61	0.99	0.74	0.51	0.37	0.32	5.50
1990	0.99	1.90	2.85	1.80	1.05	0.99	0.87	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.85
1991	1.00	1.00	1.13	0.81	0.32	0.11	0.23	0.25	0.30	0.24	0.18	0.24	1.13
1992	0.75	0.90	3.20	10.00	4.22	1.10	0.49	0.42	0.65	0.93	0.78	1.08	10.00
1993	0.60	1.98	9.00	5.00	3.80	1.56	1.20	0.78	0.80	1.04	1.20	1.96	9.00
1994	1.84	14.00	3.20	6.20	2.00	1.29	0.26	0.70	1.04	1.12	0.84	0.96	14.00
1995	1.28	6.40	4.10	1.50	1.28	0.88	0.58	0.48	0.36	0.48	0.96	1.04	6.40
1996	1.04	1.12	2.04	1.40	1.64	0.88	0.32	0.12	0.16	0.00	0.38	0.48	2.04
1997	0.38	1.36	3.08	2.24	1.36	0.45	0.24	0.32	0.00	0.00	0.77	3.20	3.20
1998	10.53	20.75	93.75	31.25	21.88	2.40	1.44	1.44	1.20	1.00	1.00	1.00	93.75

*Fuente: Delimitación de la Faja Marginal del Río Motupe. ANA. 1998*

De la **Tabla 23**, se extrajeron los datos máximos de caudales para poder tener los caudales en los diferentes tiempos de retorno que se plantean en esta tesis, teniendo como distribución probabilística **LOG PEARSON III** porque tiene el menor valor de diferencia máxima estadística, en este caso nos hemos apoyado del software Hydrognomon 4.

*Tabla 24: Prueba de Kolmogorov - Smirnov en Hydrognomon 4 para los caudales*

Kolmogorov-Smirnov test for: All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	0.00307%	0.38273
Normal (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00009%	0.43967
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	REJECT	5.93021%	0.21377
Galton	REJECT	REJECT	REJECT	0.00039%	0.41742
Exponential	REJECT	REJECT	REJECT	0.00009%	0.44030
Exponential (L-Moments)	REJECT	REJECT	REJECT	0.18963%	0.30243
Gamma	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.47806
Pearson III	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.51858
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.7938%	0.08158
EV1-Max (Gumbel)	REJECT	REJECT	REJECT	0.00388%	0.37864
EV2-Max	REJECT	REJECT	REJECT	%	0.62471

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

En la **Tabla 25** se muestran los caudales para los diferentes tiempos de retorno, con asistencia del software Hydrognomon 4.

*Tabla 25: Caudales para diferentes tiempos de retorno usando datos del ANA*

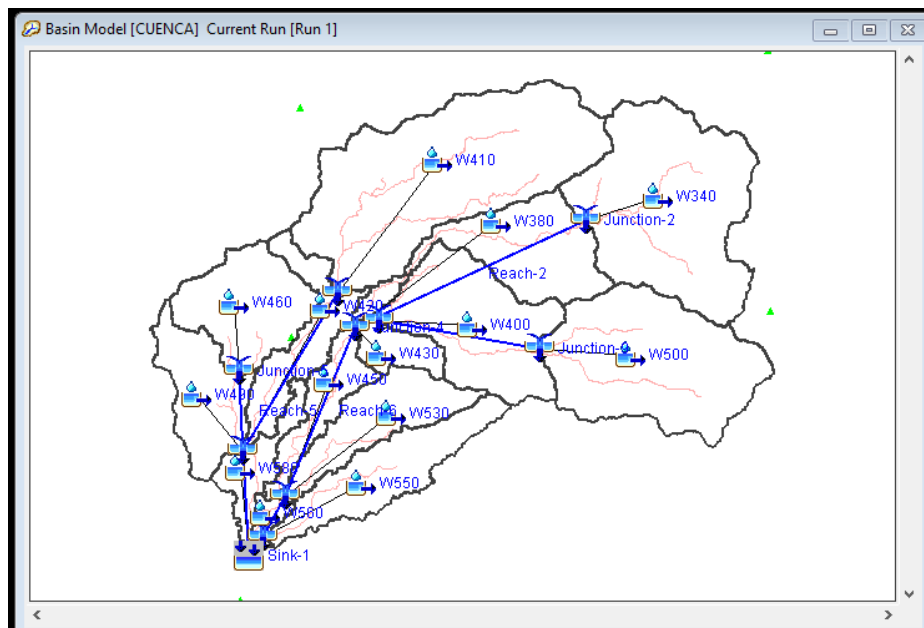
Tr	(m3/s)
Q25	139.212
Q50	248.297
Q100	460.496
Q200	869.233
Q500	2027.93

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

#### 4.7. Caudales para diferentes tiempos de retorno con HEC – HMS

Al introducir los datos necesarios en el Modelo HEC – HMS tenemos un modelo hidrológico como se muestra en la **Ilustración 33**.

*Ilustración 33: Modelo Hidrológico de la cuenca del Río Motupe*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Al procesar el modelo, se obtuvieron diferentes caudales para diferentes tiempos de retorno. Para un tiempo de retorno de 25 años se obtuvo un caudal de 146.1 m<sup>3</sup>/s; para 50 años, se obtuvo un caudal de 255.7 m<sup>3</sup>/s; para 100 años, se obtuvo un caudal de 468.3 m<sup>3</sup>/s; para 200 años, se obtuvo un caudal de 874 m<sup>3</sup>/s; y finalmente para 500 años, se obtuvo un caudal de 2062.4 m<sup>3</sup>/s.

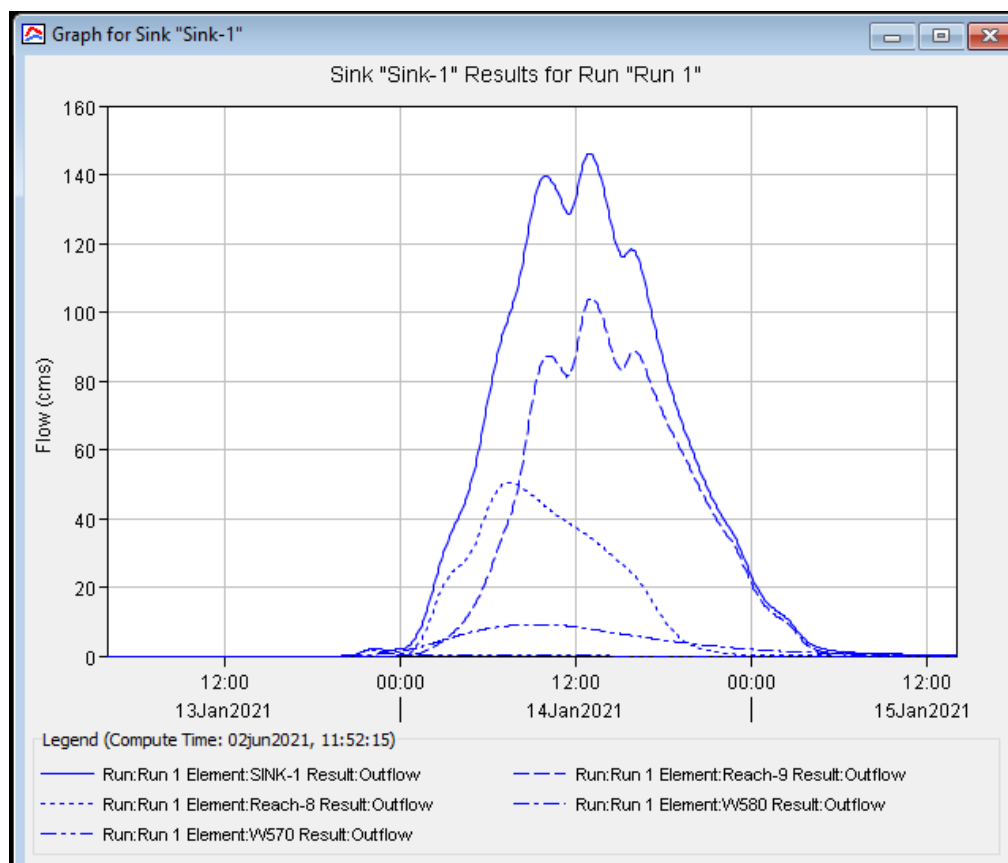
Tabla 26: Caudales para diferentes tiempos de retorno

Tr	H4	HEC - HMS	%
	(m3/s)	(m3/s)	
Q25	139.212	146.1	4.95
Q50	248.297	255.7	2.98
Q100	460.496	468.3	1.69
Q200	869.233	874	0.55
Q500	2027.93	2062.4	1.70

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

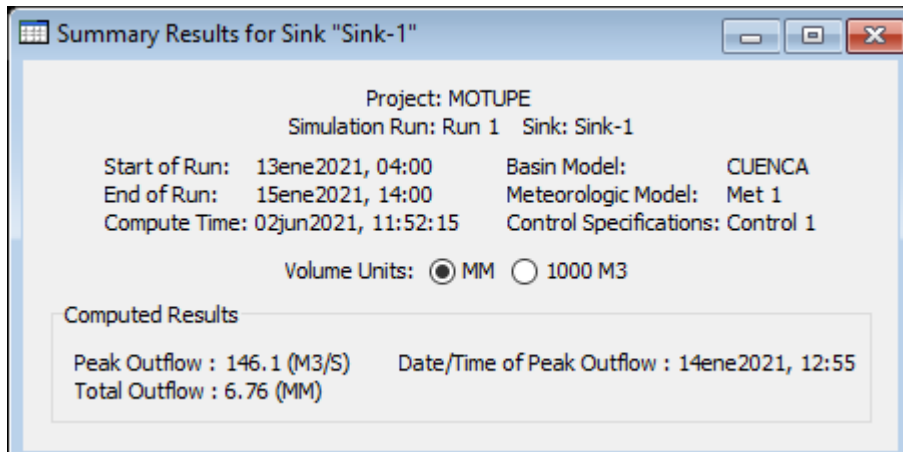
Como se observa en la **Tabla 26**, se muestra el nivel de error en porcentaje de los caudales simulados con los caudales obtenidos a partir de datos de una estación hidrométrica. En todos los casos menores a 5%, por lo tanto, la simulación hidráulica en HEC – HMS es correcta.

Gráfico 18: Hidrograma para Tr=25 años



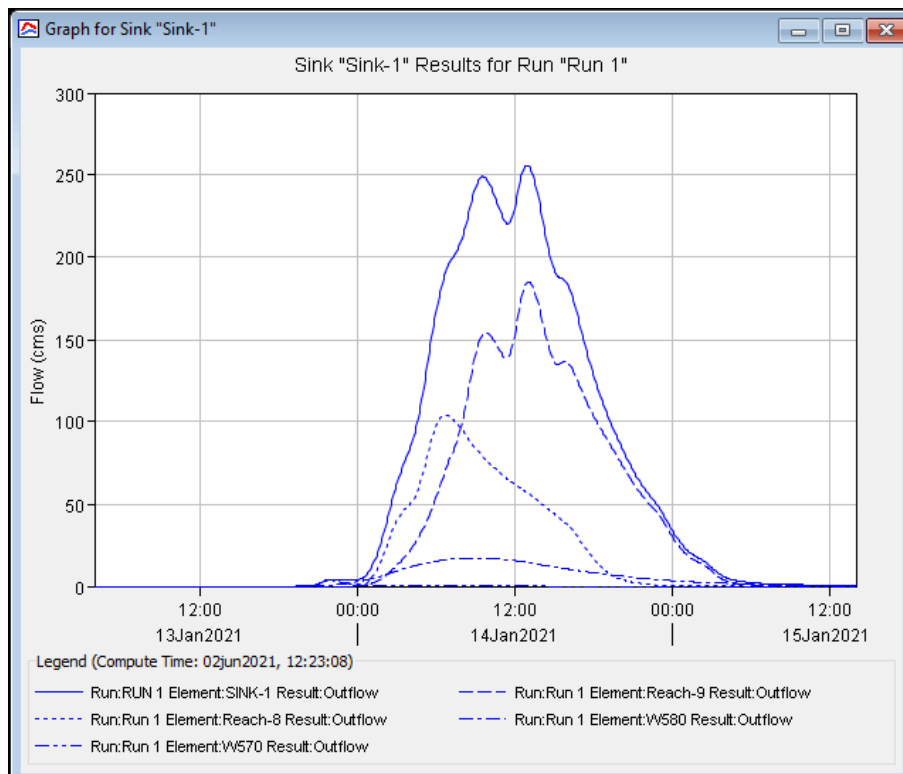
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 19: Caudal para  $Tr=25$  años

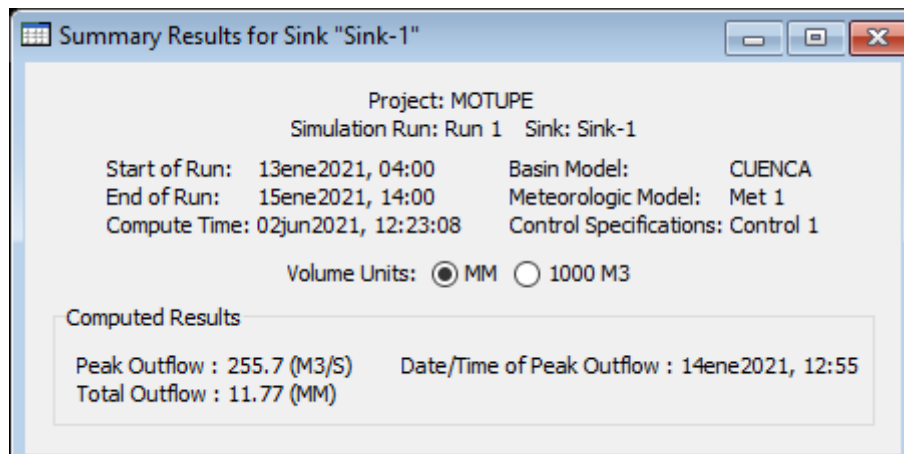


Fuente: Elaboración Propia. 2020.

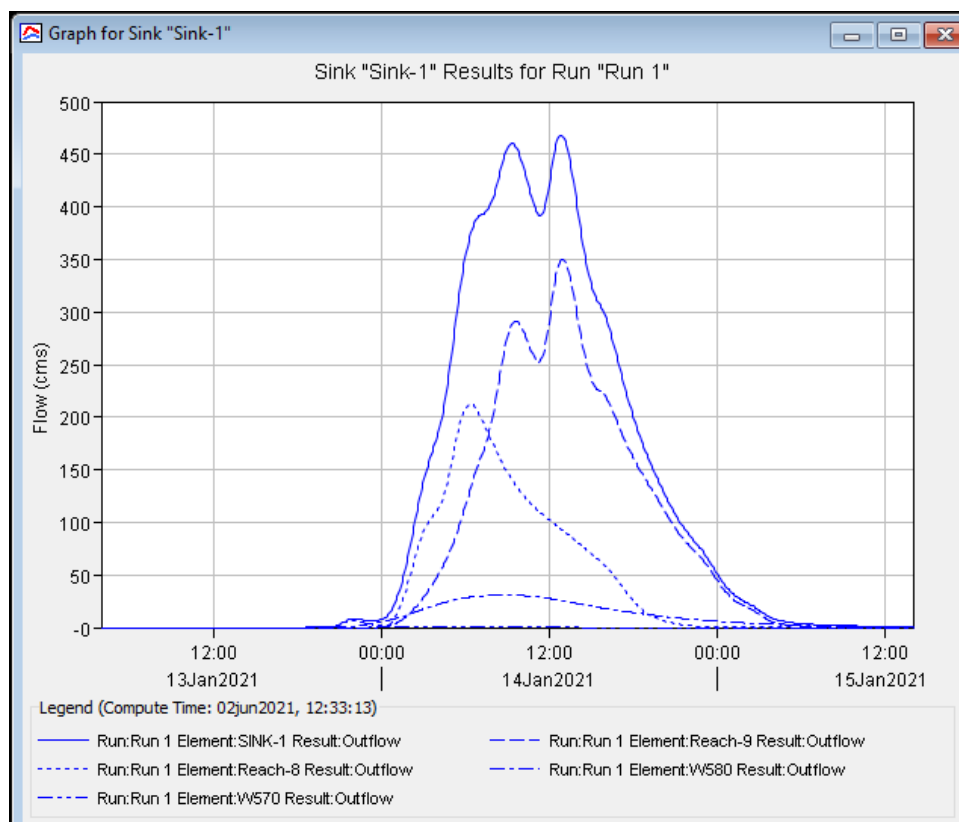
Gráfico 20: Hidrograma para  $Tr=50$  años



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

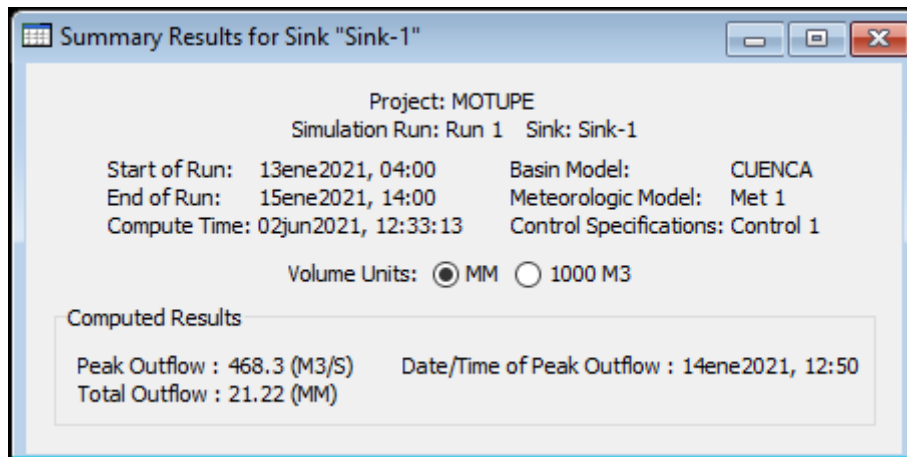
Gráfico 21: Caudal para  $Tr=50$  años

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 22: Hidrograma para  $Tr=100$  años

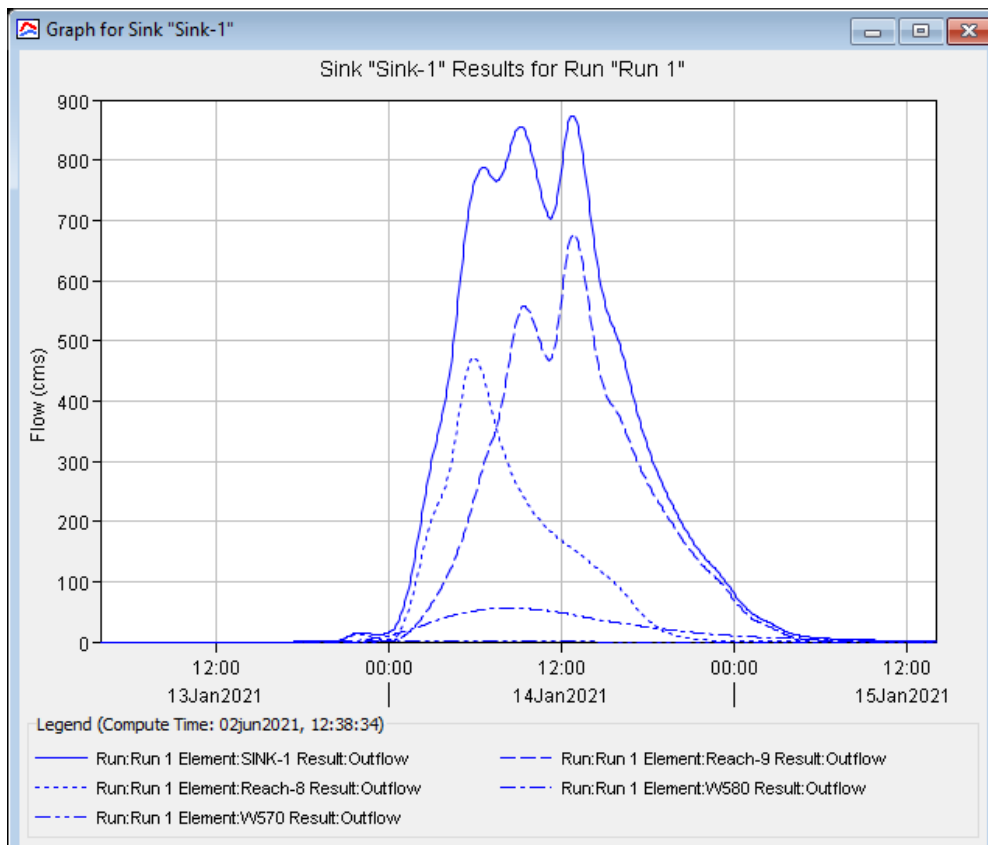
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 23: Caudal para  $Tr=100$  años

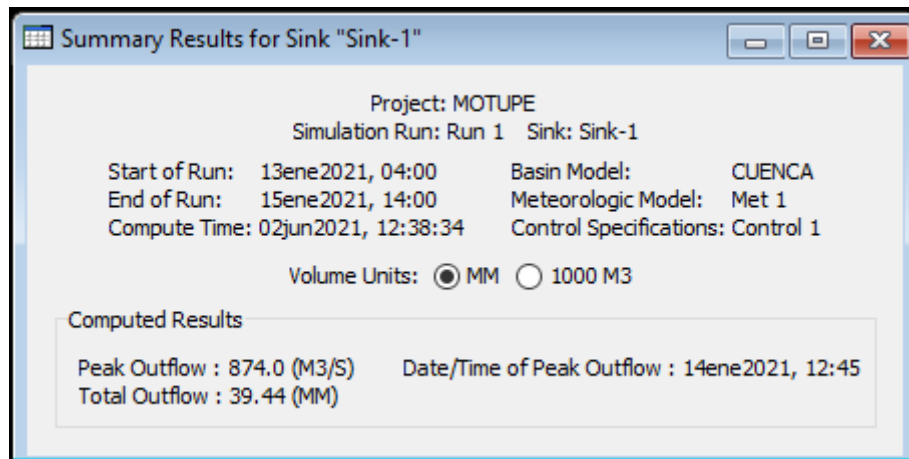


Fuente: Elaboración Propia. 2020.

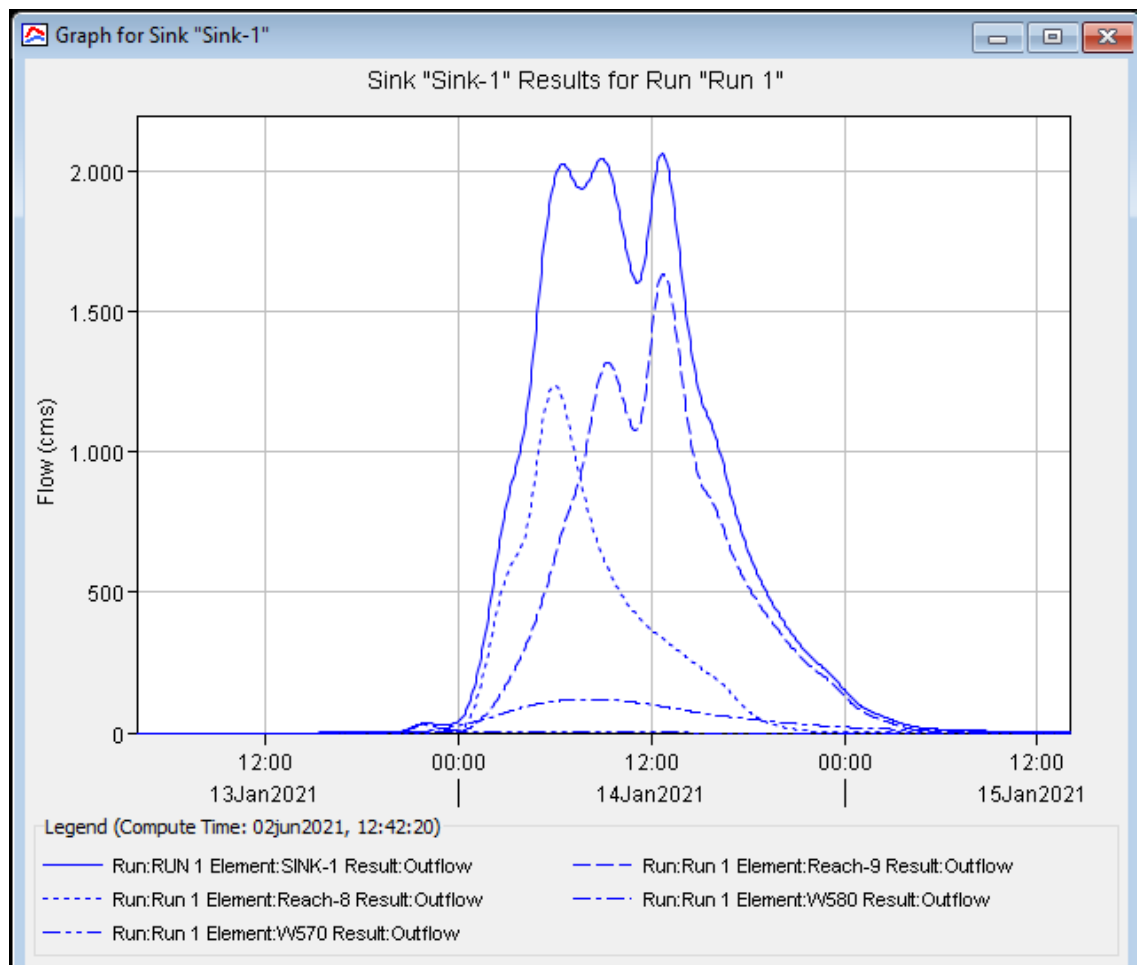
Gráfico 24: Hidrograma para  $Tr=200$  años



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

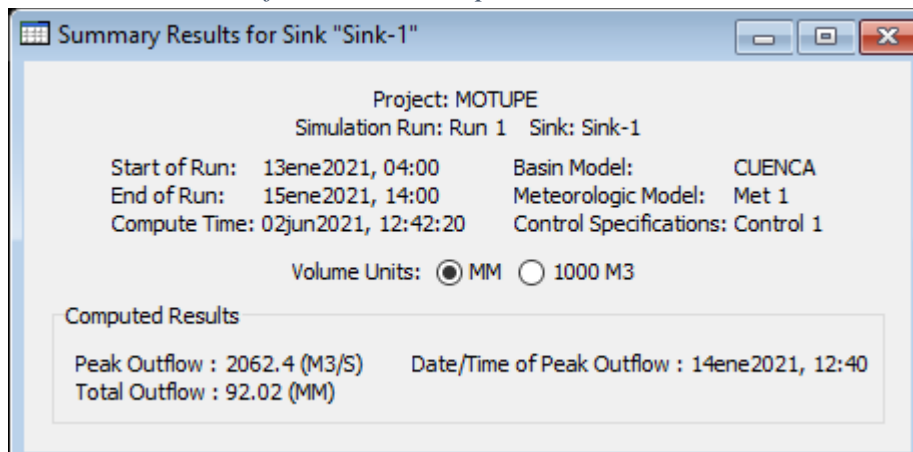
Gráfico 25: Caudal para  $Tr=200$  años

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 26: Hidrograma para  $Tr=500$  años

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 27: Caudal para  $Tr=500$  años



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

#### 4.8. Análisis Hidráulico

Para el análisis hidráulico, se utilizó las imágenes DEM para obtener el relieve de la zona y la batimetría del río, y así poder obtener las secciones transversales.

Para esto se ha utiliza el software SIG ARCGIS, en su plataforma ARC MAP, y además se ha usado la extensión HEC - GEO RAS, para poder procesar el mapa de inundación en conjunto con el software HEC – RAS.

Ilustración 34: Rio Motupe en el software ArcGIS



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

En la **Ilustración 34**, se puede observar el cauce del río Motupe, tramo Motupe, proyectado en el software ArcGIS. Para eso, con asistencia de la extensión HEC – GEORAS, se definió primero el cauce del río, junto con sus límites de cauce, definidos en los *layers Flowpaths y Banks*.

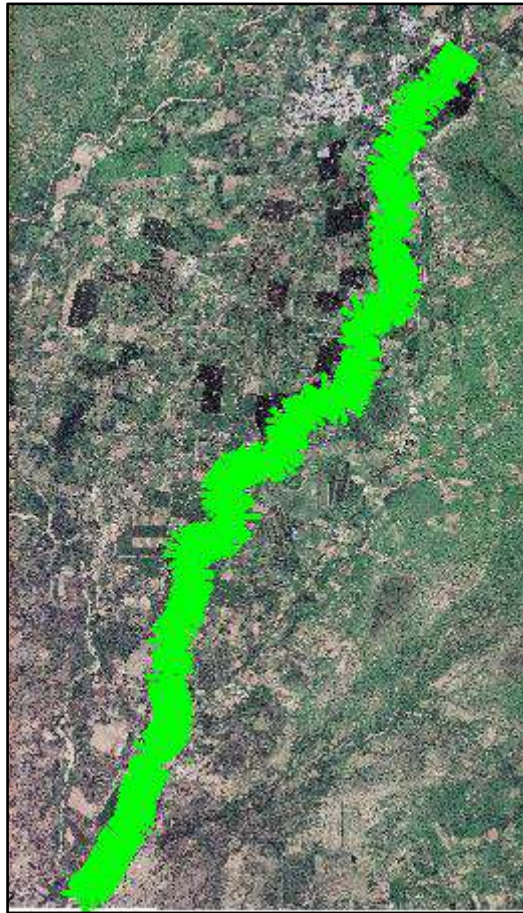
*Ilustración 35: Flowpaths y Banks del Río Motupe*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Luego, se procedió a crear las secciones transversales con la herramienta XS Cut Line Attributes, teniendo en cuenta que se hicieron las secciones transversales cada 75m y con una extensión de 700 m cada sección transversal, como se muestra en la **Ilustración 36**.

*Ilustración 36: Secciones transversales cada 75m*

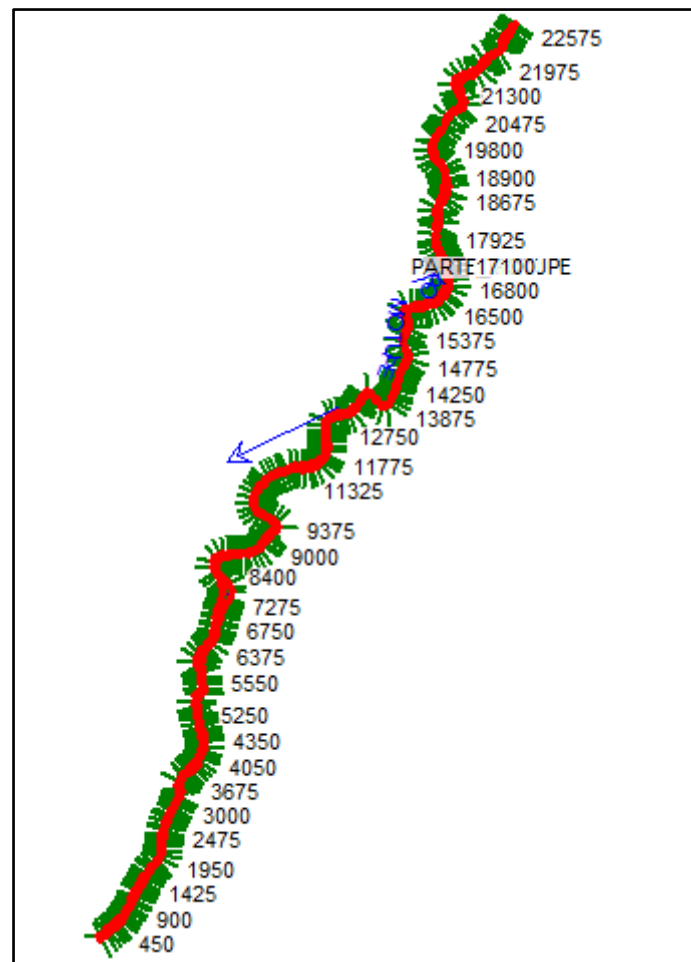


*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Para poder hacer el mapa de inundación del Río Motupe, se exportan las secciones digitalizadas en HEC – GEO RAS, y se importan en el software HEC – RAS.

Para ello, se procedió a importar primero las secciones transversales en el software HEC – RAS.

*Ilustración 37: Secciones transversales importadas cada 75m en HEC - GEORAS*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Para la introducción de los coeficientes de Manning ( $n$ ) se usó las tablas proporcionadas por el MTC (**Tabla 8**), ingresando los datos tanto para el cauce del río, el margen derecho del río y el margen izquierdo de río (planicies de inundación).

Debido a las características que presenta el río Motupe, y las planicies de inundación tanto del margen izquierdo como del margen derecho, se eligieron valores de coeficiente de Manning 0.040 y 0.035, donde para el  $n_1$  y  $n_3$  (planicies de inundación) se eligieron valores de Manning 0.040; y para el cauce principal ( $n_2$ ) se eligió un coeficiente de Manning de 0.035.

Gráfico 28: Valores de Manning en HEC - RAS

Edit Manning's n or k Values

River: RIO\_MOTUPE  Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: PARTE\_MOTUPE All Regions

Selected Area Edit Options: Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

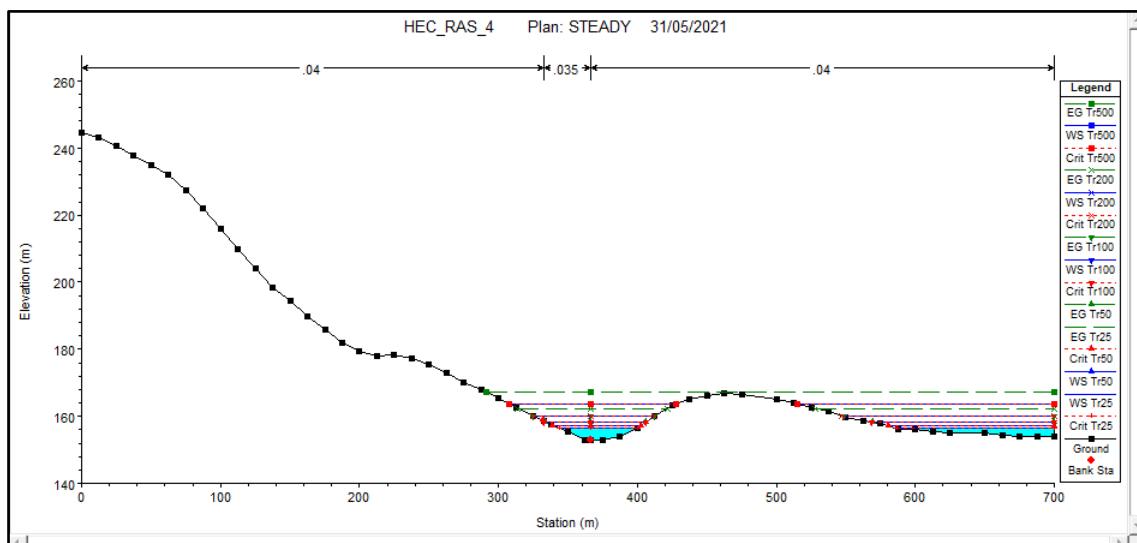
	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	22575	n	0.04	0.035	0.04
2	22500	n	0.04	0.035	0.04
3	22425	n	0.04	0.035	0.04
4	22350	n	0.04	0.035	0.04
5	22275	n	0.04	0.035	0.04
6	22200	n	0.04	0.035	0.04
7	22125	n	0.04	0.035	0.04
8	22050	n	0.04	0.035	0.04
9	21975	n	0.04	0.035	0.04
10	21900	n	0.04	0.035	0.04
11	21825	n	0.04	0.035	0.04
12	21750	n	0.04	0.035	0.04
13	21675	n	0.04	0.035	0.04
14	21600	n	0.04	0.035	0.04
15	21525	n	0.04	0.035	0.04
16	21450	n	0.04	0.035	0.04
17	21375	n	0.04	0.035	0.04
18	21300	n	0.04	0.035	0.04
19	21225	n	0.04	0.035	0.04
20	21150	n	0.04	0.035	0.04
21	21075	n	0.04	0.035	0.04
22	21000	n	0.04	0.035	0.04
23	20925	n	0.04	0.035	0.04
24	20850	n	0.04	0.035	0.04

OK Cancel Help

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

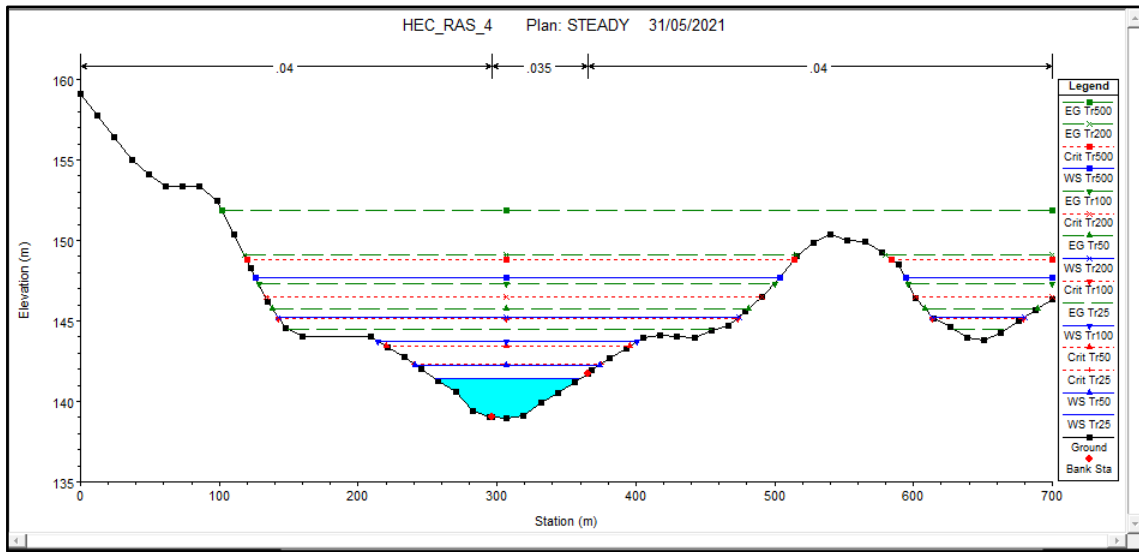
Al introducir los valores de caudales para cada tiempo de retorno tenemos las secciones transversales con los tirantes para cada tiempo de retorno.

Gráfico 29: Sección de progresiva 22+575



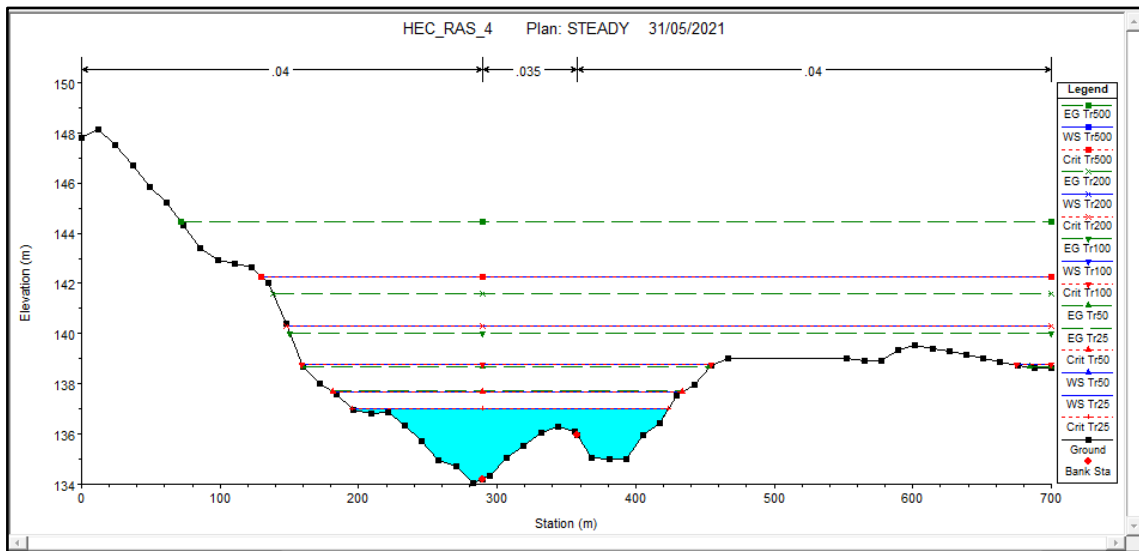
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 30: Sección de progresiva 20+475



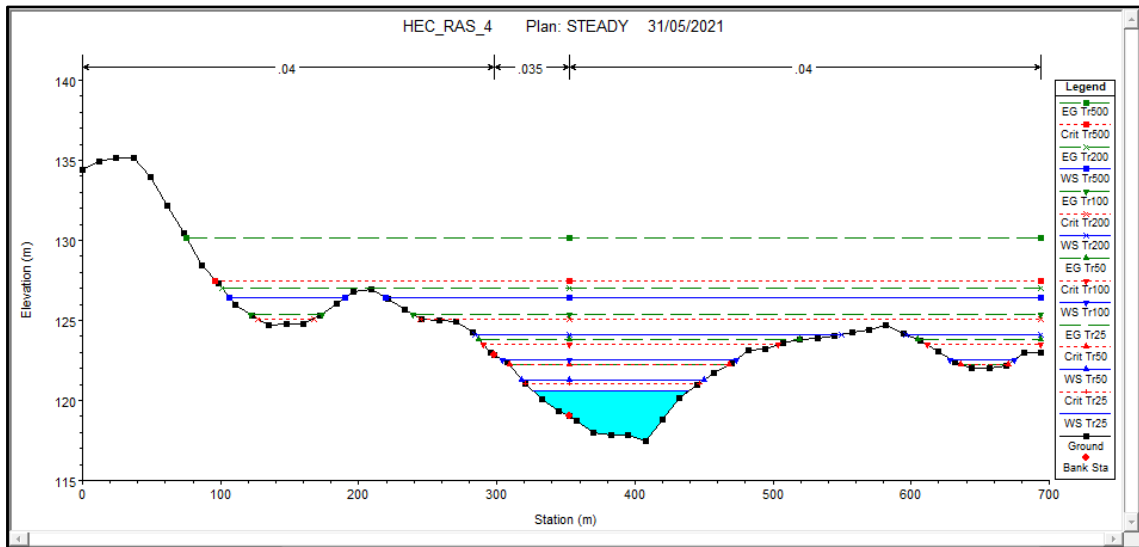
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 31: Sección de progresiva 18+225



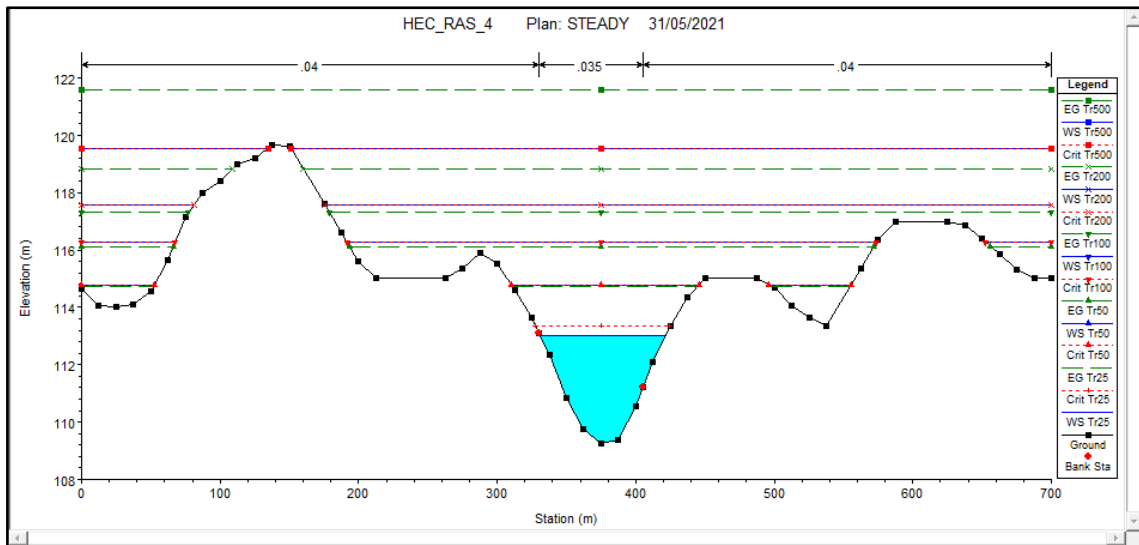
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 32: Sección de progresiva 13+275



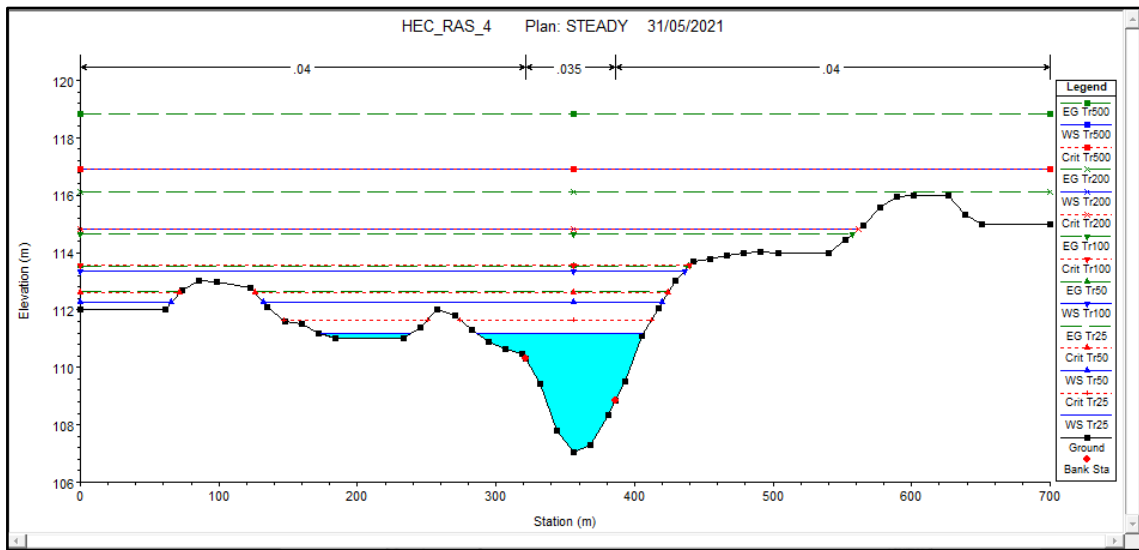
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 33: Sección de progresiva 09+375



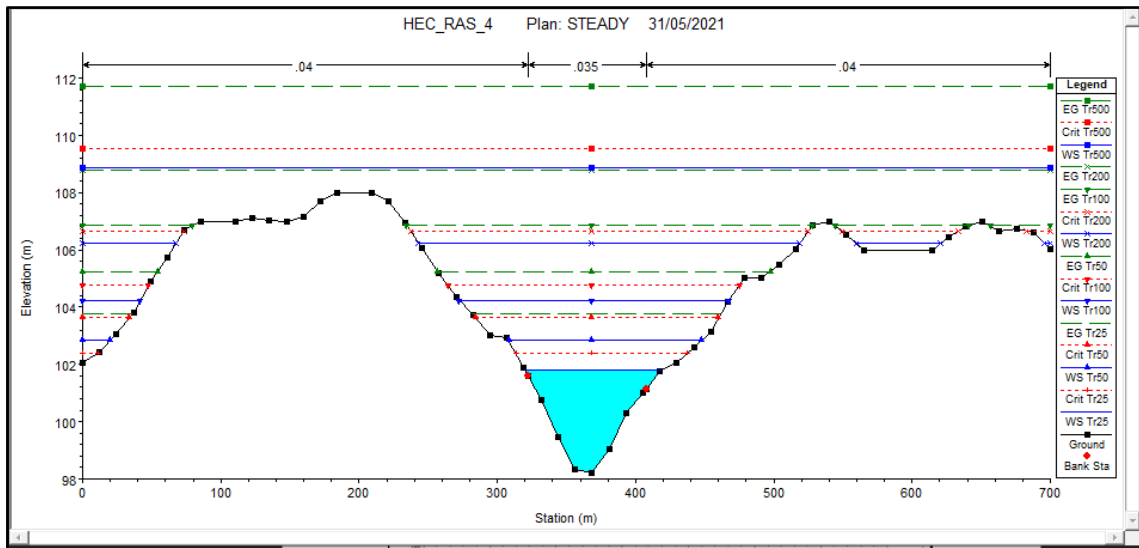
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 34: Sección de progresiva 08+325



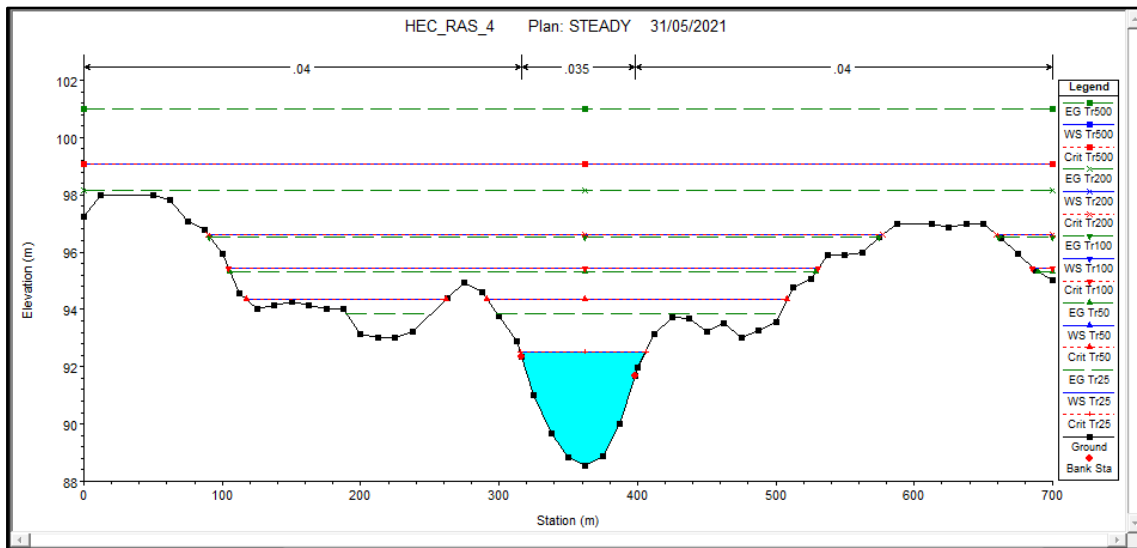
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 35: Sección de progresiva 05+175



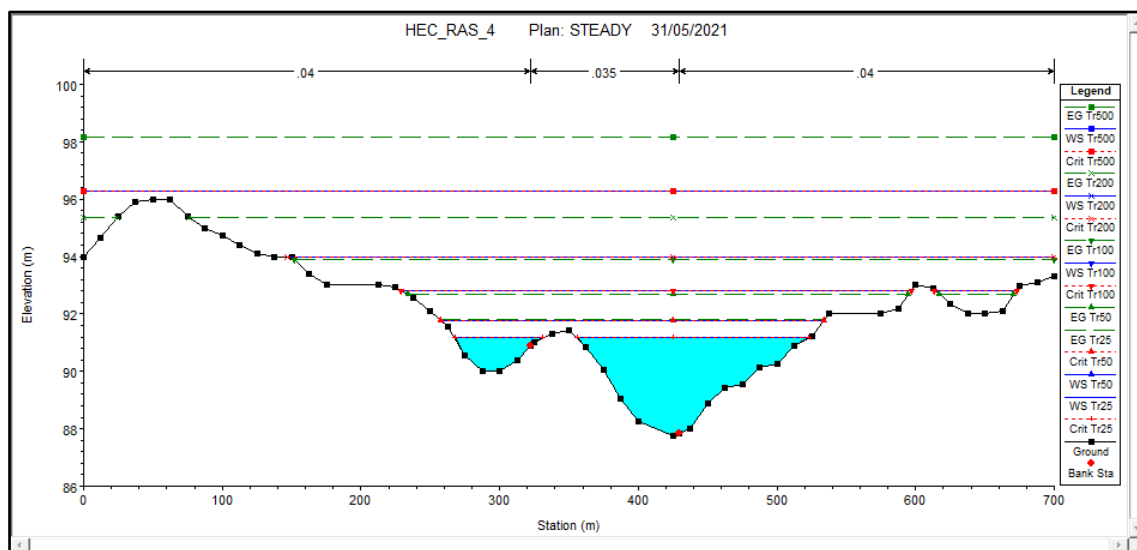
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Gráfico 36: Sección de progresiva 00+300



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

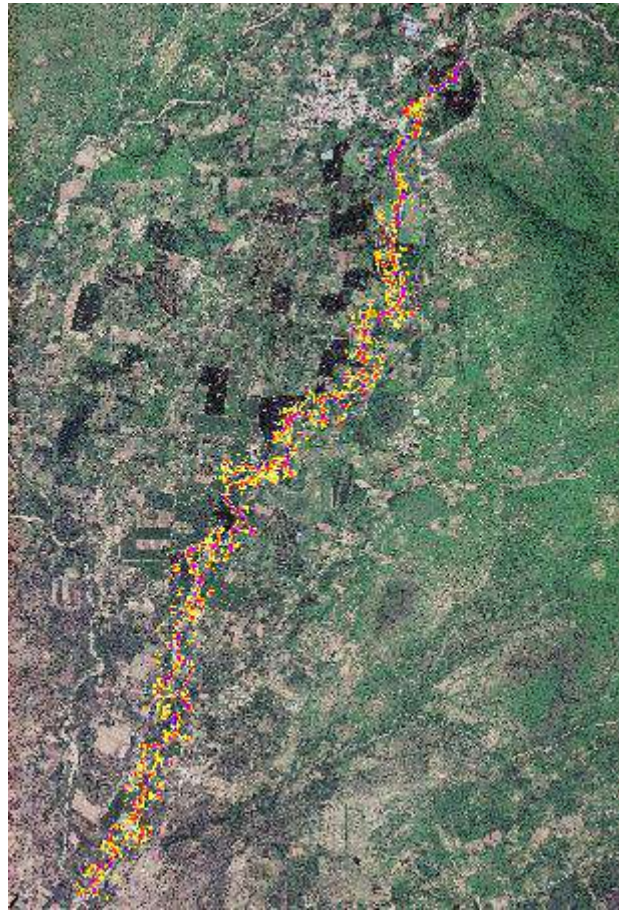
Gráfico 37: Sección de progresiva 00+150



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Como se puede observar en las secciones transversales hay los tirantes críticos son para los periodos de retorno como 100, 200 y 500. Pero se adicionaron los periodos de retorno de 25 y 50 años, debido a que estamos analizando no solo una parte urbana, y para estos casos también se recomienda analizar inundaciones para periodos de retorno de 25 y 50 años.

Gráfico 38: Zonas de Inundación para  $Tr=25$  años



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

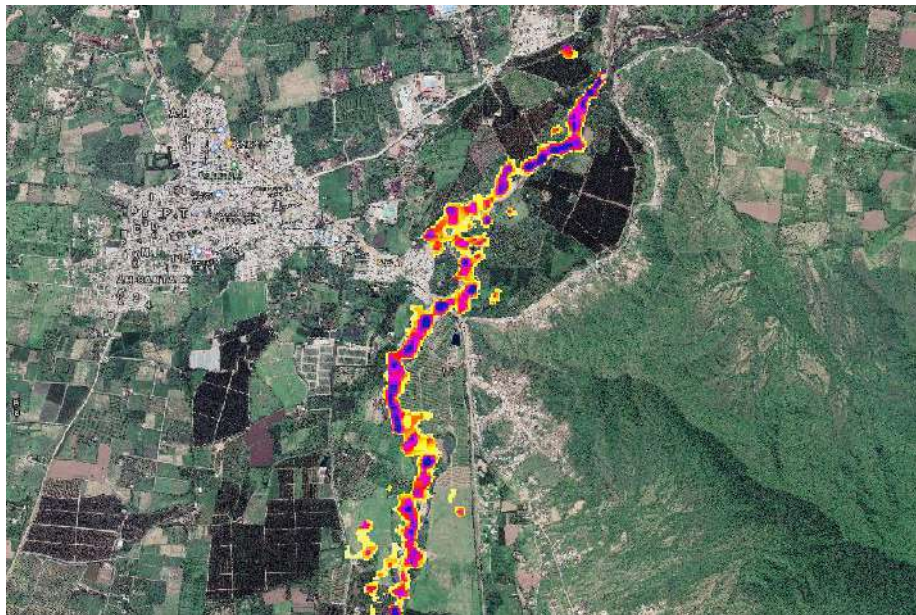
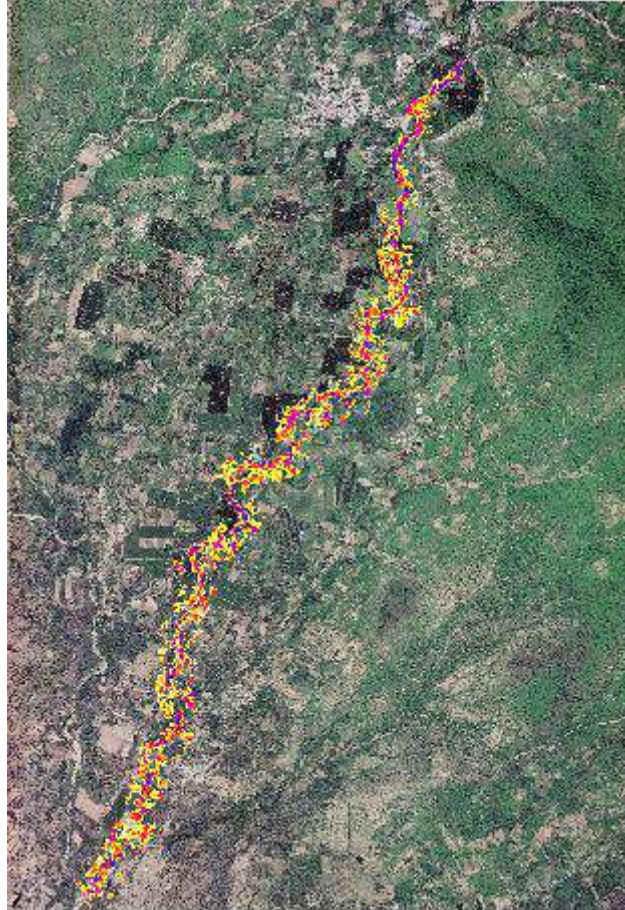


Gráfico 39: Zonas de Inundación para  $Tr=50$  años



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

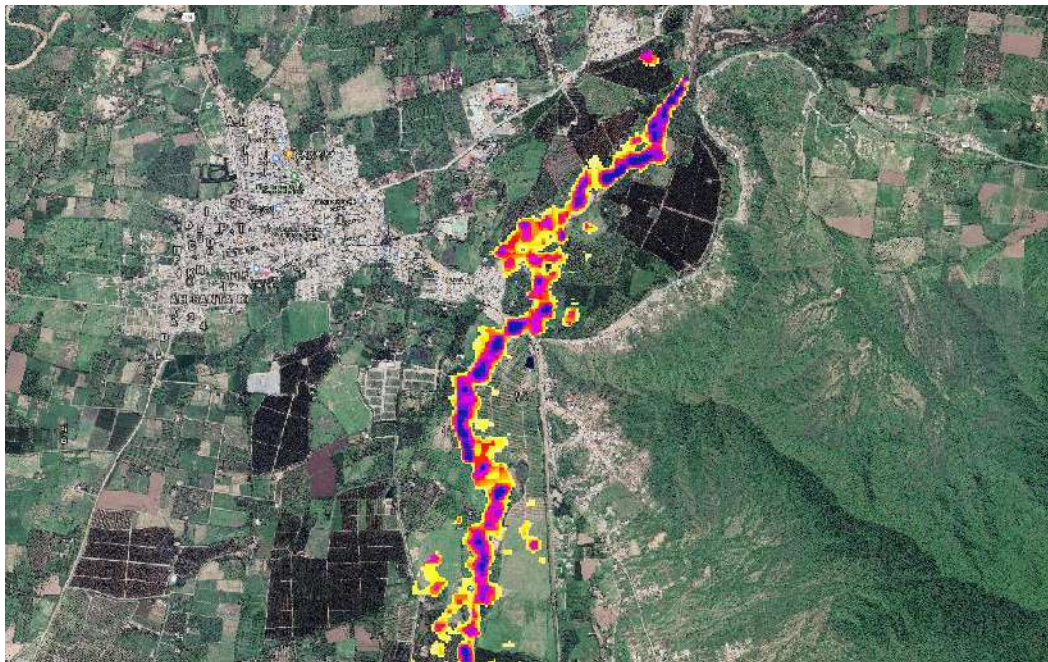
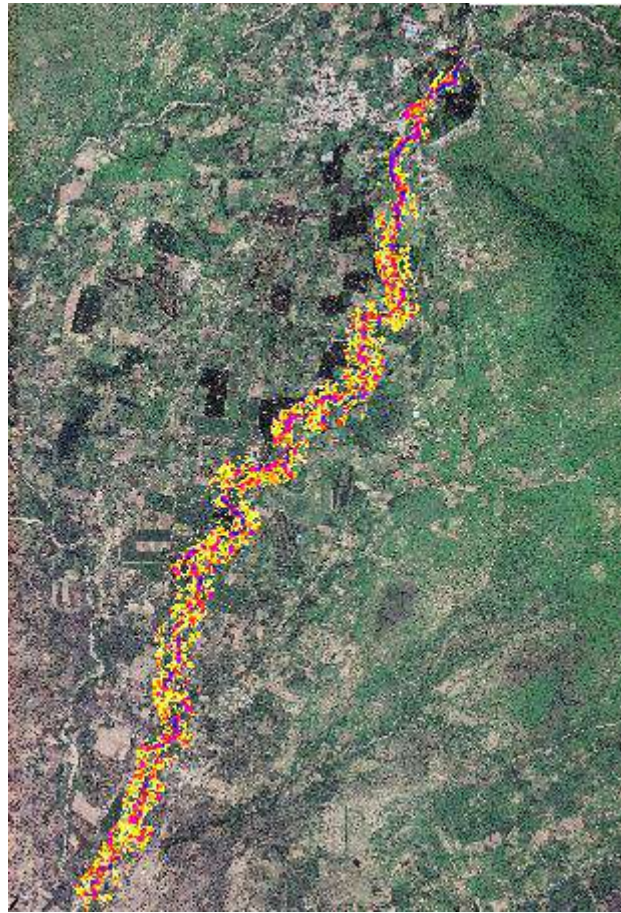


Gráfico 40: Zonas de Inundación para  $Tr=100$  años



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

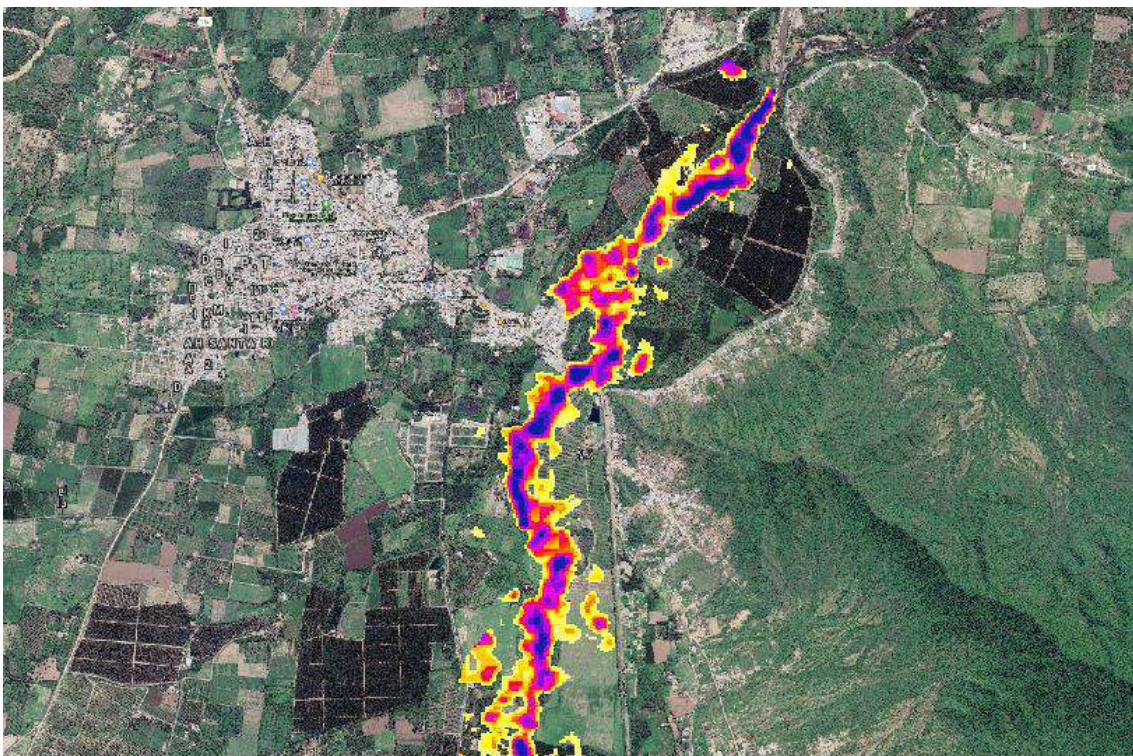
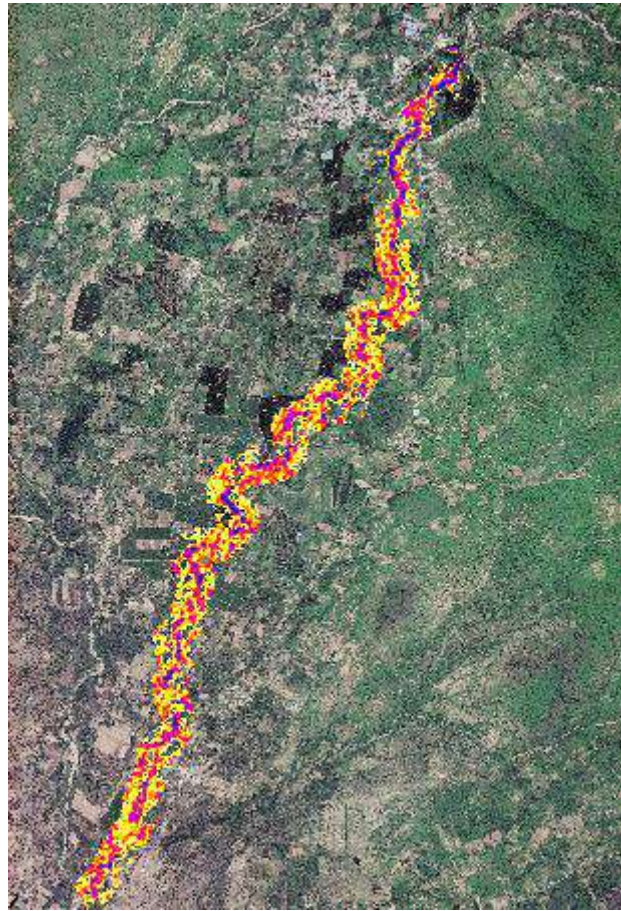


Gráfico 41: Zonas de Inundación para  $Tr=200$  años



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

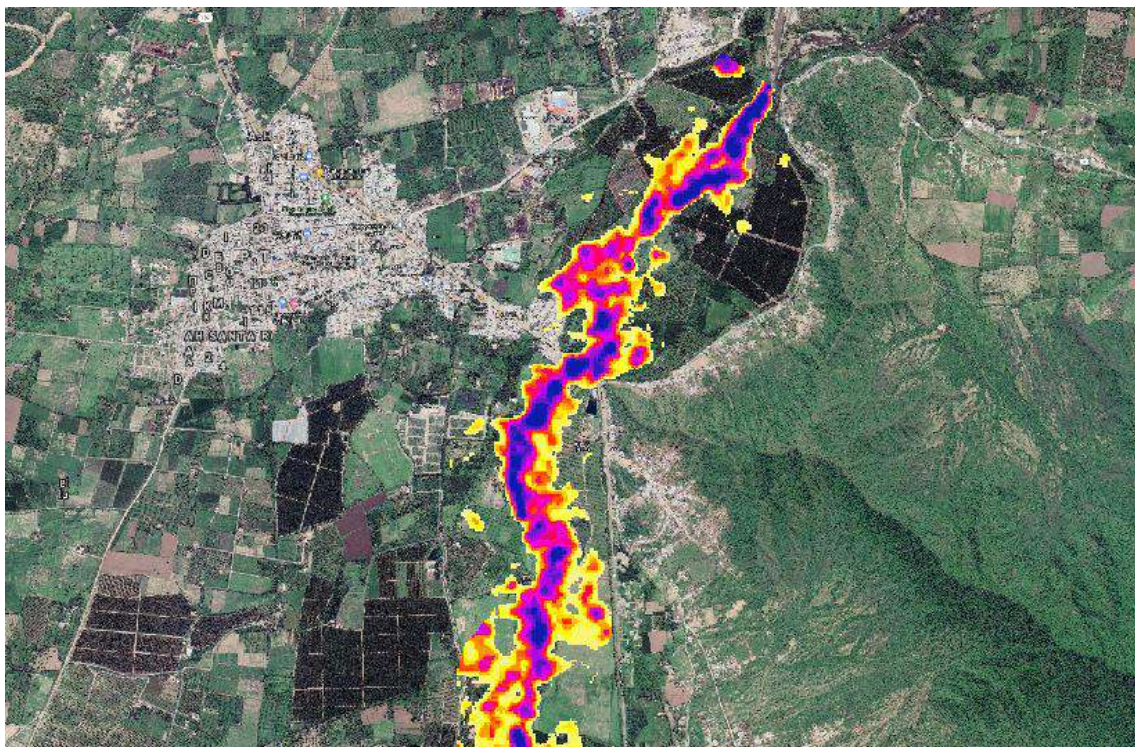
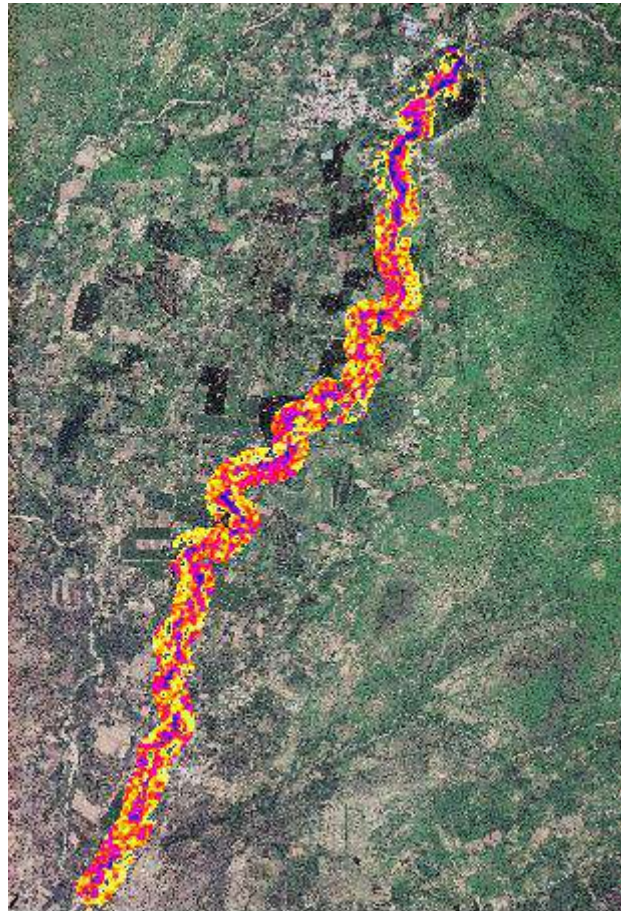
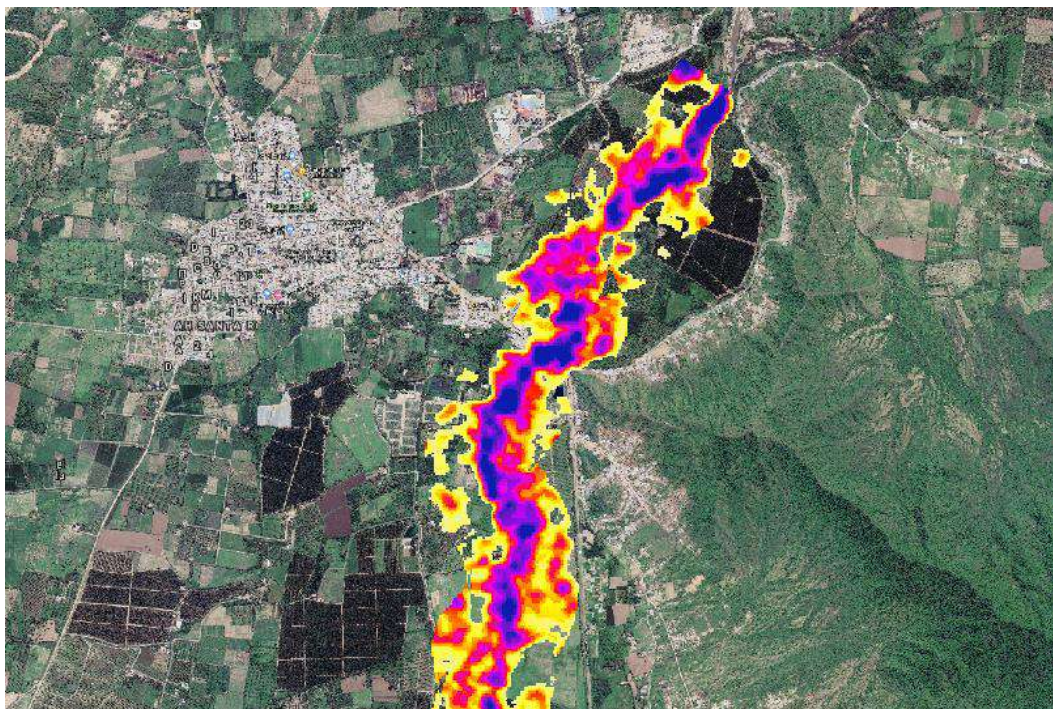


Gráfico 42: Zonas de Inundación para  $Tr=500$  años



Fuente: Elaboración Propia. 2020.



Como se puede observar en los mapas de inundación los polígonos de inundación son más críticos para los periodos de retorno de 200 y 500 años. Adicionalmente a eso, se tiene que, para un periodo de retorno de 50 años, se observa una lámina de inundación que perjudicaría a zonas de cultivo y casas aledañas al río. Los tirantes de inundación para los tiempos de retorno calculados son, para 25 años un valor de 6.33m; para 50 años un valor de 7.67m; para 100 años un valor de 9.15m; para 200 años un valor de 11.19m; y finalmente para 500 años un valor de 15.86m.

Además, se calcularon áreas de inundación en hectáreas para cada tiempo de retorno, teniendo así para 25 años un área de inundación de 9.229 has; para 50 años un área de inundación de 15.034 has; para 100 años un área de inundación de 24.961 has; para 200 años un área de inundación de 41.327; y finalmente para 500 años un área de inundación de 77.986 has.

*Ilustración 38: Fotografía referencial de la Zona de Estudio*



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

#### 4.9. Propuesta de Solución

Teniendo caudales procesados por HEC – HMS y los datos de descargas mensuales del año 1962 a 1998, teniendo un evento extremo el año 1983 con una descarga mensual de 300 m<sup>3</sup>/s (Tabla 23), se usó este último como caudal del diseño para la propuesta de solución: Diques Enrocados.

Para el diseño preliminar de la propuesta de solución se usó el programa River, donde se usó como caudal de diseño, el caudal instantáneo de 300 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de retorno de 50 años, por ser el más próximo a los caudales calculados en la **Tabla 26**.

Para la propuesta preliminar (predimensionamiento) el programa tiene en cuenta 5 fórmulas para el ancho estable del cauce (B): Recomendación práctica; Método de Petits, Método de Simon y Henderson, Método de Blench y Altunin; y por último, método de Manning y Strickler.

Donde se obtuvieron los siguientes valores:

Recomendación Práctica:

$$B=49.03\text{m}$$

Método de Petits:

$$B=76.90\text{m}$$

Método de Simons y Henderson:

$$B=50.23\text{m}$$

Método de Blench y Altunin:

$$B=88.67\text{m}$$

Método de Manning y Strickler:

$$B=72.12\text{m}$$

*Ilustración 39: Ancho estable usando software River*

Ancho Estable del Cauce (B)	
Recomendacion Practica	49.03
Metodo de Petits	76.90
Metodo de Simons y Henderson	50.23
Metodo de Blench y Alturin	88.67
Metodo de Manning y Strickler	72.12

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Donde como valor final se optó por promediar los valores teniendo como resultado final un ancho B de 67.00m. Como talud (Z) se optó por un valor de 2.

Se obtuvo una sección teórica de cauce con las siguientes características:

*Tabla 27: Sección Teórica de propuesta de Solución*

Tirante (Y)	1.87	m
Ancho (T)	74.46	m
Area (A)	131.99	m <sup>2</sup>
Perímetro	75.35	m
Velocidad	2.27	m/s
# Froude	0.53	
Ancho (B)	67.00	m
Talud (Z)	2	
B.Libre (BL)	0.54	m

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Se tuvo en cuenta que el río Motupe cuenta con un suelo No Cohesivo, y que la forma de Dique sería Recto. Donde el programa, usó el método de Li. List Van Levediev para calcular el tirante de socavación, la profundidad de socavación, la altura de uña, la altura de dique, y la altura total, tal como se muestra en la **Ilustración 40**.

*Ilustración 40: Método de Li List Van Levediev*

Metodo de U. List Van Levediev	
Dique en Recta	Dique en Curva
Tirante de Socavacion (m)	
3.23	
Profundidad de Socavacion (m)	
1.36	
Altura de Uña	
1.40	
Altura de Dique	
2.40	
Altura Total (m)	
3.80	

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

Para tener un diseño preliminar con las siguientes características:

Ancho de corona (m): 4.00m

Altura de dique (m): 2.40m

Altura de enrrocado (m): 2.40m

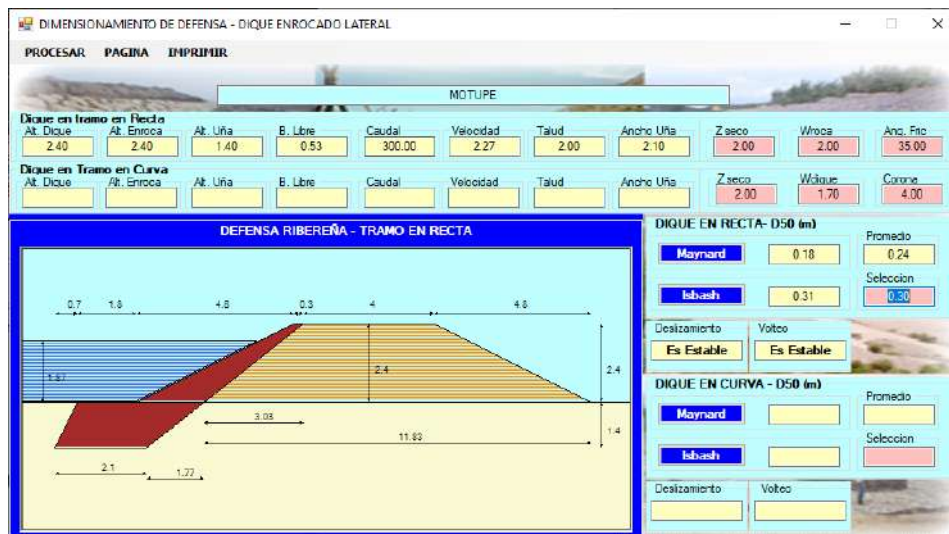
Altura de uña (m): 1.40m

Ancho de uña (m): 2.10m

Altura total (m): 3.80m

Además, se calculó por los métodos de Maynard e Isbash, el diámetro de las rocas, teniendo como resultado final un diámetro de 30cm.

Ilustración 41: Diseño preliminar usando software River



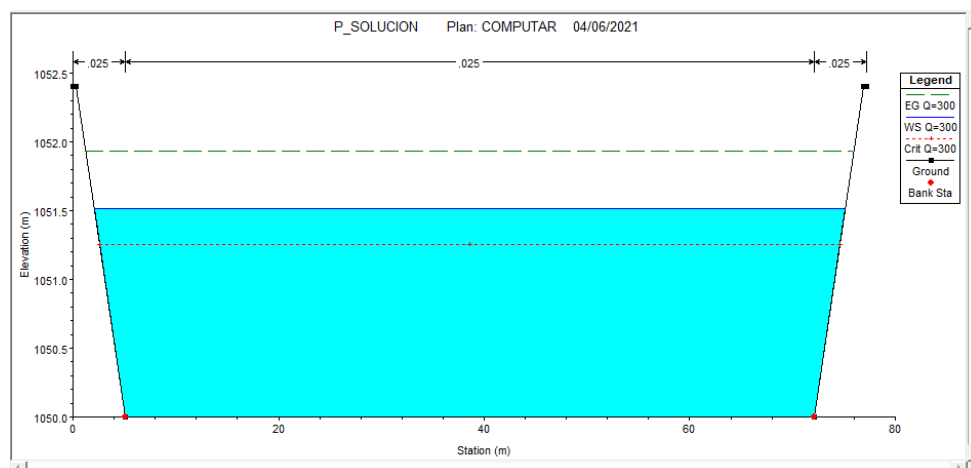
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Además, se propuso a usar un diámetro de roca para la uña de entre 60 cm a 70 cm, y que el material de relleno sea semi compactado.

#### 4.10. Modelo Hidráulico

Se tiene como propuesta de solución usar diques enrocados laterales a ambos márgenes del río, por tanto, para el modelo hidráulico se considero como una sección tipo canal a fin de garantizar que el caudal que fluya en río no tienda a desbordarse, usando el software HEC – RAS. Se usó el caudal de diseño de 300 m<sup>3</sup>/s, la pendiente de río de 0.003, además como se usará enrocados como revestimiento se usó como único coeficiente de Manning 0.025.

Ilustración 42: Sección de Río con propuesta de Solución



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Como resultado final, se observa que el diseño propuesto es satisfactorio para un periodo de retorno de 50 años, no existiendo desbordamiento lateral del cauce, que afecte a la población y a las zonas agrícolas garantizando la seguridad ante un evento extremo como es el Fenómeno “El Niño”.

## V. CONCLUSIONES

- Sin obras de encauzamiento o de control de desbordes en ríos con probabilidades de inundación en fenómenos extraordinarios como lo es el fenómeno “El Niño”, podrían afectar a zonas agrícolas y a la población, tal como se aprecian en los mapas de inundación para los periodos de retorno propuestos, sobre todo aquellos que tienen caudal alto, por su tiempo de retorno.
- Las hectáreas de inundación para el periodo de retorno de: 100 años, con 24.961 has; 200 años, con 41.327 has; y 500 años, con 77.986 has. Adicionalmente, se propusieron los tiempos de retorno de 25 y 50 años, con 9.229 has y 15.034 has de inundación respectivamente.
- El tirante de inundación para: 25 años fue de 6.33m, 50 años fue de 7.67m, 100 años fue de 9.15m, 200 años fue de 11.19m, y 500 años fue de 15.86m.
- Se obtuvo la batimetría y la topografía del río y cuenca, a partir de modelos de elevación digital (DEM) de la NASA, y se obtuvieron como parámetros geomorfológicos con ayuda del programa HIDROCALC, el coeficiente de compacidad 1.919; el factor de forma 0.219; pendiente de cuenca 0.3378; altitud media 890.034 m.s.n.m; pendiente del cauce principal 0.007; ancho promedio 15.211 km; altitud mas frecuente 91-200 m.s.n.m.; densidad de drenaje 0.645; y tiempo de concentración 19.3 hrs.
- Con ayuda del programa HEC – HMS y previamente hacer un análisis de consistencia de datos de precipitación se obtuvieron los siguientes caudales: para 25 años 146.1 m<sup>3</sup>/s; para 50 años 255.7 m<sup>3</sup>/s; para 100 años 468.3 m<sup>3</sup>/s; para 200 años 874 m<sup>3</sup>/s; y para 500 años 2062.4 m<sup>3</sup>/s, todos estos caudales fueron previamente calibrados en el programa a fin de no tener datos con errores probabilísticos mayores al 5%.
- Para la mitigación de riesgos, se propuso un dique enrocado, para poder encauzar de la mejor manera la máxima avenida planteada en este caso 300m<sup>3</sup>/s.
- Las dimensiones preliminares del dique enrocado fueron: altura de dique 2.40m; altura de enrocado 2.40m; altura de uña 1.40m; talud 2; corona 4.00 m; y como diámetro de roca se obtuvo 0.30m.
- El modelo hidráulico se realizó en el programa HEC – RAS, simulando el caudal de 300 m<sup>3</sup>/s, y obteniendo una velocidad de 2.89 m/s, lo cual es una velocidad no erosionable, y además un tirante de 1.51m, menor a la altura propuesta del dique.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Para el análisis hidrológico para caudales, se recomienda tener datos históricos de caudales para poder comparar los datos obtenidos, y no obtener datos de caudales sobredimensionados.
- Se recomienda visitar la zona de estudio, para poder hacer reconocimiento de campo y poder definir los parámetros como coeficiente de Manning.
- Para el análisis hidráulico se recomienda tener datos con mayor precisión a fin de tener resultados con mayor exactitud del modelamiento.
- Se recomienda utilizar esta tesis con propósitos de estudios de prefactibilidad, o como un antecedente para anteproyecto.
- Se recomienda tener como mínimo tener tres estaciones pluviométricas para estudios hidrológicos.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Statista, «Statista,» Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/644932/impacto-economicos-de-las-peores-inundaciones-registradas-a-nivel-mundial/>. [Último acceso: 03 Junio 2020].
- [2] CENEPRED, «Manual para evaluación de riesgos orginados por inundaciones fluviales,» Lima, 2014.
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo, «Perfil de Riesgo por Inundaciones en Perú,» Lima, 2015.
- [4] Organización Panamericana de la Salud, «Reliefweb,» 23 Abril 2017. [En línea]. Available: [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Informe\\_Situacion\\_13-2017\\_Peru\\_Inundaciones\\_23\\_abril%5B1%5D.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Informe_Situacion_13-2017_Peru_Inundaciones_23_abril%5B1%5D.pdf). [Último acceso: 02 Junio 2020].
- [5] Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, «Brotos y epizootias en el Perú, 2017,» Lima, 2017.
- [6] F. Fernandez, «Lambayeque: Huaicos y desbordes en Olmos y Motupe dejan a más de 2000 personas afectadas,» *Diario Correo*, 27 Marzo 2017.
- [7] CENAGRO, *Encuesta Nacional Agropecuaria*, Motupe, 2017.
- [8] RPP, «Sube en 200 % el precio del limón en mercados de Lambayeque,» *RPP*, 21 Julio 2017.
- [9] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Hidología, Hidráulica y Drenaje*, Lima, 2018.
- [10] M. Villón, *Hidrología*, Lima: Editorial Villón, 2002, p. 15.
- [11] A. F. Breña Puyol y M. A. Jacobo Villa, *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*, México, 2006.

- [12] V. Te Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays, Hidrología Aplicada, Bogotá: McGraw - Hill Interamericana, S.A., 1994.
- [13] CENERGIA, Estudio: Evaluaciones Ambientales Complementarias del Proyecto Agroenergéticos - Central Hidroeléctrica Pucará, Lima, 2010.
- [14] A. M. Oyola Romero y O. A. Medina Troncos, «Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, casi Río Zarumilla - 2018,» Tumbes, 2019.
- [15] F. J. Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie, México: Limusa, 1992.
- [16] D. Toycen, Manual de Manejo de Cuencas, Perú: World Vision Perú, 2013.
- [17] M. Villón, Hidrología, Lima: Editorial Villón, 2002, pp. 22-23.
- [18] Sociedad Geográfica de Lima, ¿Qué es cuenca Hidrológica?, Lima: Biblioteca Nacional del Perú, 2011.
- [19] M. Villón Béjar, Cálculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas, Lima: CATIE, p. 12.
- [20] J. J. Ordoñez Gálvez, Carilla Técnica: Ciclo Hidrológico, SENAMHI, 2011.
- [21] M. C. Ramirez L., «Hidrología Aplicada,» Mérida, 1999.
- [22] Universidad Nacional del Nordeste, «Procesamiento de los datos de precipitación,» Corrientes.
- [23] P. M. Acosta Castellanos y L. X. Sierra Aponte, «Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste,» *Dialnet*, vol. 22, n° 35, p. 9, 2013.
- [24] Ministerio de ambiente, energía y telecomunicaciones, Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas, 2011.
- [25] R. Linsley, M. Kohler y J. Paulus, Hidrología para ingenieros, Bogotá: McGraw - Hill, 1977.

- [26] F. J. Sanchez San Roman, «Calculo de la Precipitación Neta mediante el método del SCS,» Salamanca.
- [27] R. Juncosa Rivera, Hidrograma asociado a una precipitación, Colombia: Universidad de Santander.
- [28] Universidad Nacional del Nordeste, Hidrograma Unitario, Corrientes.
- [29] A. Rocha Felices, Introducción a la hidráulica fluvial, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil, 1998.
- [30] Universidad de Zaragoza, «APLICACIÓN DE LA CLASIFICACIÓN DE ROSGEN AL RÍO GÁLLEGO Y PROTOCOLO PARA SU APLICACIÓN A LOS RÍOS DE LA CUENCA DEL EBRO,» Zaragoza, 2003.
- [31] R. H. French, «Hidráulica de Canales Abiertos,» McGraw - Hill, México, 1988.
- [32] L. Pérez Farrás, «La ecuación general de Navier - stokes en la enseñanza de Hidráulica General,» [En línea]. Available: [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_ecuacion\\_navier\\_stokes..](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_ecuacion_navier_stokes..) [Último acceso: 3 Noviembre 2020].
- [33] A. Rocha Felices, «Hidraulica de Tuberías y Canales,» Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2007.
- [34] M. Villón Béjar, Hidráulica de Canales, Lima: Villón, 2007.
- [35] M. Hanif Chaudhry, Open-Channel Flow, New York: Springer, 2008.
- [36] US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center, «Hydrologic Modeling System HEC - HMS, Technical Reference Manual,» US Army Corps of Engineers, California, 2000.
- [37] ESRI, «ArcGIS,» ESRI, [En línea]. Available: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>. [Último acceso: 03 Junio 2020].

- [38] T. Velásquez Bejarano, Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Áreas Agrícolas o Urbanas, 2006.

## VIII. ANEXOS

### Anexo 01: Análisis de Datos Dudosos. Estación: El Limón

# De datos	35	35		
Máximo	71.20	4.27	CORRECTO	
Mínimo	18.40	2.91	CORRECTO	
Promedio	37.97	3.57		
Desviación Estándar	13.60	0.37		
Coef. De Asimetría	0.43	-0.15		
Kn	2.628	2.628		
XH	4.54	Umbral Superior		
PH	93.94	Precipitación maxima Aceptable (mm)		
XL	2.60	Umbral Inferior		
PL	13.49	Precipitación minima Aceptable (mm)		

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 02: Tabla de distribución de probabilidades de la Estación: El Limón

N	T	P(X>=KT)	Valor Observado		NORMAL		LOGNORMAL		EV1 GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			P24	Log(P24)	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO
1	36.00	2.78%	71.20	4.27	1.91	64.00	1.91	72.19	2.33	69.69	2.10	66.48	1.85	77.23
2	18.00	5.56%	60.30	4.10	1.59	59.63	1.59	64.11	1.78	62.19	1.69	61.00	1.55	66.53
3	12.00	8.33%	58.50	4.07	1.38	56.77	1.38	59.32	1.45	57.74	1.44	57.53	1.36	60.55
4	9.00	11.11%	55.40	4.01	1.22	54.57	1.22	55.87	1.22	54.53	1.25	54.91	1.21	56.40
5	7.20	13.89%	55.10	4.01	1.09	52.73	1.09	53.15	1.03	51.99	1.09	52.78	1.08	53.22
6	6.00	16.67%	52.60	3.96	0.97	51.12	0.97	50.89	0.88	49.89	0.95	50.95	0.97	50.64
7	5.14	19.44%	51.80	3.95	0.86	49.68	0.86	48.94	0.74	48.09	0.84	49.33	0.87	48.47
8	4.50	22.22%	50.70	3.93	0.76	48.37	0.76	47.22	0.63	46.49	0.73	47.87	0.77	46.58
9	4.00	25.00%	48.40	3.88	0.67	47.14	0.67	45.67	0.52	45.06	0.63	46.52	0.69	44.91
10	3.60	27.78%	46.70	3.84	0.59	45.98	0.59	44.26	0.43	43.75	0.54	45.27	0.60	43.41
11	3.27	30.56%	45.40	3.82	0.51	44.88	0.51	42.95	0.34	42.54	0.45	44.09	0.53	42.04
12	3.00	33.33%	43.90	3.78	0.43	43.83	0.43	41.74	0.25	41.42	0.37	42.98	0.45	40.79
13	2.77	36.11%	43.00	3.76	0.36	42.80	0.36	40.59	0.18	40.36	0.29	41.91	0.38	39.62
14	2.57	38.89%	42.30	3.74	0.28	41.81	0.28	39.51	0.10	39.36	0.21	40.87	0.30	38.52
15	2.40	41.67%	41.40	3.72	0.21	40.83	0.21	38.48	0.03	38.40	0.14	39.87	0.23	37.49
16	2.25	44.44%	39.50	3.68	0.14	39.87	0.14	37.49	-0.04	37.48	0.07	38.90	0.16	36.51
17	2.12	47.22%	38.80	3.66	0.07	38.92	0.07	36.53	-0.10	36.60	0.00	37.94	0.09	35.57
18	2.00	50.00%	37.30	3.62	0.00	37.97	0.00	35.60	-0.16	35.73	-0.07	37.00	0.02	34.67
19	1.89	52.78%	35.00	3.56	-0.07	37.02	-0.07	34.70	-0.23	34.89	-0.14	36.06	-0.04	33.81
20	1.80	55.56%	32.50	3.48	-0.14	36.07	-0.14	33.81	-0.29	34.07	-0.21	35.14	-0.12	32.97
21	1.71	58.33%	31.80	3.46	-0.21	35.11	-0.21	32.94	-0.35	33.26	-0.28	34.21	-0.19	32.14
22	1.64	61.11%	31.70	3.46	-0.28	34.13	-0.28	32.08	-0.41	32.46	-0.35	33.28	-0.26	31.34
23	1.57	63.89%	29.60	3.39	-0.36	33.13	-0.36	31.22	-0.46	31.65	-0.41	32.34	-0.33	30.55
24	1.50	66.67%	29.20	3.37	-0.43	32.11	-0.43	30.37	-0.52	30.85	-0.48	31.38	-0.41	29.77
25	1.44	69.44%	28.90	3.36	-0.51	31.05	-0.51	29.51	-0.58	30.04	-0.56	30.40	-0.49	28.99
26	1.38	72.22%	28.70	3.36	-0.59	29.95	-0.59	28.64	-0.64	29.22	-0.63	29.40	-0.57	28.21
27	1.33	75.00%	27.10	3.30	-0.67	28.80	-0.67	27.75	-0.70	28.39	-0.71	28.36	-0.66	27.42
28	1.29	77.78%	26.00	3.26	-0.76	27.57	-0.76	26.84	-0.77	27.52	-0.79	27.26	-0.75	26.62
29	1.24	80.56%	24.10	3.18	-0.86	26.25	-0.86	25.90	-0.83	26.62	-0.87	26.11	-0.85	25.80
30	1.20	83.33%	22.40	3.11	-0.97	24.81	-0.97	24.91	-0.90	25.67	-0.96	24.87	-0.96	24.94
31	1.16	86.11%	21.60	3.07	-1.09	23.21	-1.09	23.85	-0.98	24.64	-1.06	23.51	-1.09	24.04
32	1.13	88.89%	20.50	3.02	-1.22	21.37	-1.22	22.68	-1.06	23.50	-1.18	21.98	-1.23	23.06
33	1.09	91.67%	19.70	2.98	-1.38	19.16	-1.38	21.36	-1.16	22.20	-1.31	20.18	-1.40	21.96
34	1.06	94.44%	19.40	2.97	-1.59	16.31	-1.59	19.77	-1.28	20.60	-1.47	17.93	-1.63	20.66
35	1.03	97.22%	18.40	2.91	-1.91	11.94	-1.91	17.56	-1.45	18.32	-1.72	14.63	-1.98	18.89

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 03: Prueba de Bondad para la estación: El Limón

m	Xm	Fo(Xm)	NORMAL		LOG NORMAL			EVI - GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			F(Xm) Normal	Δnormal	Ym=log(Xm)	F(Ym) Log Normal	Δlog normal	F(Xm) EVI Gumbel	ΔEVI Gumbel	F(Xm) Pearson III	Δ Pearson III	F(Ym) Log Pearson III	Δ Log Pearson III
1	71.20	0.9722	0.9927	0.0205	4.2655	0.9698	0.0025	0.9759	0.0036	0.9854	0.0132	0.9657	0.0065
2	60.30	0.9444	0.9497	0.0053	4.0993	0.9232	0.0212	0.9340	0.0105	0.9395	0.0049	0.9199	0.0246
3	58.50	0.9167	0.9345	0.0178	4.0690	0.9107	0.0060	0.9222	0.0056	0.9253	0.0087	0.9078	0.0089
4	55.40	0.8889	0.9001	0.0112	4.0146	0.8845	0.0044	0.8972	0.0083	0.8944	0.0055	0.8827	0.0062
5	55.10	0.8611	0.8962	0.0350	4.0091	0.8816	0.0205	0.8944	0.0333	0.8909	0.0298	0.8799	0.0188
6	52.60	0.8333	0.8591	0.0257	3.9627	0.8548	0.0215	0.8683	0.0350	0.8584	0.0251	0.8544	0.0210
7	51.80	0.8056	0.8455	0.0399	3.9474	0.8451	0.0396	0.8587	0.0532	0.8466	0.0410	0.8451	0.0396
8	50.70	0.7778	0.8254	0.0477	3.9259	0.8309	0.0531	0.8445	0.0668	0.8291	0.0513	0.8316	0.0538
9	48.40	0.7500	0.7785	0.0285	3.8795	0.7972	0.0472	0.8107	0.0607	0.7880	0.0380	0.7995	0.0495
10	46.70	0.7222	0.7396	0.0174	3.8437	0.7688	0.0466	0.7816	0.0594	0.7536	0.0314	0.7724	0.0502
11	45.40	0.6944	0.7077	0.0132	3.8155	0.7449	0.0505	0.7569	0.0624	0.7250	0.0305	0.7495	0.0550
12	43.90	0.6667	0.6687	0.0020	3.7819	0.7148	0.0482	0.7255	0.0588	0.6896	0.0229	0.7206	0.0539
13	43.00	0.6389	0.6443	0.0054	3.7612	0.6955	0.0566	0.7052	0.0663	0.6671	0.0283	0.7019	0.0630
14	42.30	0.6111	0.6250	0.0139	3.7448	0.6797	0.0686	0.6886	0.0775	0.6491	0.0380	0.6867	0.0756
15	41.40	0.5833	0.5996	0.0163	3.7233	0.6586	0.0753	0.6662	0.0828	0.6253	0.0420	0.6662	0.0829
16	39.50	0.5556	0.5448	0.0107	3.6763	0.6108	0.0553	0.6151	0.0596	0.5728	0.0172	0.6196	0.0640
17	38.80	0.5278	0.5244	0.0034	3.6584	0.5921	0.0644	0.5951	0.0673	0.5528	0.0250	0.6012	0.0735
18	37.30	0.5000	0.4804	0.0196	3.6190	0.5503	0.0503	0.5499	0.0499	0.5090	0.0090	0.5599	0.0599
19	35.00	0.4722	0.4136	0.0586	3.5553	0.4816	0.0094	0.4757	0.0035	0.4405	0.0317	0.4915	0.0193
20	32.50	0.4444	0.3438	0.1007	3.4812	0.4025	0.0419	0.3904	0.0540	0.3662	0.0783	0.4116	0.0328
21	31.80	0.4167	0.3250	0.0916	3.4595	0.3799	0.0368	0.3662	0.0505	0.3457	0.0709	0.3885	0.0282
22	31.70	0.3889	0.3224	0.0665	3.4563	0.3767	0.0122	0.3627	0.0262	0.3428	0.0461	0.3852	0.0037
23	29.60	0.3611	0.2691	0.0920	3.3878	0.3086	0.0525	0.2904	0.0707	0.2836	0.0775	0.3151	0.0460
24	29.20	0.3333	0.2595	0.0738	3.3742	0.2957	0.0376	0.2770	0.0564	0.2727	0.0606	0.3018	0.0315
25	28.90	0.3056	0.2524	0.0532	3.3638	0.2861	0.0194	0.2669	0.0386	0.2646	0.0409	0.2919	0.0137
26	28.70	0.2778	0.2477	0.0301	3.3569	0.2798	0.0020	0.2603	0.0175	0.2593	0.0185	0.2853	0.0075
27	27.10	0.2500	0.2120	0.0380	3.2995	0.2300	0.0200	0.2091	0.0409	0.2184	0.0316	0.2333	0.0167
28	26.00	0.2222	0.1894	0.0329	3.2581	0.1974	0.0249	0.1762	0.0460	0.1922	0.0300	0.1991	0.0231
29	24.10	0.1944	0.1539	0.0406	3.1822	0.1453	0.0491	0.1253	0.0691	0.1509	0.0436	0.1444	0.0500
30	22.40	0.1667	0.1261	0.0406	3.1091	0.1048	0.0619	0.0873	0.0794	0.1186	0.0481	0.1018	0.0648
31	21.60	0.1389	0.1143	0.0246	3.0727	0.0880	0.0509	0.0721	0.0668	0.1050	0.0339	0.0843	0.0546
32	20.50	0.1111	0.0994	0.0117	3.0204	0.0675	0.0436	0.0541	0.0570	0.0880	0.0231	0.0631	0.0480
33	19.70	0.0833	0.0895	0.0062	2.9806	0.0545	0.0288	0.0430	0.0403	0.0768	0.0065	0.0499	0.0335
34	19.40	0.0556	0.0860	0.0305	2.9653	0.0501	0.0055	0.0393	0.0162	0.0729	0.0173	0.0454	0.0102
35	18.40	0.0278	0.0751	0.0473	2.9124	0.0369	0.0092	0.0286	0.0008	0.0608	0.0330	0.0323	0.0045

n	35	Distribución	NORMAL	LOG NORMAL	EVI - GUMBEL	PEARSON III	LOG PEARSON III
Significación	0.05	Δmax	0.1007	0.0753	0.0828	0.0783	0.0829
Δcrítico	0.2248		Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
		Mejor ajuste	Mejor ajuste de todas				

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

### Anexo 04: Precipitación Máxima en 24 hrs para diferentes tiempos de retorno. Distribución Log Normal. Estación: El Limón

T	P(X<=XT)	LOG NORMAL			Pmax (mm)	Pmax(corre g.) (mm)
		KT	XT	e^XT		
2	50.00%	0.0000	3.5724	35.60	35.60	40.23
3	33.33%	0.4307	3.7314	41.74	41.74	47.16
5	20.00%	0.8416	3.8831	48.58	48.58	54.89
10	10.00%	1.2816	4.0456	57.14	57.14	64.57
20	5.00%	1.6449	4.1797	65.35	65.35	73.84
25	4.00%	1.7507	4.2188	67.95	67.95	76.78
50	2.00%	2.0537	4.3307	76.00	76.00	85.88
100	1.00%	2.3263	4.4313	84.04	84.04	94.97
200	0.50%	2.5758	4.5235	92.15	92.15	104.13
300	0.33%	2.7131	4.5741	96.94	96.94	109.55
500	0.20%	2.8782	4.6351	103.04	103.04	116.43

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

### Anexo 05: Precipitación de diseño para duración menores a 24hrs. Estación: El Limón

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	11.61	15.85	18.64	21.32	22.17	24.79	27.42	30.06	33.61
0.33	20	13.81	18.84	22.17	25.35	26.36	29.48	32.60	35.75	39.97
0.50	30	15.28	20.85	24.53	28.05	29.17	32.63	36.08	39.56	44.23
0.67	40	16.42	22.41	26.36	30.15	31.35	35.06	38.77	42.51	47.53
0.83	50	17.37	23.69	27.87	31.88	33.15	37.07	41.00	44.95	50.26
1.00	60	18.18	24.80	29.17	33.36	34.69	38.80	42.91	47.05	52.60
1.50	90	20.11	27.45	32.29	36.92	38.39	42.94	47.48	52.07	58.22
2.00	120	21.61	29.49	34.69	39.67	41.26	46.14	51.03	55.95	62.56
4.00	240	25.70	35.07	41.26	47.18	49.06	54.87	60.68	66.54	74.39
6.00	360	28.45	38.81	45.66	52.21	54.29	60.72	67.15	73.63	82.33
7.00	420	29.56	40.34	47.45	54.27	56.43	63.11	69.79	76.53	85.56
8.00	480	30.57	41.71	49.06	56.11	58.34	65.25	72.16	79.12	88.47
10.00	600	32.32	44.10	51.88	59.33	61.69	69.00	76.30	83.66	93.55
11.00	660	33.10	45.16	53.13	60.76	63.18	70.66	78.14	85.68	95.80
12.00	720	33.83	46.16	54.30	62.09	64.57	72.21	79.86	87.57	97.91
24.00	1440	40.23	54.89	64.57	73.84	76.78	85.88	94.97	104.13	116.43

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 06: Intensidades de diseño para duración menores a 24 hrs. Estación: El Limón

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	69.68	95.07	111.84	127.90	132.99	148.74	164.49	180.37	201.67
0.33	20	41.43	56.53	66.50	76.05	79.08	88.44	97.81	107.25	119.91
0.50	30	30.57	41.71	49.06	56.11	58.34	65.25	72.16	79.12	88.47
0.67	40	24.63	33.61	39.54	45.22	47.02	52.59	58.16	63.77	71.30
0.83	50	20.84	28.43	33.45	38.25	39.77	44.48	49.19	53.94	60.31
1.00	60	18.18	24.80	29.17	33.36	34.69	38.80	42.91	47.05	52.60
1.50	90	13.41	18.30	21.52	24.61	25.59	28.63	31.66	34.71	38.81
2.00	120	10.81	14.75	17.35	19.84	20.63	23.07	25.51	27.97	31.28
4.00	240	6.43	8.77	10.31	11.80	12.27	13.72	15.17	16.63	18.60
6.00	360	4.74	6.47	7.61	8.70	9.05	10.12	11.19	12.27	13.72
7.00	420	4.22	5.76	6.78	7.75	8.06	9.02	9.97	10.93	12.22
8.00	480	3.82	5.21	6.13	7.01	7.29	8.16	9.02	9.89	11.06
10.00	600	3.23	4.41	5.19	5.93	6.17	6.90	7.63	8.37	9.35
11.00	660	3.01	4.11	4.83	5.52	5.74	6.42	7.10	7.79	8.71
12.00	720	2.82	3.85	4.52	5.17	5.38	6.02	6.65	7.30	8.16
24.00	1440	1.68	2.29	2.69	3.08	3.20	3.58	3.96	4.34	4.85

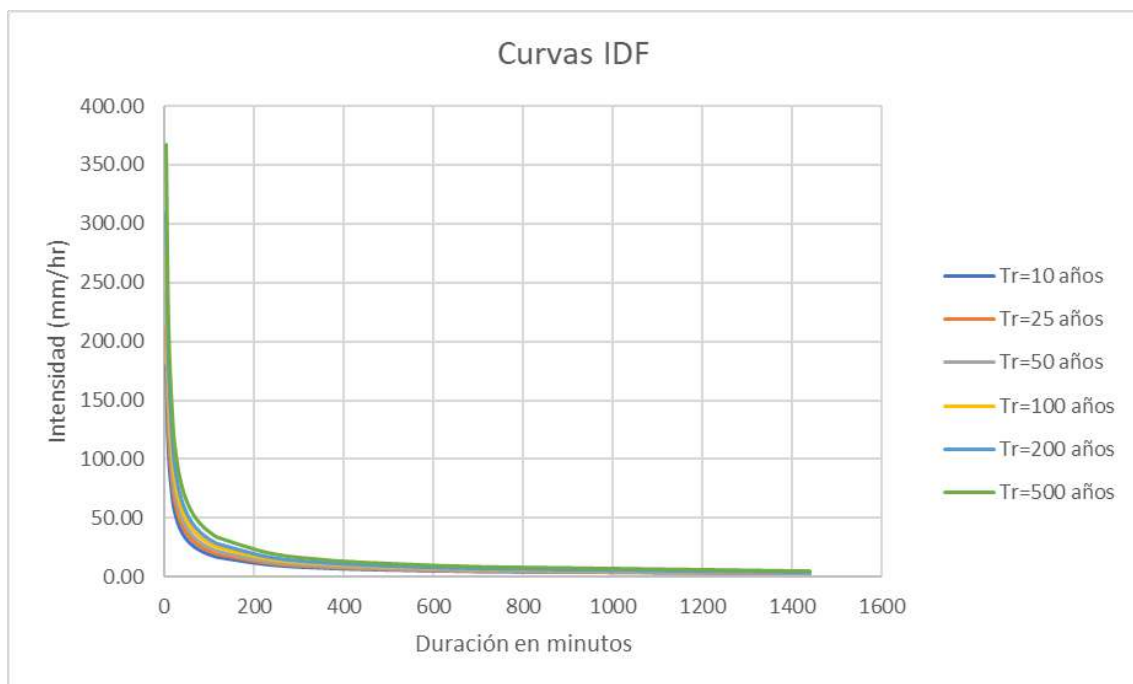
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 07: Intensidades Máximas (Estación El Limón)

Duración (t) minutos	Periodo de Retorno (T) en años					
	10	25	50	100	200	500
5	178.91	211.71	240.47	273.13	310.24	367.12
10	106.38	125.89	142.98	162.41	184.47	218.29
20	63.25	74.85	85.02	96.57	109.68	129.80
30	46.67	55.22	62.73	71.25	80.92	95.76
40	37.61	44.51	50.55	57.42	65.22	77.18
50	31.81	37.65	42.76	48.57	55.17	65.28
60	27.75	32.84	37.30	42.36	48.12	56.94
70	24.72	29.25	33.23	37.74	42.86	50.72
80	22.36	26.46	30.06	34.14	38.78	45.89
90	20.47	24.23	27.52	31.26	35.50	42.01
100	18.92	22.39	25.43	28.88	32.80	38.82
110	17.61	20.84	23.67	26.89	30.54	36.14
120	16.50	19.52	22.18	25.19	28.61	33.86
240	9.81	11.61	13.19	14.98	17.01	20.13
360	7.24	8.57	9.73	11.05	12.55	14.85
420	6.45	7.63	8.67	9.84	11.18	13.23
480	5.83	6.90	7.84	8.91	10.12	11.97
600	4.93	5.84	6.63	7.53	8.56	10.13
660	4.59	5.44	6.17	7.01	7.97	9.43
720	4.30	5.09	5.78	6.57	7.46	8.83
1440	2.56	3.03	3.44	3.91	4.44	5.25

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 08: Curvas I-D-F para la estación El Limón



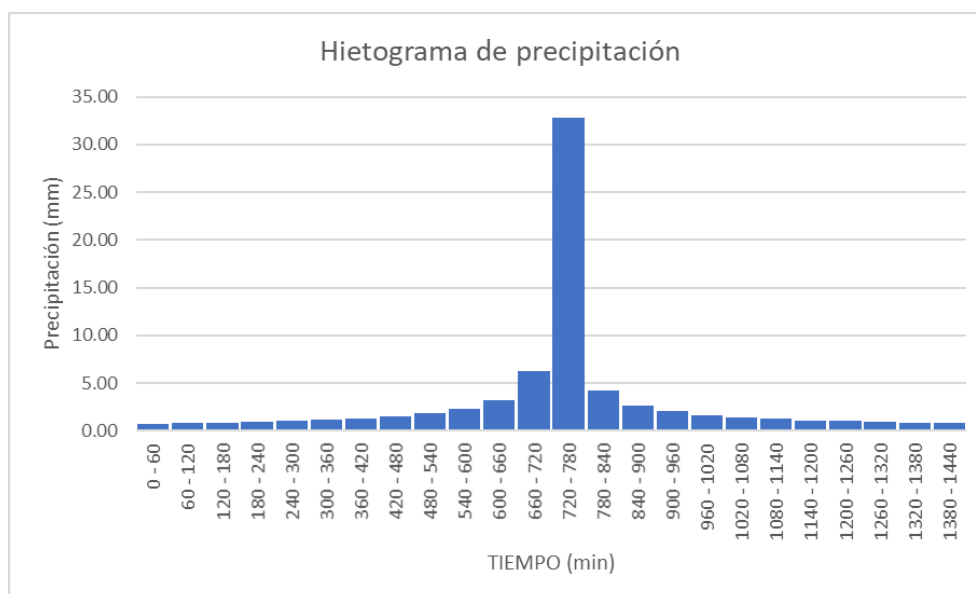
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 09: Precipitaciones alternadas para Tr=25 años. Estación El Limón

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	32.84	32.84	32.84	0 - 60	0.77
120	19.52	39.05	6.21	60 - 120	0.82
180	14.41	43.22	4.17	120 - 180	0.88
240	11.61	46.44	3.22	180 - 240	0.96
300	9.82	49.10	2.66	240 - 300	1.05
360	8.57	51.39	2.29	300 - 360	1.17
420	7.63	53.41	2.02	360 - 420	1.32
480	6.90	55.22	1.81	420 - 480	1.52
540	6.32	56.88	1.65	480 - 540	1.81
600	5.84	58.39	1.52	540 - 600	2.29
660	5.44	59.80	1.41	600 - 660	3.22
720	5.09	61.12	1.32	660 - 720	6.21
780	4.80	62.35	1.24	720 - 780	32.84
840	4.54	63.52	1.17	780 - 840	4.17
900	4.31	64.62	1.11	840 - 900	2.66
960	4.10	65.67	1.05	900 - 960	2.02
1020	3.92	66.68	1.00	960 - 1020	1.65
1080	3.76	67.64	0.96	1020 - 1080	1.41
1140	3.61	68.56	0.92	1080 - 1140	1.24
1200	3.47	69.44	0.88	1140 - 1200	1.11
1260	3.35	70.29	0.85	1200 - 1260	1.00
1320	3.23	71.12	0.82	1260 - 1320	0.92
1380	3.13	71.91	0.79	1320 - 1380	0.85
1440	3.03	72.68	0.77	1380 - 1440	0.79

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 10: Hietograma de Diseño. Tr 25 años. Estación El Limón



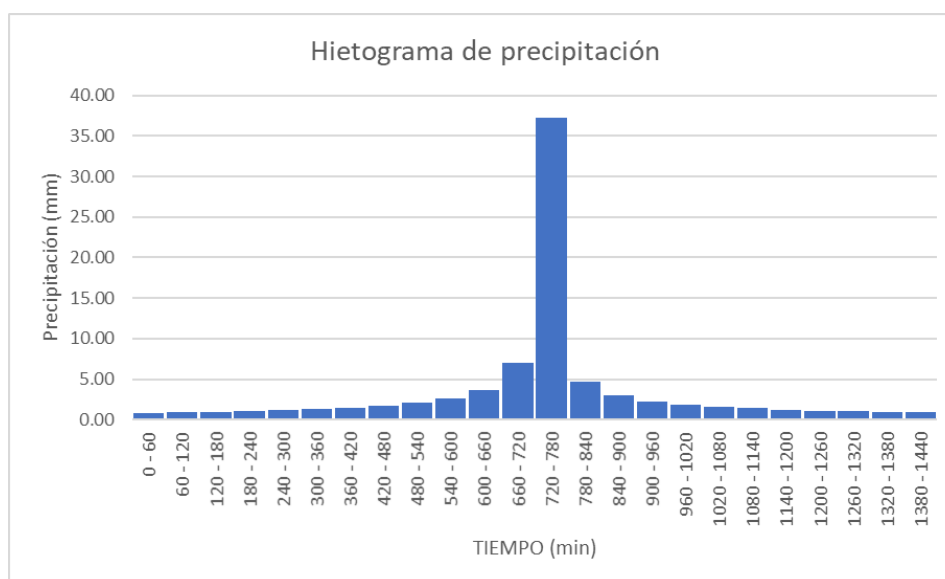
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 11: Precipitaciones alternadas para Tr=50 años. Estación El Limón

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	37.30	37.30	37.30	0 - 60	0.87
120	22.18	44.35	7.06	60 - 120	0.93
180	16.36	49.09	4.73	120 - 180	1.00
240	13.19	52.75	3.66	180 - 240	1.09
300	11.15	55.77	3.03	240 - 300	1.19
360	9.73	58.37	2.60	300 - 360	1.32
420	8.67	60.67	2.29	360 - 420	1.49
480	7.84	62.73	2.06	420 - 480	1.72
540	7.18	64.60	1.87	480 - 540	2.06
600	6.63	66.32	1.72	540 - 600	2.60
660	6.17	67.92	1.60	600 - 660	3.66
720	5.78	69.42	1.49	660 - 720	7.06
780	5.45	70.82	1.40	720 - 780	37.30
840	5.15	72.15	1.32	780 - 840	4.73
900	4.89	73.40	1.26	840 - 900	3.03
960	4.66	74.59	1.19	900 - 960	2.29
1020	4.45	75.73	1.14	960 - 1020	1.87
1080	4.27	76.82	1.09	1020 - 1080	1.60
1140	4.10	77.87	1.05	1080 - 1140	1.40
1200	3.94	78.87	1.00	1140 - 1200	1.26
1260	3.80	79.84	0.97	1200 - 1260	1.14
1320	3.67	80.78	0.93	1260 - 1320	1.05
1380	3.55	81.68	0.90	1320 - 1380	0.97
1440	3.44	82.55	0.87	1380 - 1440	0.90

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 12: Hietograma de Diseño. Tr 50 años. Estación El Limón



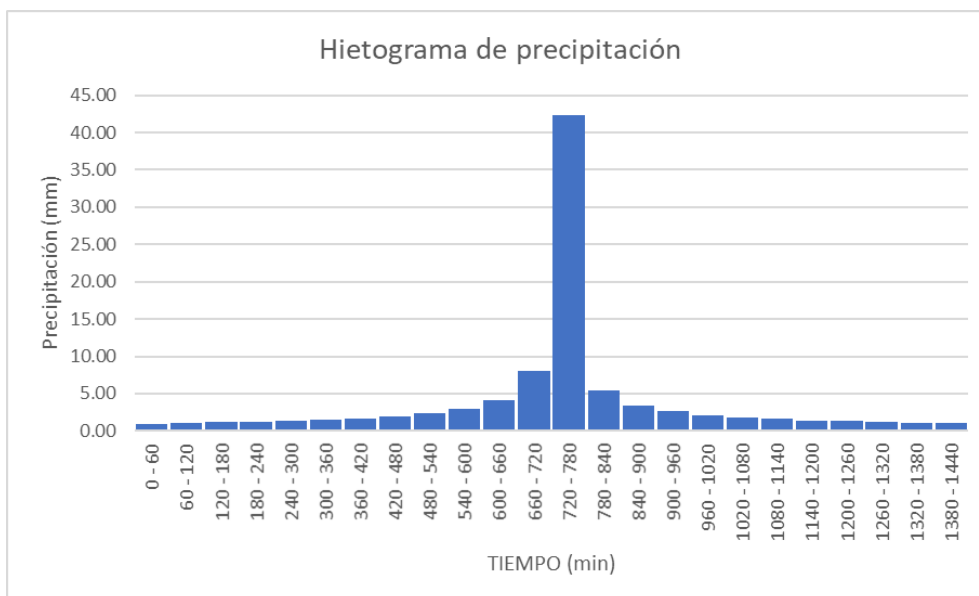
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 13: Precipitaciones alternadas para Tr=100 años. Estación El Limón

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	42.36	42.36	42.36	0 - 60	0.99
120	25.19	50.38	8.02	60 - 120	1.06
180	18.58	55.75	5.37	120 - 180	1.14
240	14.98	59.91	4.16	180 - 240	1.24
300	12.67	63.35	3.44	240 - 300	1.36
360	11.05	66.30	2.95	300 - 360	1.50
420	9.84	68.91	2.61	360 - 420	1.70
480	8.91	71.25	2.34	420 - 480	1.96
540	8.15	73.38	2.13	480 - 540	2.34
600	7.53	75.33	1.96	540 - 600	2.95
660	7.01	77.15	1.82	600 - 660	4.16
720	6.57	78.85	1.70	660 - 720	8.02
780	6.19	80.44	1.59	720 - 780	42.36
840	5.85	81.95	1.50	780 - 840	5.37
900	5.56	83.37	1.43	840 - 900	3.44
960	5.30	84.73	1.36	900 - 960	2.61
1020	5.06	86.02	1.29	960 - 1020	2.13
1080	4.85	87.26	1.24	1020 - 1080	1.82
1140	4.66	88.45	1.19	1080 - 1140	1.59
1200	4.48	89.59	1.14	1140 - 1200	1.43
1260	4.32	90.69	1.10	1200 - 1260	1.29
1320	4.17	91.75	1.06	1260 - 1320	1.19
1380	4.03	92.77	1.03	1320 - 1380	1.10
1440	3.91	93.77	0.99	1380 - 1440	1.03

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 14: Hietograma de Diseño. Tr 100 años. Estación El Limón



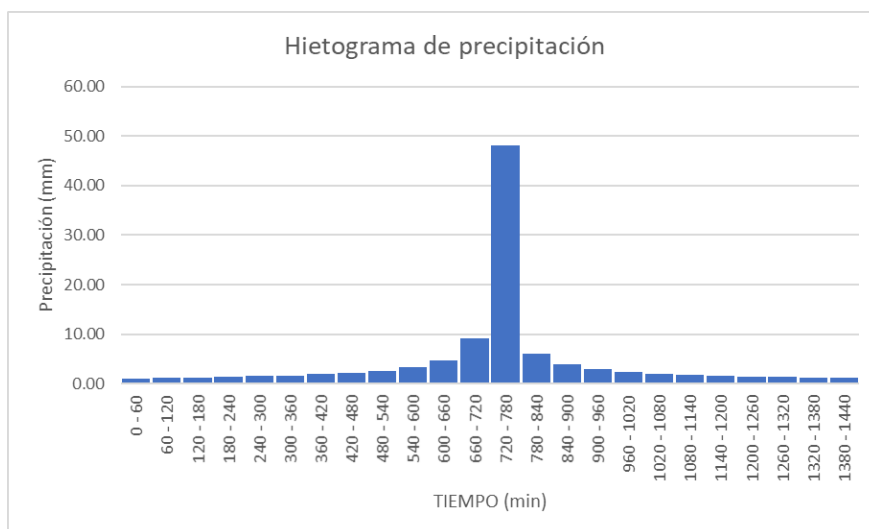
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 15: Precipitaciones alternadas para Tr=200 años. Estación El Limón

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	48.12	48.12	48.12	0 - 60	1.13
120	28.61	57.22	9.10	60 - 120	1.20
180	21.11	63.33	6.10	120 - 180	1.30
240	17.01	68.05	4.72	180 - 240	1.41
300	14.39	71.95	3.90	240 - 300	1.54
360	12.55	75.31	3.36	300 - 360	1.71
420	11.18	78.27	2.96	360 - 420	1.93
480	10.12	80.92	2.66	420 - 480	2.22
540	9.26	83.34	2.42	480 - 540	2.66
600	8.56	85.57	2.22	540 - 600	3.36
660	7.97	87.63	2.06	600 - 660	4.72
720	7.46	89.56	1.93	660 - 720	9.10
780	7.03	91.37	1.81	720 - 780	48.12
840	6.65	93.08	1.71	780 - 840	6.10
900	6.31	94.70	1.62	840 - 900	3.90
960	6.01	96.24	1.54	900 - 960	2.96
1020	5.75	97.71	1.47	960 - 1020	2.42
1080	5.51	99.11	1.41	1020 - 1080	2.06
1140	5.29	100.46	1.35	1080 - 1140	1.81
1200	5.09	101.76	1.30	1140 - 1200	1.62
1260	4.91	103.01	1.25	1200 - 1260	1.47
1320	4.74	104.21	1.20	1260 - 1320	1.35
1380	4.58	105.37	1.16	1320 - 1380	1.25
1440	4.44	106.50	1.13	1380 - 1440	1.16

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 16: Hietograma de Diseño. Tr 200 años. Estación El Limón



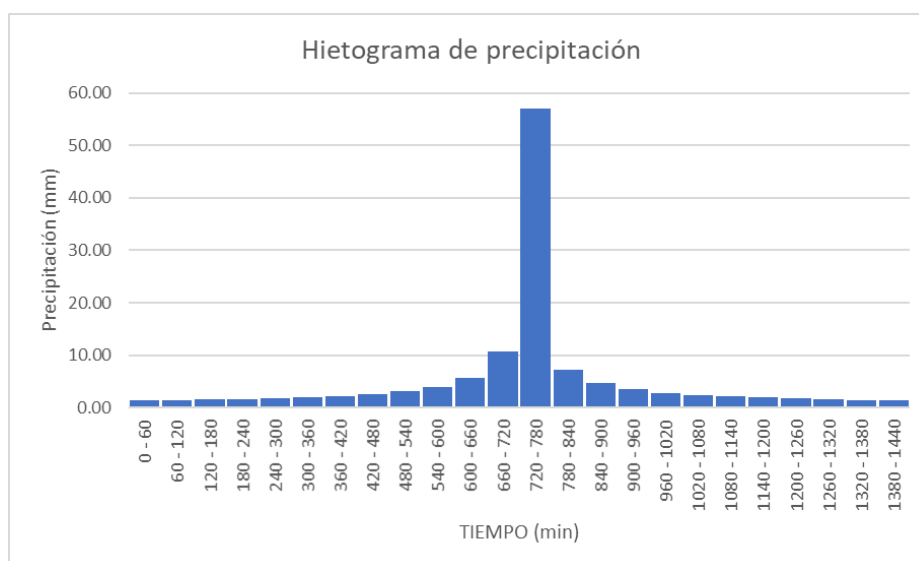
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 17: Precipitaciones alternadas para Tr=500 años. Estación El Limón

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	56.94	56.94	56.94	0 - 60	1.33
120	33.86	67.71	10.77	60 - 120	1.43
180	24.98	74.94	7.22	120 - 180	1.53
240	20.13	80.53	5.59	180 - 240	1.66
300	17.03	85.15	4.62	240 - 300	1.82
360	14.85	89.12	3.97	300 - 360	2.02
420	13.23	92.62	3.50	360 - 420	2.28
480	11.97	95.76	3.14	420 - 480	2.63
540	10.96	98.62	2.86	480 - 540	3.14
600	10.13	101.26	2.63	540 - 600	3.97
660	9.43	103.70	2.44	600 - 660	5.59
720	8.83	105.98	2.28	660 - 720	10.77
780	8.32	108.12	2.14	720 - 780	56.94
840	7.87	110.14	2.02	780 - 840	7.22
900	7.47	112.06	1.92	840 - 900	4.62
960	7.12	113.88	1.82	900 - 960	3.50
1020	6.80	115.62	1.74	960 - 1020	2.86
1080	6.52	117.29	1.66	1020 - 1080	2.44
1140	6.26	118.88	1.60	1080 - 1140	2.14
1200	6.02	120.42	1.53	1140 - 1200	1.92
1260	5.80	121.89	1.48	1200 - 1260	1.74
1320	5.61	123.32	1.43	1260 - 1320	1.60
1380	5.42	124.70	1.38	1320 - 1380	1.48
1440	5.25	126.03	1.33	1380 - 1440	1.38

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 18: Hietograma de Diseño. Tr 500 años. Estación El Limón



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 19: Análisis de Datos Dudosos. Estación: Jayanca

# De datos	35	35		
Máximo	112.50	4.72	CORRECTO	
Mínimo	4.00	1.39	CORRECTO	
Promedio	26.02	2.84		
Desviación Estándar	27.87	0.90		
Coef. De Asimetría	2.18	0.38		
Kn	2.628	2.628		
XH	5.22	Umbral Superior		
PH	184.34	Precipitación maxima Aceptable (mm)		
XL	0.46	Umbral Inferior		
PL	1.59	Precipitación minima Aceptable (mm)		

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 20: Tabla de distribución de probabilidades de la Estación: Jayanca

N	T	P(X>=XT)	Valor Observado		NORMAL		LOGNORMAL		EV1 GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			P24	Log(P24)	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO
1	36.00	2.78%	112.50	4.72	1.91	79.37	1.91	96.68	2.33	91.03	2.59	98.29	2.08	178.68
2	18.00	5.56%	110.00	4.70	1.59	70.42	1.59	72.30	1.78	75.66	1.87	78.01	1.68	92.50
3	12.00	8.33%	96.30	4.57	1.38	64.56	1.38	59.77	1.45	66.53	1.45	66.39	1.43	63.43
4	9.00	11.11%	52.10	3.95	1.22	60.03	1.22	51.61	1.22	59.95	1.16	58.25	1.24	48.71
5	7.20	13.89%	41.60	3.73	1.09	56.26	1.09	45.66	1.03	54.77	0.93	52.01	1.09	39.77
6	6.00	16.67%	39.50	3.68	0.97	52.98	0.97	41.04	0.88	50.46	0.75	46.95	0.96	33.75
7	5.14	19.44%	35.20	3.56	0.86	50.03	0.86	37.30	0.74	46.75	0.60	42.70	0.84	29.40
8	4.50	22.22%	35.00	3.56	0.76	47.33	0.76	34.17	0.63	43.49	0.47	39.05	0.73	26.11
9	4.00	25.00%	30.90	3.43	0.67	44.82	0.67	31.49	0.52	40.55	0.35	35.84	0.64	23.53
10	3.60	27.78%	29.90	3.40	0.59	42.45	0.59	29.16	0.43	37.87	0.25	32.99	0.54	21.45
11	3.27	30.56%	29.30	3.38	0.51	40.19	0.51	27.10	0.34	35.40	0.16	30.41	0.46	19.73
12	3.00	33.33%	28.10	3.34	0.43	38.02	0.43	25.26	0.25	33.09	0.07	28.08	0.38	18.29
13	2.77	36.11%	27.10	3.30	0.36	35.93	0.36	23.59	0.18	30.92	0.00	25.93	0.30	17.06
14	2.57	38.89%	23.60	3.16	0.28	33.88	0.28	22.08	0.10	28.87	-0.07	23.96	0.22	16.00
15	2.40	41.67%	19.70	2.98	0.21	31.88	0.21	20.69	0.03	26.91	-0.14	22.12	0.15	15.07
16	2.25	44.44%	19.50	2.97	0.14	29.91	0.14	19.41	-0.04	25.02	-0.20	20.41	0.08	14.26
17	2.12	47.22%	18.80	2.93	0.07	27.96	0.07	18.22	-0.10	23.21	-0.26	18.81	0.01	13.53
18	2.00	50.00%	16.30	2.79	0.00	26.02	0.00	17.11	-0.16	21.44	-0.31	17.30	-0.06	12.89
19	1.89	52.78%	15.40	2.73	-0.07	24.08	-0.07	16.06	-0.23	19.72	-0.36	15.88	-0.13	12.31
20	1.80	55.56%	14.40	2.67	-0.14	22.13	-0.14	15.08	-0.29	18.03	-0.41	14.53	-0.20	11.78
21	1.71	58.33%	12.40	2.52	-0.21	20.16	-0.21	14.14	-0.35	16.37	-0.46	13.25	-0.27	11.30
22	1.64	61.11%	11.50	2.44	-0.28	18.16	-0.28	13.25	-0.41	14.72	-0.50	12.04	-0.34	10.87
23	1.57	63.89%	10.50	2.35	-0.36	16.11	-0.36	12.40	-0.46	13.08	-0.54	10.88	-0.41	10.47
24	1.50	66.67%	9.40	2.24	-0.43	14.02	-0.43	11.59	-0.52	11.44	-0.58	9.78	-0.48	10.10
25	1.44	69.44%	9.30	2.23	-0.51	11.85	-0.51	10.80	-0.58	9.78	-0.62	8.72	-0.55	9.76
26	1.38	72.22%	8.20	2.10	-0.59	9.59	-0.59	10.04	-0.64	8.10	-0.66	7.71	-0.63	9.44
27	1.33	75.00%	7.70	2.04	-0.67	7.22	-0.67	9.29	-0.70	6.38	-0.69	6.75	-0.70	9.15
28	1.29	77.78%	7.60	2.03	-0.76	4.71	-0.76	8.56	-0.77	4.61	-0.72	5.82	-0.79	8.88
29	1.24	80.56%	6.50	1.87	-0.86	2.01	-0.86	7.85	-0.83	2.76	-0.76	4.93	-0.87	8.63
30	1.20	83.33%	6.40	1.86	-0.97	-0.94	-0.97	7.13	-0.90	0.81	-0.79	4.08	-0.96	8.39
31	1.16	86.11%	6.40	1.86	-1.09	-4.22	-1.09	6.41	-0.98	-1.30	-0.82	3.27	-1.07	8.17
32	1.13	88.89%	6.30	1.84	-1.22	-7.99	-1.22	5.67	-1.06	-3.62	-0.84	2.51	-1.18	7.97
33	1.09	91.67%	5.00	1.61	-1.38	-12.52	-1.38	4.90	-1.16	-6.30	-0.87	1.80	-1.32	7.79
34	1.06	94.44%	4.30	1.46	-1.59	-18.38	-1.59	4.05	-1.28	-9.58	-0.89	1.16	-1.49	7.63
35	1.03	97.22%	4.00	1.39	-1.91	-27.33	-1.91	3.03	-1.45	-14.25	-0.91	0.67	-1.74	7.51

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 21: Prueba de Bondad para la estación: Jayanca

m	Xm	Fo(Xm)	NORMAL		LOG NORMAL			EVI - GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			F(Xm) Normal	Δnormal	Ym=log(Xm)	F(Ym) Log Normal	Δlog normal	F(Xm) EVI Gumbel	ΔEVI Gumbel	F(Xm) Pearson III	Δ Pearson III	F(Ym) Log Pearson III	Δ Log Pearson III
1	112.50	0.9722	0.9990	0.0268	4.7230	0.9813	0.0091	0.9896	0.0173	0.9825	0.0103	0.9725	0.0003
2	110.00	0.9444	0.9987	0.0543	4.7005	0.9802	0.0357	0.9883	0.0439	0.9809	0.0365	0.9712	0.0268
3	96.30	0.9167	0.9942	0.0775	4.5675	0.9719	0.0553	0.9781	0.0615	0.9695	0.0529	0.9624	0.0458
4	52.10	0.8889	0.8253	0.0636	3.9532	0.8909	0.0020	0.8445	0.0444	0.8593	0.0296	0.8866	0.0023
5	41.60	0.8611	0.7120	0.1492	3.7281	0.8370	0.0241	0.7603	0.1008	0.7962	0.0649	0.8388	0.0223
6	39.50	0.8333	0.6857	0.1476	3.6763	0.8225	0.0108	0.7394	0.0939	0.7804	0.0529	0.8260	0.0074
7	35.20	0.8056	0.6291	0.1765	3.5610	0.7875	0.0181	0.6921	0.1134	0.7440	0.0615	0.7948	0.0107
8	35.00	0.7778	0.6264	0.1514	3.5553	0.7856	0.0079	0.6898	0.0880	0.7422	0.0356	0.7932	0.0154
9	30.90	0.7500	0.5695	0.1805	3.4308	0.7433	0.0067	0.6386	0.1114	0.7012	0.0488	0.7553	0.0053
10	29.90	0.7222	0.5554	0.1669	3.3979	0.7315	0.0092	0.6252	0.0970	0.6902	0.0320	0.7446	0.0224
11	29.30	0.6944	0.5468	0.1476	3.3776	0.7240	0.0296	0.6171	0.0774	0.6834	0.0110	0.7378	0.0434
12	28.10	0.6667	0.5298	0.1369	3.3358	0.7084	0.0417	0.6004	0.0663	0.6693	0.0027	0.7236	0.0569
13	27.10	0.6389	0.5155	0.1234	3.2995	0.6945	0.0556	0.5861	0.0528	0.6571	0.0182	0.7109	0.0720
14	23.60	0.6111	0.4654	0.1457	3.1612	0.6390	0.0279	0.5339	0.0772	0.6103	0.0008	0.6595	0.0484
15	19.70	0.5833	0.4103	0.1730	2.9806	0.5620	0.0213	0.4719	0.1114	0.5498	0.0335	0.5862	0.0029
16	19.50	0.5556	0.4075	0.1481	2.9704	0.5576	0.0020	0.4686	0.0869	0.5465	0.0091	0.5819	0.0264
17	18.80	0.5278	0.3978	0.1300	2.9339	0.5416	0.0138	0.4571	0.0706	0.5345	0.0067	0.5663	0.0386
18	16.30	0.5000	0.3636	0.1364	2.7912	0.4787	0.0213	0.4155	0.0845	0.4886	0.0114	0.5040	0.0040
19	15.40	0.4722	0.3516	0.1207	2.7344	0.4538	0.0185	0.4004	0.0719	0.4709	0.0013	0.4787	0.0065
20	14.40	0.4444	0.3383	0.1061	2.6672	0.4245	0.0199	0.3835	0.0610	0.4504	0.0059	0.4487	0.0042
21	12.40	0.4167	0.3125	0.1042	2.5177	0.3611	0.0556	0.3496	0.0670	0.4065	0.0102	0.3820	0.0346
22	11.50	0.3889	0.3012	0.0877	2.4423	0.3304	0.0585	0.3344	0.0545	0.3854	0.0035	0.3491	0.0398
23	10.50	0.3611	0.2888	0.0723	2.3514	0.2948	0.0663	0.3176	0.0435	0.3609	0.0002	0.3103	0.0509
24	9.40	0.3333	0.2754	0.0579	2.2407	0.2540	0.0793	0.2992	0.0341	0.3325	0.0008	0.2651	0.0682
25	9.30	0.3056	0.2742	0.0313	2.2300	0.2503	0.0553	0.2976	0.0080	0.3298	0.0243	0.2609	0.0447
26	8.20	0.2778	0.2613	0.0165	2.1041	0.2082	0.0696	0.2794	0.0016	0.2997	0.0219	0.2134	0.0644
27	7.70	0.2500	0.2555	0.0055	2.0412	0.1888	0.0612	0.2713	0.0213	0.2854	0.0354	0.1914	0.0586
28	7.60	0.2222	0.2543	0.0321	2.0281	0.1849	0.0373	0.2696	0.0474	0.2825	0.0603	0.1870	0.0353
29	6.50	0.1944	0.2418	0.0474	1.8718	0.1424	0.0520	0.2519	0.0574	0.2494	0.0550	0.1384	0.0561
30	6.40	0.1667	0.2407	0.0740	1.8563	0.1386	0.0281	0.2503	0.0836	0.2463	0.0796	0.1340	0.0326
31	6.40	0.1389	0.2407	0.1018	1.8563	0.1386	0.0003	0.2503	0.1114	0.2463	0.1074	0.1340	0.0049
32	6.30	0.1111	0.2396	0.1285	1.8405	0.1348	0.0237	0.2487	0.1376	0.2432	0.1321	0.1297	0.0186
33	5.00	0.0833	0.2253	0.1420	1.6094	0.0870	0.0036	0.2282	0.1449	0.2007	0.1174	0.0759	0.0075
34	4.30	0.0556	0.2179	0.1623	1.4586	0.0635	0.0079	0.2175	0.1619	0.1763	0.1207	0.0505	0.0051
35	4.00	0.0278	0.2147	0.1869	1.3863	0.0541	0.0263	0.2129	0.1851	0.1655	0.1377	0.0408	0.0130

n	35	Distribución	NORMAL	LOG NORMAL	EVI - GUMBEL	PEARSON III	LOG PEARSON III
Significación	0.05	Δmax	0.1869	0.0793	0.1851	0.1377	0.0720
Δcrítico	0.2248		Correcto	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto
		Mejor ajuste					Mejor ajuste de todas

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 22: Precipitación Máxima en 24 hrs para diferentes tiempos de retorno. Distribución Log Pearson III. Estación: Jayanca

T	P(X<=XT)	LOG PEARSON III			Pmax (mm)	Pmax(corre g.) (mm)
		KT	XT	e^XT		
2	50.00%	-0.0632	2.7823	16.16	16.16	18.26
3	33.33%	0.3759	3.1795	24.04	24.04	27.16
5	20.00%	0.8172	3.5788	35.83	35.83	40.49
10	10.00%	1.3147	4.0288	56.19	56.19	63.50
20	5.00%	1.7453	4.4184	82.96	82.96	93.75
25	4.00%	1.8742	4.5350	93.22	93.22	105.34
50	2.00%	2.2521	4.8768	131.22	131.22	148.27
100	1.00%	2.6032	5.1945	180.27	180.27	203.71
200	0.50%	2.9340	5.4937	243.15	243.15	274.76
300	0.33%	3.1198	5.6618	287.66	287.66	325.06
500	0.20%	3.3471	5.8674	353.33	353.33	399.26

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

**Anexo 23: Precipitación de diseño para duración menores a 24hrs. Estación:  
Jayanca**

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	5.27	11.69	18.33	27.06	30.41	42.80	58.80	79.32	115.26
0.33	20	6.27	13.90	21.80	32.18	36.16	50.90	69.93	94.32	137.06
0.50	30	6.94	15.38	24.12	35.62	40.02	56.33	77.39	104.39	151.69
0.67	40	7.45	16.53	25.92	38.27	43.01	60.53	83.16	112.17	163.00
0.83	50	7.88	17.48	27.41	40.47	45.47	64.01	87.93	118.61	172.35
1.00	60	8.25	18.29	28.69	42.35	47.59	66.99	92.03	124.14	180.39
1.50	90	9.13	20.24	31.75	46.87	52.67	74.14	101.85	137.38	199.63
2.00	120	9.81	21.75	34.12	50.37	56.60	79.67	109.45	147.62	214.52
4.00	240	11.66	25.87	40.57	59.90	67.31	94.74	130.16	175.56	255.11
6.00	360	12.91	28.63	44.90	66.29	74.49	104.85	144.04	194.29	282.32
7.00	420	13.42	29.75	46.66	68.89	77.41	108.96	149.70	201.92	293.41
8.00	480	13.87	30.76	48.25	71.23	80.04	112.66	154.78	208.77	303.37
10.00	600	14.67	32.53	51.01	75.32	84.64	119.13	163.66	220.75	320.78
11.00	660	15.02	33.31	52.24	77.14	86.68	122.00	167.61	226.07	328.51
12.00	720	15.35	34.05	53.39	78.83	88.58	124.68	171.30	231.05	335.74
24.00	1440	18.26	40.49	63.50	93.75	105.34	148.27	203.71	274.76	399.26

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

**Anexo 24: Intensidades de diseño para duración menores a 24 hrs. Estación:  
Jayanca**

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	31.62	70.13	109.98	162.37	182.46	256.82	352.83	475.90	691.54
0.33	20	18.80	41.70	65.39	96.55	108.49	152.70	209.79	282.97	411.19
0.50	30	13.87	30.76	48.25	71.23	80.04	112.66	154.78	208.77	303.37
0.67	40	11.18	24.79	38.88	57.41	64.51	90.80	124.74	168.26	244.50
0.83	50	9.46	20.97	32.89	48.56	54.57	76.81	105.52	142.33	206.82
1.00	60	8.25	18.29	28.69	42.35	47.59	66.99	92.03	124.14	180.39
1.50	90	6.09	13.50	21.17	31.25	35.11	49.42	67.90	91.59	133.09
2.00	120	4.90	10.88	17.06	25.18	28.30	39.83	54.72	73.81	107.26
4.00	240	2.92	6.47	10.14	14.97	16.83	23.68	32.54	43.89	63.78
6.00	360	2.15	4.77	7.48	11.05	12.41	17.47	24.01	32.38	47.05
7.00	420	1.92	4.25	6.67	9.84	11.06	15.57	21.39	28.85	41.92
8.00	480	1.73	3.85	6.03	8.90	10.01	14.08	19.35	26.10	37.92
10.00	600	1.47	3.25	5.10	7.53	8.46	11.91	16.37	22.08	32.08
11.00	660	1.37	3.03	4.75	7.01	7.88	11.09	15.24	20.55	29.86
12.00	720	1.28	2.84	4.45	6.57	7.38	10.39	14.27	19.25	27.98
24.00	1440	0.76	1.69	2.65	3.91	4.39	6.18	8.49	11.45	16.64

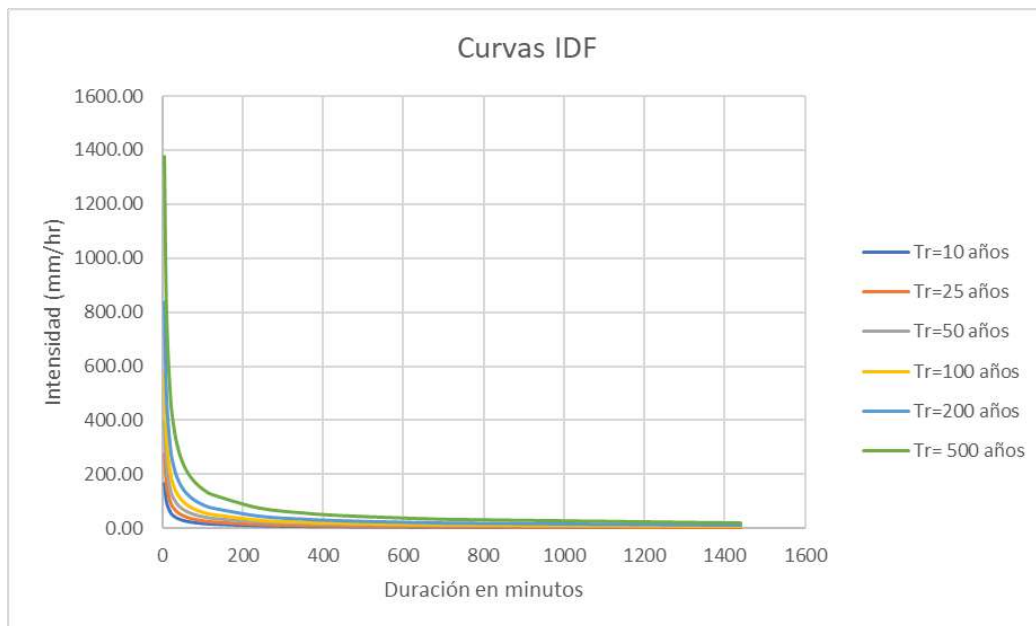
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 25: Intensidades Máximas (Estación Jayanca)

Duración (t) minutos	Periodo de Retorno (T) en años					
	10	25	50	100	200	500
5	166.33	272.90	396.90	577.25	839.53	1377.47
10	98.90	162.27	236.00	343.23	499.19	819.05
20	58.81	96.49	140.33	204.09	296.82	487.01
30	43.39	71.19	103.53	150.57	218.99	359.31
40	34.97	57.37	83.44	121.35	176.49	289.58
50	29.58	48.53	70.58	102.65	149.29	244.95
60	25.80	42.33	61.56	89.53	130.21	213.65
70	22.98	37.71	54.84	79.76	116.00	190.32
80	20.79	34.11	49.61	72.16	104.94	172.18
90	19.03	31.23	45.42	66.06	96.07	157.63
100	17.59	28.86	41.97	61.04	88.77	145.65
110	16.37	26.87	39.07	56.83	82.65	135.60
120	15.34	25.17	36.60	53.24	77.42	127.04
240	9.12	14.97	21.76	31.65	46.04	75.54
360	6.73	11.04	16.06	23.35	33.97	55.73
420	5.99	9.84	14.30	20.80	30.26	49.64
480	5.42	8.90	12.94	18.82	27.37	44.91
600	4.59	7.53	10.95	15.92	23.16	37.99
660	4.27	7.01	10.19	14.82	21.56	35.37
720	4.00	6.57	9.55	13.89	20.20	33.14
1440	2.38	3.90	5.68	8.26	12.01	19.70

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 26: Curvas I-D-F para la estación Jayanca



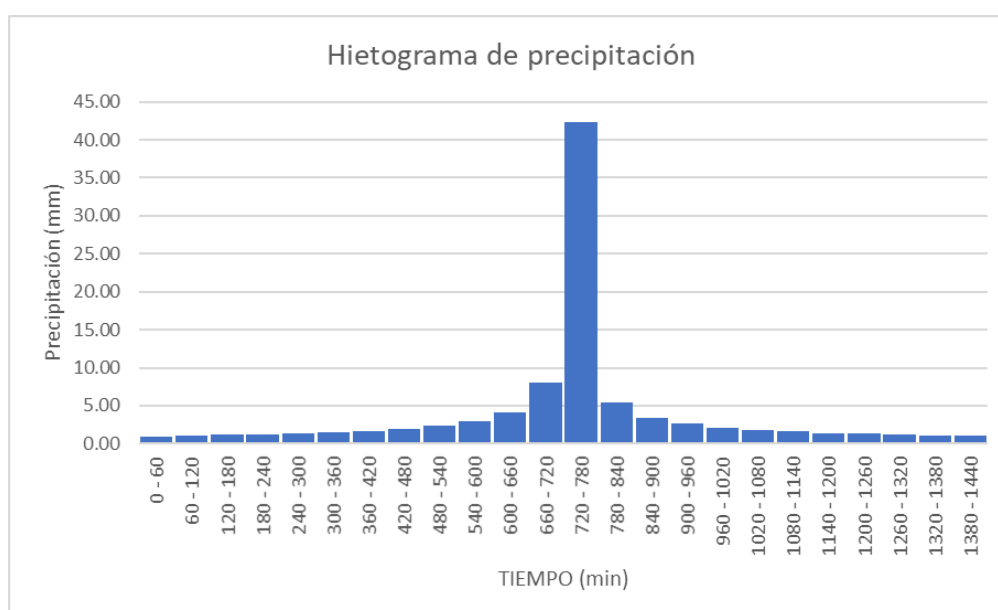
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 27: Precipitaciones alternadas para Tr=25 años. Estación Jayanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	42.33	42.33	42.33	0 - 60	0.99
120	25.17	50.34	8.01	60 - 120	1.06
180	18.57	55.71	5.37	120 - 180	1.14
240	14.97	59.86	4.15	180 - 240	1.24
300	12.66	63.29	3.43	240 - 300	1.35
360	11.04	66.25	2.95	300 - 360	1.50
420	9.84	68.85	2.60	360 - 420	1.70
480	8.90	71.19	2.34	420 - 480	1.96
540	8.15	73.31	2.13	480 - 540	2.34
600	7.53	75.27	1.96	540 - 600	2.95
660	7.01	77.09	1.82	600 - 660	4.15
720	6.57	78.78	1.70	660 - 720	8.01
780	6.18	80.37	1.59	720 - 780	42.33
840	5.85	81.88	1.50	780 - 840	5.37
900	5.55	83.30	1.42	840 - 900	3.43
960	5.29	84.66	1.35	900 - 960	2.60
1020	5.06	85.95	1.29	960 - 1020	2.13
1080	4.84	87.19	1.24	1020 - 1080	1.82
1140	4.65	88.37	1.19	1080 - 1140	1.59
1200	4.48	89.51	1.14	1140 - 1200	1.42
1260	4.31	90.61	1.10	1200 - 1260	1.29
1320	4.17	91.67	1.06	1260 - 1320	1.19
1380	4.03	92.70	1.02	1320 - 1380	1.10
1440	3.90	93.69	0.99	1380 - 1440	1.02

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 28: Hietograma de Diseño. Tr 25 años. Estación Jayanca



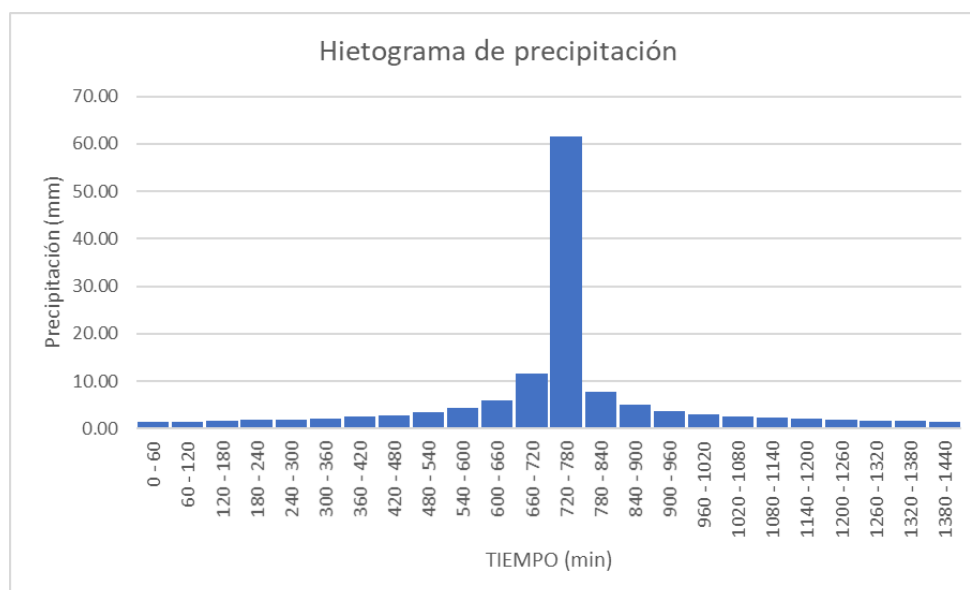
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 29: Precipitaciones alternadas para Tr=50 años. Estación Jayanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	61.56	61.56	61.56	0 - 60	1.44
120	36.60	73.21	11.65	60 - 120	1.54
180	27.01	81.02	7.81	120 - 180	1.66
240	21.76	87.06	6.04	180 - 240	1.80
300	18.41	92.05	4.99	240 - 300	1.97
360	16.06	96.35	4.29	300 - 360	2.19
420	14.30	100.13	3.79	360 - 420	2.47
480	12.94	103.53	3.40	420 - 480	2.85
540	11.85	106.63	3.09	480 - 540	3.40
600	10.95	109.47	2.85	540 - 600	4.29
660	10.19	112.11	2.64	600 - 660	6.04
720	9.55	114.58	2.47	660 - 720	11.65
780	8.99	116.89	2.32	720 - 780	61.56
840	8.51	119.08	2.19	780 - 840	7.81
900	8.08	121.15	2.07	840 - 900	4.99
960	7.70	123.12	1.97	900 - 960	3.79
1020	7.35	125.00	1.88	960 - 1020	3.09
1080	7.04	126.80	1.80	1020 - 1080	2.64
1140	6.76	128.53	1.73	1080 - 1140	2.32
1200	6.51	130.18	1.66	1140 - 1200	2.07
1260	6.28	131.78	1.60	1200 - 1260	1.88
1320	6.06	133.32	1.54	1260 - 1320	1.73
1380	5.86	134.81	1.49	1320 - 1380	1.60
1440	5.68	136.26	1.44	1380 - 1440	1.49

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 30: Hietograma de Diseño. Tr 50 años. Estación Jayanca



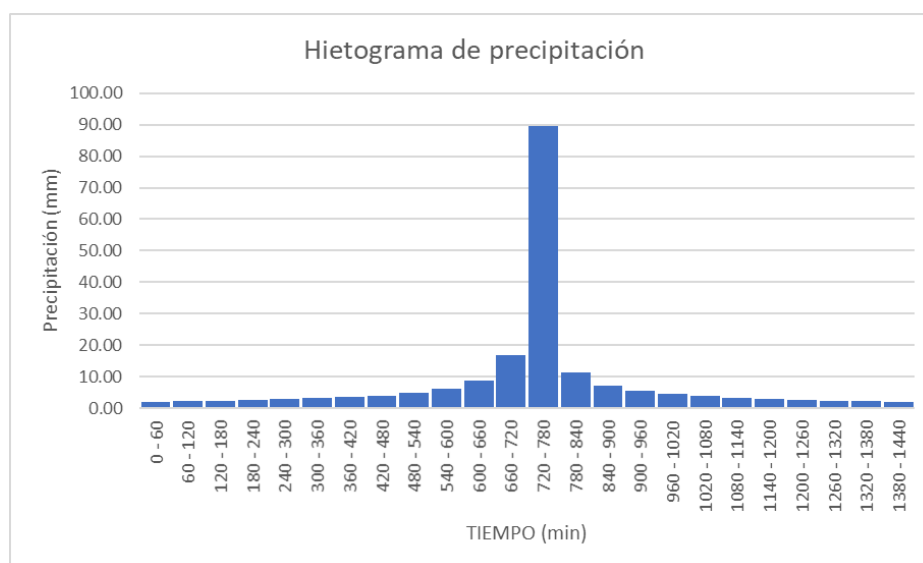
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 31: Precipitaciones alternadas para Tr=100 años. Estación Jayanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	89.53	89.53	89.53	0 - 60	2.10
120	53.24	106.47	16.94	60 - 120	2.24
180	39.28	117.83	11.36	120 - 180	2.41
240	31.65	126.62	8.79	180 - 240	2.62
300	26.78	133.88	7.26	240 - 300	2.87
360	23.35	140.12	6.24	300 - 360	3.18
420	20.80	145.63	5.51	360 - 420	3.59
480	18.82	150.57	4.94	420 - 480	4.14
540	17.23	155.07	4.50	480 - 540	4.94
600	15.92	159.21	4.14	540 - 600	6.24
660	14.82	163.05	3.84	600 - 660	8.79
720	13.89	166.64	3.59	660 - 720	16.94
780	13.08	170.00	3.37	720 - 780	89.53
840	12.37	173.18	3.18	780 - 840	11.36
900	11.75	176.20	3.01	840 - 900	7.26
960	11.19	179.06	2.87	900 - 960	5.51
1020	10.69	181.80	2.73	960 - 1020	4.50
1080	10.25	184.41	2.62	1020 - 1080	3.84
1140	9.84	186.92	2.51	1080 - 1140	3.37
1200	9.47	189.34	2.41	1140 - 1200	3.01
1260	9.13	191.66	2.32	1200 - 1260	2.73
1320	8.81	193.90	2.24	1260 - 1320	2.51
1380	8.52	196.07	2.17	1320 - 1380	2.32
1440	8.26	198.17	2.10	1380 - 1440	2.17

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 32: Hietograma de Diseño. Tr 100 años. Estación Jayanca



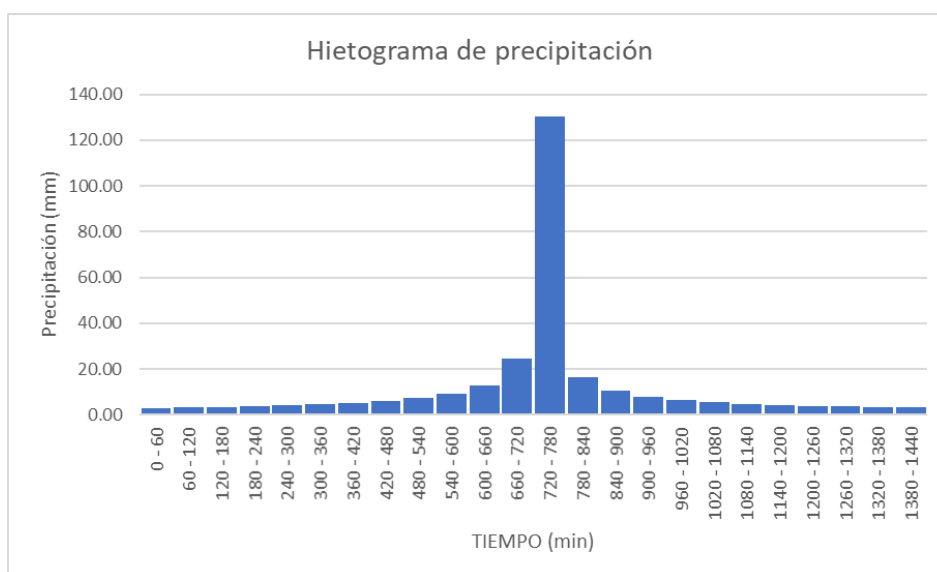
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 33: Precipitaciones alternadas para Tr=200 años. Estación Jayanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	130.21	130.21	130.21	0 - 60	3.05
120	77.42	154.85	24.64	60 - 120	3.26
180	57.12	171.37	16.52	120 - 180	3.51
240	46.04	184.15	12.78	180 - 240	3.81
300	38.94	194.71	10.56	240 - 300	4.17
360	33.97	203.79	9.08	300 - 360	4.62
420	30.26	211.80	8.01	360 - 420	5.21
480	27.37	218.99	7.19	420 - 480	6.02
540	25.06	225.53	6.54	480 - 540	7.19
600	23.16	231.55	6.02	540 - 600	9.08
660	21.56	237.14	5.58	600 - 660	12.78
720	20.20	242.35	5.21	660 - 720	24.64
780	19.02	247.25	4.90	720 - 780	130.21
840	17.99	251.87	4.62	780 - 840	16.52
900	17.08	256.26	4.38	840 - 900	10.56
960	16.28	260.42	4.17	900 - 960	8.01
1020	15.55	264.40	3.98	960 - 1020	6.54
1080	14.90	268.21	3.81	1020 - 1080	5.58
1140	14.31	271.86	3.65	1080 - 1140	4.90
1200	13.77	275.36	3.51	1140 - 1200	4.38
1260	13.27	278.74	3.38	1200 - 1260	3.98
1320	12.82	282.00	3.26	1260 - 1320	3.65
1380	12.40	285.16	3.15	1320 - 1380	3.38
1440	12.01	288.21	3.05	1380 - 1440	3.15

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 34: Hietograma de Diseño. Tr 200 años. Estación Jayanca



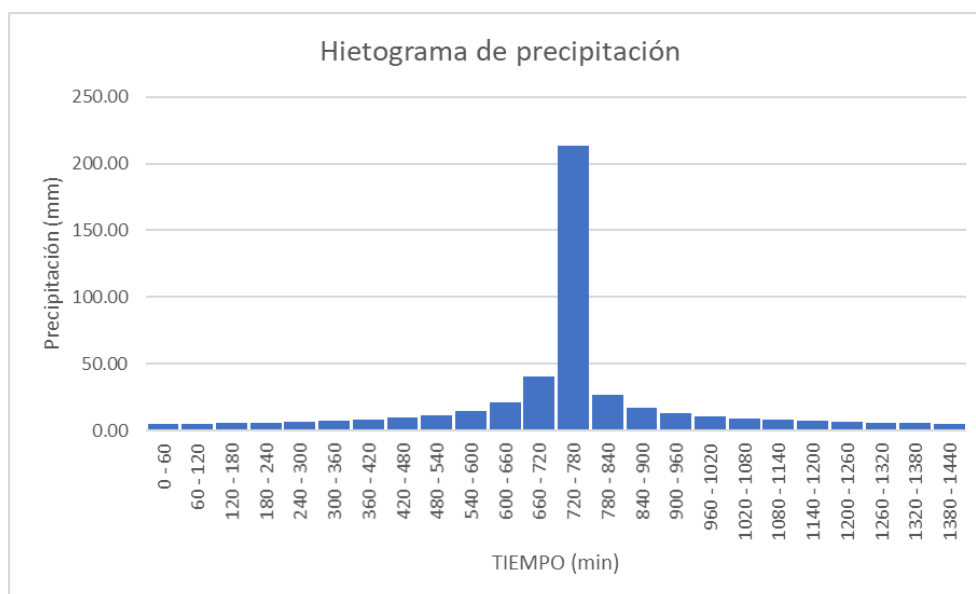
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 35: Precipitaciones alternadas para Tr=500 años. Estación Jayanca

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	213.65	213.65	213.65	0 - 60	5.00
120	127.04	254.07	40.42	60 - 120	5.35
180	93.72	281.17	27.10	120 - 180	5.76
240	75.54	302.14	20.97	180 - 240	6.24
300	63.90	319.48	17.33	240 - 300	6.84
360	55.73	334.38	14.90	300 - 360	7.59
420	49.64	347.51	13.14	360 - 420	8.56
480	44.91	359.31	11.80	420 - 480	9.88
540	41.12	370.05	10.74	480 - 540	11.80
600	37.99	379.92	9.88	540 - 600	14.90
660	35.37	389.09	9.16	600 - 660	20.97
720	33.14	397.64	8.56	660 - 720	40.42
780	31.21	405.68	8.04	720 - 780	213.65
840	29.52	413.26	7.59	780 - 840	27.10
900	28.03	420.45	7.19	840 - 900	17.33
960	26.71	427.29	6.84	900 - 960	13.14
1020	25.52	433.82	6.53	960 - 1020	10.74
1080	24.45	440.06	6.24	1020 - 1080	9.16
1140	23.48	446.05	5.99	1080 - 1140	8.04
1200	22.59	451.81	5.76	1140 - 1200	7.19
1260	21.78	457.35	5.54	1200 - 1260	6.53
1320	21.03	462.70	5.35	1260 - 1320	5.99
1380	20.34	467.87	5.17	1320 - 1380	5.54
1440	19.70	472.88	5.00	1380 - 1440	5.17

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 36: Hietograma de Diseño. Tr 500 años. Estación Jayanca



*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 37: Análisis de Datos Dudosos. Estación: Motupe

# De datos	35	35		
Máximo	151.60	5.02	CORRECTO	
Mínimo	5.50	1.70	CORRECTO	
Promedio	36.25	3.23		
Desviación Estándar	36.72	0.84		
Coef. De Asimetría	2.20	0.31		
Kn	2.628	2.628		
XH	5.43	Umbral Superior		
PH	228.77	Precipitación maxima Aceptable (mm)		
XL	1.02	Umbral Inferior		
PL	2.78	Precipitación minima Aceptable (mm)		

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 38: Tabla de distribución de probabilidades de la Estación: Motupe

N	T	P(X<=T)	Valor Observado		NORMAL		LOGNORMAL		EV1 GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			P24	Log(P24)	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO
1	36.00	2.78%	151.60	5.02	1.91	106.55	1.91	125.75	2.33	121.92	2.60	131.60	2.05	222.82
2	18.00	5.56%	145.20	4.98	1.59	94.76	1.59	96.04	1.78	101.67	1.87	104.75	1.67	120.67
3	12.00	8.33%	126.00	4.84	1.38	87.04	1.38	80.51	1.45	89.64	1.45	89.38	1.43	84.94
4	9.00	11.11%	88.60	4.48	1.22	81.08	1.22	70.26	1.22	80.97	1.15	78.63	1.24	66.45
5	7.20	13.89%	56.88	4.04	1.09	76.11	1.09	62.72	1.03	74.13	0.93	70.39	1.09	55.04
6	6.00	16.67%	52.20	3.96	0.97	71.78	0.97	56.82	0.88	68.46	0.75	63.71	0.96	47.25
7	5.14	19.44%	44.00	3.78	0.86	67.89	0.86	51.99	0.74	63.57	0.60	58.11	0.84	41.58
8	4.50	22.22%	40.13	3.69	0.76	64.33	0.76	47.93	0.63	59.27	0.46	53.29	0.74	37.24
9	4.00	25.00%	39.50	3.68	0.67	61.02	0.67	44.44	0.52	55.40	0.35	49.06	0.64	33.81
10	3.60	27.78%	37.30	3.62	0.59	57.90	0.59	41.38	0.43	51.87	0.25	45.30	0.55	31.03
11	3.27	30.56%	37.00	3.61	0.51	54.93	0.51	38.66	0.34	48.61	0.15	41.92	0.47	28.72
12	3.00	33.33%	33.58	3.51	0.43	52.07	0.43	36.22	0.25	45.57	0.07	38.84	0.39	26.77
13	2.77	36.11%	32.80	3.49	0.36	49.31	0.36	34.00	0.18	42.72	-0.01	36.02	0.31	25.10
14	2.57	38.89%	30.57	3.42	0.28	46.62	0.28	31.98	0.10	40.01	-0.08	33.42	0.23	23.66
15	2.40	41.67%	29.50	3.38	0.21	43.98	0.21	30.11	0.03	37.42	-0.14	31.01	0.16	22.39
16	2.25	44.44%	28.20	3.34	0.14	41.38	0.14	28.37	-0.04	34.94	-0.20	28.77	0.09	21.27
17	2.12	47.22%	26.30	3.27	0.07	38.81	0.07	26.75	-0.10	32.55	-0.26	26.67	0.02	20.27
18	2.00	50.00%	24.90	3.21	0.00	36.25	0.00	25.24	-0.16	30.22	-0.31	24.69	-0.05	19.38
19	1.89	52.78%	24.90	3.21	-0.07	33.69	-0.07	23.80	-0.23	27.95	-0.37	22.83	-0.12	18.57
20	1.80	55.56%	21.61	3.07	-0.14	31.12	-0.14	22.44	-0.29	25.73	-0.41	21.07	-0.19	17.84
21	1.71	58.33%	21.50	3.07	-0.21	28.53	-0.21	21.15	-0.35	23.54	-0.46	19.40	-0.26	17.17
22	1.64	61.11%	19.80	2.99	-0.28	25.89	-0.28	19.92	-0.41	21.36	-0.50	17.81	-0.33	16.56
23	1.57	63.89%	19.30	2.96	-0.36	23.20	-0.36	18.73	-0.46	19.20	-0.54	16.30	-0.40	16.00
24	1.50	66.67%	18.50	2.92	-0.43	20.44	-0.43	17.58	-0.52	17.04	-0.58	14.86	-0.47	15.48
25	1.44	69.44%	16.70	2.82	-0.51	17.58	-0.51	16.47	-0.58	14.85	-0.62	13.49	-0.54	15.00
26	1.38	72.22%	16.00	2.77	-0.59	14.61	-0.59	15.39	-0.64	12.64	-0.66	12.17	-0.62	14.56
27	1.33	75.00%	15.50	2.74	-0.67	11.49	-0.67	14.33	-0.70	10.38	-0.69	10.91	-0.70	14.15
28	1.29	77.78%	14.00	2.64	-0.76	8.17	-0.76	13.29	-0.77	8.04	-0.72	9.71	-0.78	13.76
29	1.24	80.56%	11.50	2.44	-0.86	4.61	-0.86	12.25	-0.83	5.61	-0.75	8.56	-0.87	13.41
30	1.20	83.33%	9.50	2.25	-0.97	0.73	-0.97	11.21	-0.90	3.03	-0.78	7.47	-0.97	13.07
31	1.16	86.11%	8.50	2.14	-1.09	-3.60	-1.09	10.15	-0.98	0.26	-0.81	6.43	-1.07	12.77
32	1.13	88.89%	8.00	2.08	-1.22	-8.57	-1.22	9.06	-1.06	-2.81	-0.84	5.45	-1.19	12.48
33	1.09	91.67%	7.60	2.03	-1.38	-14.53	-1.38	7.91	-1.16	-6.33	-0.86	4.54	-1.33	12.23
34	1.06	94.44%	6.20	1.82	-1.59	-22.25	-1.59	6.63	-1.28	-10.66	-0.89	3.74	-1.51	12.01
35	1.03	97.22%	5.50	1.70	-1.91	-34.05	-1.91	5.06	-1.45	-16.81	-0.90	3.14	-1.77	11.84

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 39: Prueba de Bondad para la estación: Motupe

m	Xm	Fo(Xm)	NORMAL		LOG NORMAL			EV1 - GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			F (Xm) Normal	Δnormal	Ym=log(Xm)	F (Ym) Log Normal	Δlog normal	F (Xm) EV1 Gumbel	ΔEv1 Gumbel	F (Xm) Pearson III	Δ Pearson III	F (Ym) Log Pearson III	Δ Log Pearson III
1	151.60	0.9722	0.9992	0.0269	5.0212	0.9837	0.0115	0.9901	0.0178	0.9830	0.0108	0.9766	0.0044
2	145.20	0.9444	0.9985	0.0541	4.9781	0.9815	0.0371	0.9876	0.0431	0.9800	0.0355	0.9742	0.0297
3	126.00	0.9167	0.9927	0.0761	4.8363	0.9724	0.0557	0.9759	0.0592	0.9671	0.0504	0.9644	0.0477
4	88.60	0.8889	0.9230	0.0341	4.4841	0.9328	0.0439	0.9137	0.0248	0.9127	0.0239	0.9258	0.0369
5	56.88	0.8611	0.7129	0.1483	4.0410	0.8337	0.0274	0.7610	0.1001	0.7975	0.0636	0.8353	0.0258
6	52.20	0.8333	0.6680	0.1654	3.9551	0.8069	0.0265	0.7249	0.1084	0.7703	0.0631	0.8110	0.0223
7	44.00	0.8056	0.5835	0.2220	3.7842	0.7462	0.0593	0.6516	0.1540	0.7129	0.0927	0.7558	0.0498
8	40.13	0.7778	0.5420	0.2358	3.6920	0.7098	0.0680	0.6124	0.1654	0.6807	0.0971	0.7222	0.0556
9	39.50	0.7500	0.5352	0.2148	3.6763	0.7034	0.0466	0.6058	0.1442	0.6751	0.0749	0.7162	0.0338
10	37.30	0.7222	0.5114	0.2109	3.6190	0.6793	0.0429	0.5820	0.1402	0.6548	0.0675	0.6938	0.0284
11	37.00	0.6944	0.5081	0.1863	3.6109	0.6759	0.0186	0.5787	0.1158	0.6519	0.0426	0.6906	0.0039
12	33.58	0.6667	0.4710	0.1956	3.5140	0.6333	0.0333	0.5399	0.1267	0.6172	0.0495	0.6505	0.0162
13	32.80	0.6389	0.4625	0.1764	3.4904	0.6227	0.0162	0.5308	0.1081	0.6087	0.0302	0.6403	0.0015
14	30.57	0.6111	0.4385	0.1727	3.4199	0.5903	0.0208	0.5042	0.1069	0.5834	0.0277	0.6094	0.0018
15	29.50	0.5833	0.4270	0.1563	3.3844	0.5738	0.0095	0.4912	0.0921	0.5707	0.0126	0.5934	0.0100
16	28.20	0.5556	0.4132	0.1424	3.3393	0.5527	0.0029	0.4753	0.0803	0.5546	0.0009	0.5728	0.0172
17	26.30	0.5278	0.3932	0.1346	3.2697	0.5197	0.0081	0.4517	0.0761	0.5299	0.0022	0.5403	0.0125
18	24.90	0.5000	0.3786	0.1214	3.2149	0.4936	0.0064	0.4340	0.0660	0.5107	0.0107	0.5144	0.0144
19	24.90	0.4722	0.3786	0.0937	3.2147	0.4936	0.0214	0.4340	0.0383	0.5106	0.0384	0.5143	0.0421
20	21.61	0.4444	0.3451	0.0994	3.0734	0.4267	0.0177	0.3921	0.0523	0.4620	0.0175	0.4466	0.0021
21	21.50	0.4167	0.3439	0.0727	3.0681	0.4243	0.0076	0.3906	0.0260	0.4602	0.0435	0.4440	0.0274
22	19.80	0.3889	0.3270	0.0618	2.9857	0.3862	0.0027	0.3688	0.0201	0.4327	0.0438	0.4046	0.0157
23	19.30	0.3611	0.3222	0.0390	2.9601	0.3746	0.0135	0.3624	0.0013	0.4243	0.0632	0.3925	0.0314
24	18.50	0.3333	0.3144	0.0190	2.9178	0.3556	0.0223	0.3521	0.0188	0.4106	0.0772	0.3725	0.0392
25	16.70	0.3056	0.2972	0.0083	2.8156	0.3114	0.0058	0.3291	0.0235	0.3782	0.0726	0.3253	0.0198
26	16.00	0.2778	0.2906	0.0128	2.7726	0.2935	0.0157	0.3201	0.0423	0.3649	0.0871	0.3061	0.0283
27	15.50	0.2500	0.2860	0.0360	2.7408	0.2806	0.0306	0.3138	0.0638	0.3553	0.1053	0.2921	0.0421
28	14.00	0.2222	0.2722	0.0500	2.6391	0.2412	0.0190	0.2948	0.0726	0.3252	0.1030	0.2491	0.0269
29	11.50	0.1944	0.2501	0.0557	2.4423	0.1744	0.0200	0.2637	0.0693	0.2708	0.0763	0.1751	0.0193
30	9.50	0.1667	0.2331	0.0665	2.2513	0.1221	0.0446	0.2395	0.0728	0.2227	0.0560	0.1169	0.0498
31	8.50	0.1389	0.2249	0.0860	2.1401	0.0973	0.0416	0.2276	0.0887	0.1968	0.0579	0.0895	0.0494
32	8.00	0.1111	0.2208	0.1097	2.0794	0.0854	0.0257	0.2217	0.1106	0.1833	0.0722	0.0766	0.0345
33	7.60	0.0833	0.2176	0.1343	2.0281	0.0763	0.0071	0.2171	0.1338	0.1722	0.0889	0.0668	0.0166
34	6.20	0.0556	0.2066	0.1510	1.8245	0.0471	0.0084	0.2011	0.1455	0.1311	0.0756	0.0365	0.0191
35	5.50	0.0278	0.2012	0.1734	1.7047	0.0347	0.0069	0.1933	0.1655	0.1090	0.0812	0.0244	0.0033
n	35	Distribución	NORMAL	LOG NORMAL	EV1 - GUMBEL	PEARSON III	LOG PEARSON III						
Significación	0.05	Δmax	0.2358	0.0680	0.1655	0.1053	0.0556						
Acritico	0.2248		No se ajusta	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto						
		Mejor ajuste						Mejor ajuste de todas					

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 40: Precipitación Máxima en 24 hrs para diferentes tiempos de retorno. Distribución Log Pearson III. Estación: Motupe

T	P(X<=XT)	LOG PEARSON III			Pmax (mm)	Pmax(corre g.) (mm)
		KT	XT	e^XT		
2	50.00%	-0.0518	3.1848	24.16	24.16	27.30
3	33.33%	0.3863	3.5523	34.89	34.89	39.43
5	20.00%	0.8225	3.9182	50.31	50.31	56.85
10	10.00%	1.3098	4.3270	75.72	75.72	85.56
20	5.00%	1.7284	4.6782	107.57	107.57	121.56
25	4.00%	1.8531	4.7828	119.44	119.44	134.96
50	2.00%	2.2173	5.0883	162.11	162.11	183.18
100	1.00%	2.5539	5.3706	214.99	214.99	242.94
200	0.50%	2.8694	5.6354	280.16	280.16	316.58
300	0.33%	3.0462	5.7836	324.92	324.92	367.16
500	0.20%	3.2617	5.9644	389.32	389.32	439.94

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 41: Precipitación de diseño para duración menores a 24hrs. Estación: Motupe

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	7.88	16.41	24.70	35.09	38.96	52.88	70.13	91.39	127.00
0.33	20	9.37	19.52	29.37	41.73	46.33	62.89	83.40	108.68	151.03
0.50	30	10.37	21.60	32.51	46.18	51.27	69.60	92.30	120.27	167.14
0.67	40	11.15	23.21	34.93	49.63	55.10	74.78	99.18	129.24	179.60
0.83	50	11.79	24.54	36.94	52.47	58.26	79.08	104.87	136.66	189.91
1.00	60	12.34	25.69	38.66	54.92	60.98	82.76	109.76	143.03	198.76
1.50	90	13.65	28.43	42.78	60.78	67.48	91.59	121.47	158.29	219.97
2.00	120	14.67	30.55	45.97	65.31	72.51	98.42	130.53	170.09	236.37
4.00	240	17.44	36.32	54.67	77.67	86.23	117.04	155.23	202.27	281.09
6.00	360	19.31	40.20	60.50	85.95	95.43	129.53	171.79	223.85	311.08
7.00	420	20.06	41.78	62.88	89.33	99.18	134.62	178.54	232.65	323.30
8.00	480	20.75	43.20	65.01	92.36	102.55	139.19	184.60	240.55	334.28
10.00	600	21.94	45.68	68.74	97.66	108.43	147.18	195.19	254.35	353.46
11.00	660	22.46	46.78	70.40	100.02	111.05	150.72	199.89	260.48	361.98
12.00	720	22.96	47.81	71.95	102.22	113.49	154.04	204.29	266.21	369.94
24.00	1440	27.30	56.85	85.56	121.56	134.96	183.18	242.94	316.58	439.94

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 42: Intensidades de diseño para duración menores a 24 hrs. Estación: Motupe

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	47.29	98.47	148.20	210.54	233.76	317.28	420.79	548.33	761.99
0.33	20	28.12	58.55	88.12	125.19	139.00	188.66	250.20	326.04	453.08
0.50	30	20.75	43.20	65.01	92.36	102.55	139.19	184.60	240.55	334.28
0.67	40	16.72	34.81	52.40	74.44	82.65	112.18	148.77	193.86	269.40
0.83	50	14.14	29.45	44.32	62.97	69.91	94.89	125.85	163.99	227.89
1.00	60	12.34	25.69	38.66	54.92	60.98	82.76	109.76	143.03	198.76
1.50	90	9.10	18.95	28.52	40.52	44.99	61.06	80.98	105.53	146.65
2.00	120	7.33	15.27	22.99	32.66	36.26	49.21	65.26	85.05	118.19
4.00	240	4.36	9.08	13.67	19.42	21.56	29.26	38.81	50.57	70.27
6.00	360	3.22	6.70	10.08	14.33	15.91	21.59	28.63	37.31	51.85
7.00	420	2.87	5.97	8.98	12.76	14.17	19.23	25.51	33.24	46.19
8.00	480	2.59	5.40	8.13	11.55	12.82	17.40	23.07	30.07	41.78
10.00	600	2.19	4.57	6.87	9.77	10.84	14.72	19.52	25.43	35.35
11.00	660	2.04	4.25	6.40	9.09	10.10	13.70	18.17	23.68	32.91
12.00	720	1.91	3.98	6.00	8.52	9.46	12.84	17.02	22.18	30.83
24.00	1440	1.14	2.37	3.57	5.06	5.62	7.63	10.12	13.19	18.33

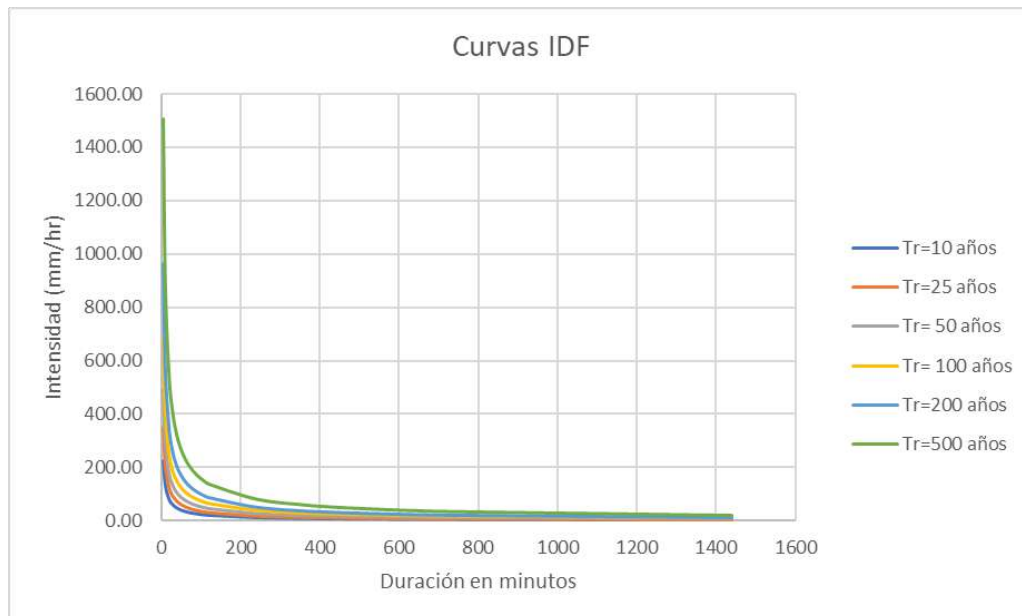
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 43: Intensidades Máximas (Estación Motupe)

Duración (t) minutos	Periodo de Retorno (T) en años					
	10	25	50	100	200	500
5	225.18	351.45	492.18	689.27	965.27	1506.58
10	133.89	208.97	292.65	409.84	573.95	895.82
20	79.61	124.26	174.01	243.69	341.27	532.66
30	58.74	91.68	128.38	179.79	251.79	392.99
40	47.34	73.88	103.47	144.90	202.92	316.72
50	40.04	62.50	87.52	122.57	171.65	267.91
60	34.92	54.51	76.34	106.91	149.71	233.67
70	31.11	48.56	68.00	95.23	133.37	208.16
80	28.15	43.93	61.52	86.16	120.66	188.32
90	25.77	40.22	56.32	78.87	110.46	172.40
100	23.81	37.16	52.04	72.88	102.06	159.30
110	22.17	34.60	48.45	67.85	95.02	148.31
120	20.77	32.41	45.39	63.57	89.02	138.94
240	12.35	19.27	26.99	37.80	52.93	82.62
360	9.11	14.22	19.91	27.89	39.05	60.95
420	8.12	12.67	17.74	24.84	34.79	54.30
480	7.34	11.46	16.05	22.47	31.47	49.12
600	6.21	9.69	13.58	19.01	26.62	41.55
660	5.78	9.02	12.64	17.70	24.79	38.69
720	5.42	8.45	11.84	16.58	23.22	36.24
1440	3.22	5.03	7.04	9.86	13.81	21.55

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 44: Curvas I-D-F para la estación Motupe



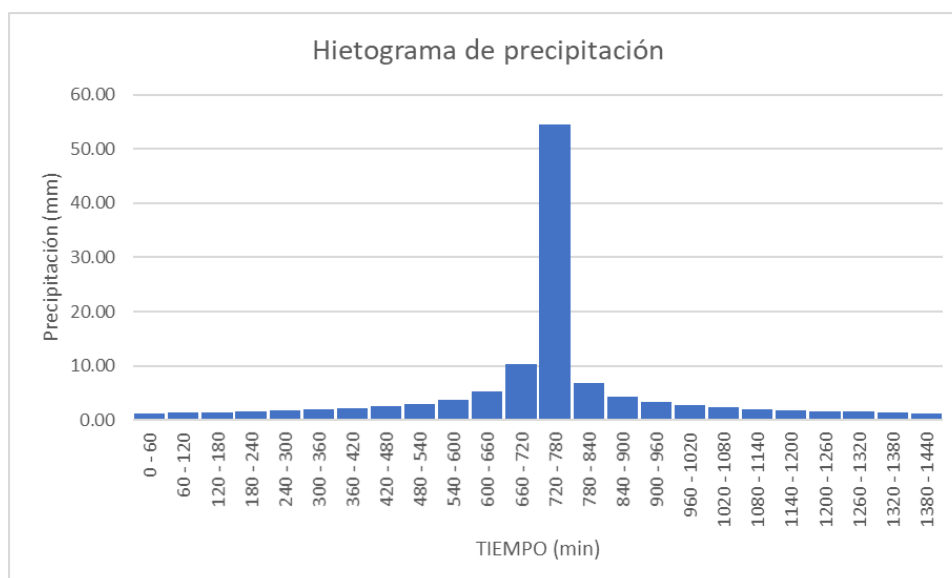
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 45: Precipitaciones alternadas para Tr=25 años. Estación Motupe

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	54.51	54.51	54.51	0 - 60	1.28
120	32.41	64.82	10.31	60 - 120	1.37
180	23.91	71.74	6.92	120 - 180	1.47
240	19.27	77.09	5.35	180 - 240	1.59
300	16.30	81.51	4.42	240 - 300	1.74
360	14.22	85.31	3.80	300 - 360	1.94
420	12.67	88.67	3.35	360 - 420	2.18
480	11.46	91.68	3.01	420 - 480	2.52
540	10.49	94.41	2.74	480 - 540	3.01
600	9.69	96.93	2.52	540 - 600	3.80
660	9.02	99.27	2.34	600 - 660	5.35
720	8.45	101.46	2.18	660 - 720	10.31
780	7.96	103.51	2.05	720 - 780	54.51
840	7.53	105.44	1.94	780 - 840	6.92
900	7.15	107.28	1.83	840 - 900	4.42
960	6.81	109.02	1.74	900 - 960	3.35
1020	6.51	110.69	1.66	960 - 1020	2.74
1080	6.24	112.28	1.59	1020 - 1080	2.34
1140	5.99	113.81	1.53	1080 - 1140	2.05
1200	5.76	115.28	1.47	1140 - 1200	1.83
1260	5.56	116.69	1.41	1200 - 1260	1.66
1320	5.37	118.06	1.37	1260 - 1320	1.53
1380	5.19	119.37	1.32	1320 - 1380	1.41
1440	5.03	120.65	1.28	1380 - 1440	1.32

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 46: Hietograma de Diseño. Tr 25 años. Estación Motupe



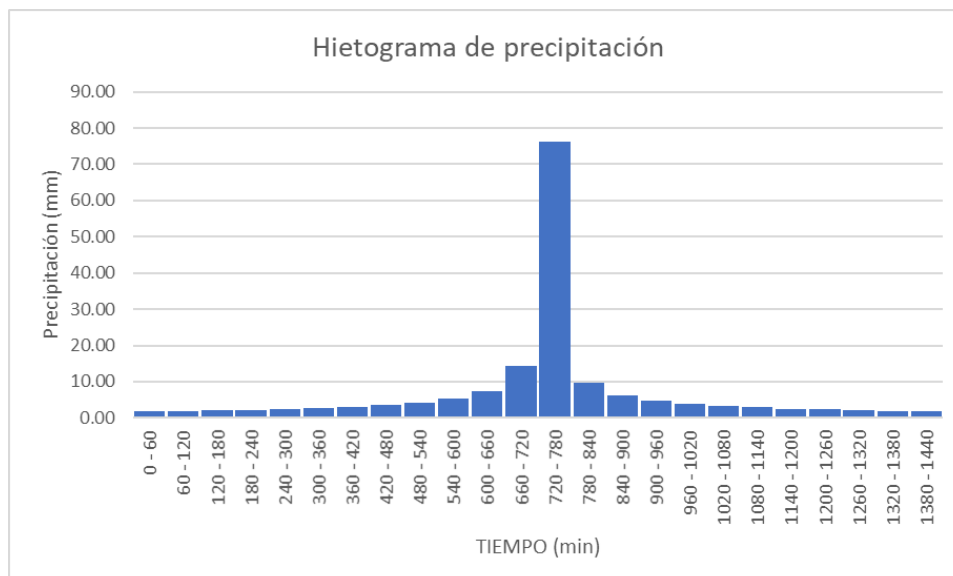
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 47: Precipitaciones alternadas para Tr=50 años. Estación Motupe

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	76.34	76.34	76.34	0 - 60	1.79
120	45.39	90.78	14.44	60 - 120	1.91
180	33.49	100.47	9.68	120 - 180	2.06
240	26.99	107.96	7.49	180 - 240	2.23
300	22.83	114.15	6.19	240 - 300	2.44
360	19.91	119.48	5.32	300 - 360	2.71
420	17.74	124.17	4.69	360 - 420	3.06
480	16.05	128.38	4.22	420 - 480	3.53
540	14.69	132.22	3.84	480 - 540	4.22
600	13.58	135.75	3.53	540 - 600	5.32
660	12.64	139.02	3.27	600 - 660	7.49
720	11.84	142.08	3.06	660 - 720	14.44
780	11.15	144.95	2.87	720 - 780	76.34
840	10.55	147.66	2.71	780 - 840	9.68
900	10.02	150.23	2.57	840 - 900	6.19
960	9.54	152.68	2.44	900 - 960	4.69
1020	9.12	155.01	2.33	960 - 1020	3.84
1080	8.74	157.24	2.23	1020 - 1080	3.27
1140	8.39	159.38	2.14	1080 - 1140	2.87
1200	8.07	161.44	2.06	1140 - 1200	2.57
1260	7.78	163.42	1.98	1200 - 1260	2.33
1320	7.51	165.33	1.91	1260 - 1320	2.14
1380	7.27	167.18	1.85	1320 - 1380	1.98
1440	7.04	168.96	1.79	1380 - 1440	1.85

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 48: Hietograma de Diseño. Tr 50 años. Estación Motupe



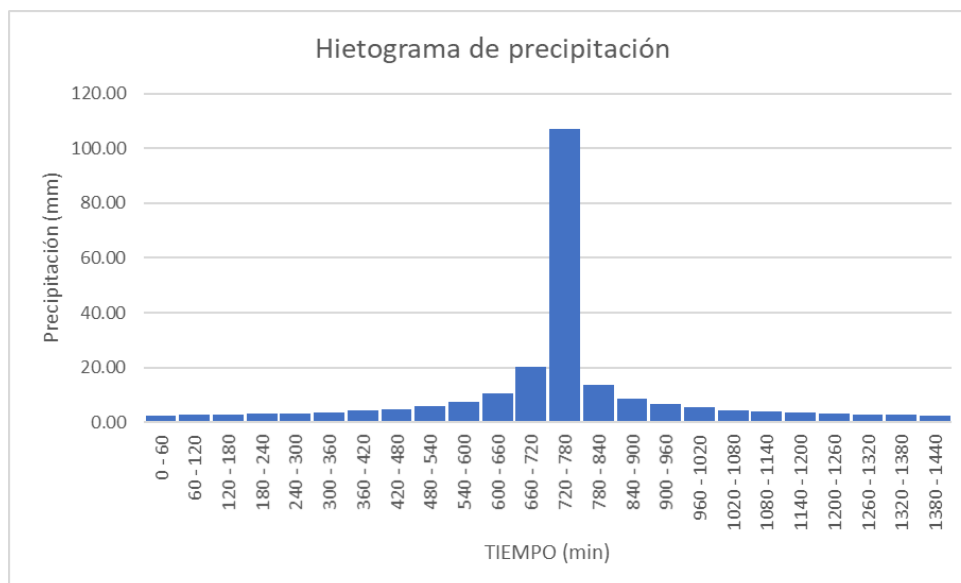
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 49: Precipitaciones alternadas para Tr=100 años. Estación Motupe

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	106.91	106.91	106.91	0 - 60	2.50
120	63.57	127.13	20.23	60 - 120	2.68
180	46.90	140.70	13.56	120 - 180	2.88
240	37.80	151.19	10.49	180 - 240	3.12
300	31.97	159.86	8.67	240 - 300	3.42
360	27.89	167.32	7.46	300 - 360	3.80
420	24.84	173.89	6.57	360 - 420	4.28
480	22.47	179.79	5.90	420 - 480	4.94
540	20.57	185.17	5.37	480 - 540	5.90
600	19.01	190.11	4.94	540 - 600	7.46
660	17.70	194.69	4.58	600 - 660	10.49
720	16.58	198.97	4.28	660 - 720	20.23
780	15.62	203.00	4.02	720 - 780	106.91
840	14.77	206.79	3.80	780 - 840	13.56
900	14.03	210.39	3.60	840 - 900	8.67
960	13.36	213.81	3.42	900 - 960	6.57
1020	12.77	217.08	3.27	960 - 1020	5.37
1080	12.23	220.20	3.12	1020 - 1080	4.58
1140	11.75	223.20	3.00	1080 - 1140	4.02
1200	11.30	226.08	2.88	1140 - 1200	3.60
1260	10.90	228.85	2.77	1200 - 1260	3.27
1320	10.52	231.53	2.68	1260 - 1320	3.00
1380	10.18	234.12	2.59	1320 - 1380	2.77
1440	9.86	236.62	2.50	1380 - 1440	2.59

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 50: Hietograma de Diseño. Tr 100 años. Estación Motupe



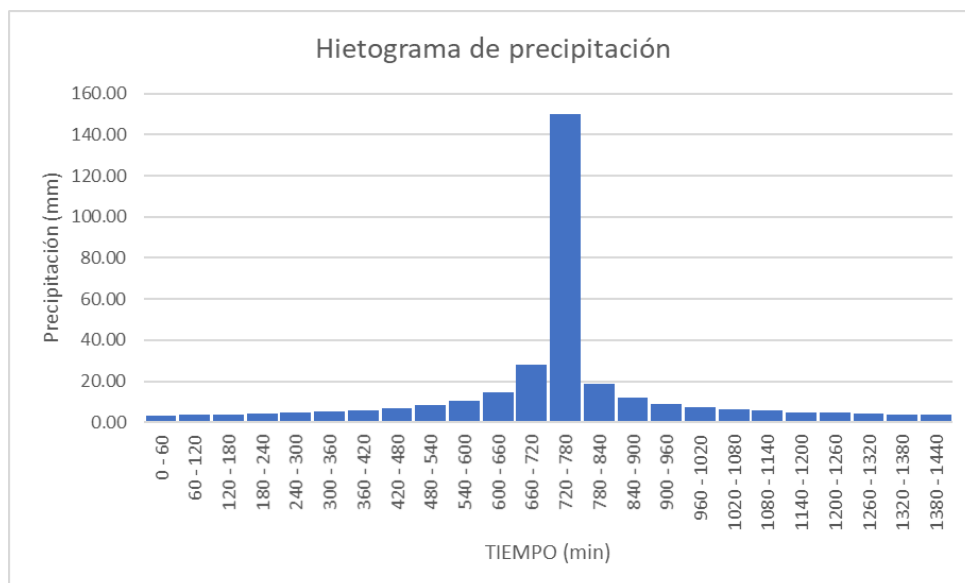
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 51: Precipitaciones alternadas para Tr=200 años. Estación Motupe

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	149.71	149.71	149.71	0 - 60	3.51
120	89.02	178.04	28.33	60 - 120	3.75
180	65.68	197.03	18.99	120 - 180	4.03
240	52.93	211.73	14.69	180 - 240	4.38
300	44.77	223.87	12.15	240 - 300	4.79
360	39.05	234.31	10.44	300 - 360	5.32
420	34.79	243.52	9.21	360 - 420	6.00
480	31.47	251.79	8.27	420 - 480	6.92
540	28.81	259.31	7.52	480 - 540	8.27
600	26.62	266.23	6.92	540 - 600	10.44
660	24.79	272.65	6.42	600 - 660	14.69
720	23.22	278.65	6.00	660 - 720	28.33
780	21.87	284.28	5.63	720 - 780	149.71
840	20.69	289.60	5.32	780 - 840	18.99
900	19.64	294.63	5.04	840 - 900	12.15
960	18.71	299.43	4.79	900 - 960	9.21
1020	17.88	304.00	4.57	960 - 1020	7.52
1080	17.13	308.38	4.38	1020 - 1080	6.42
1140	16.45	312.57	4.20	1080 - 1140	5.63
1200	15.83	316.61	4.03	1140 - 1200	5.04
1260	15.26	320.49	3.89	1200 - 1260	4.57
1320	14.74	324.24	3.75	1260 - 1320	4.20
1380	14.25	327.86	3.62	1320 - 1380	3.89
1440	13.81	331.37	3.51	1380 - 1440	3.62

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 52: Hietograma de Diseño. Tr 200 años. Estación Motupe



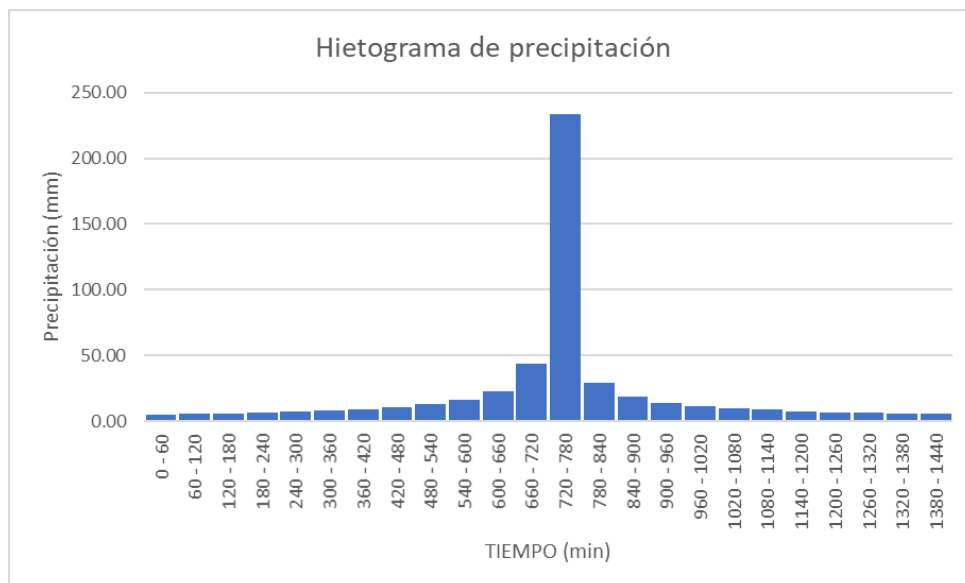
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 53: Precipitaciones alternadas para Tr=500 años. Estación Motupe

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	233.67	233.67	233.67	0 - 60	5.47
120	138.94	277.88	44.21	60 - 120	5.85
180	102.51	307.53	29.65	120 - 180	6.30
240	82.62	330.46	22.93	180 - 240	6.83
300	69.88	349.42	18.96	240 - 300	7.48
360	60.95	365.72	16.30	300 - 360	8.30
420	54.30	380.09	14.37	360 - 420	9.36
480	49.12	392.99	12.90	420 - 480	10.80
540	44.97	404.73	11.74	480 - 540	12.90
600	41.55	415.53	10.80	540 - 600	16.30
660	38.69	425.55	10.02	600 - 660	22.93
720	36.24	434.91	9.36	660 - 720	44.21
780	34.13	443.70	8.79	720 - 780	233.67
840	32.29	452.00	8.30	780 - 840	29.65
900	30.66	459.86	7.86	840 - 900	18.96
960	29.21	467.34	7.48	900 - 960	14.37
1020	27.91	474.48	7.14	960 - 1020	11.74
1080	26.74	481.31	6.83	1020 - 1080	10.02
1140	25.68	487.86	6.55	1080 - 1140	8.79
1200	24.71	494.16	6.30	1140 - 1200	7.86
1260	23.82	500.22	6.06	1200 - 1260	7.14
1320	23.00	506.07	5.85	1260 - 1320	6.55
1380	22.25	511.73	5.66	1320 - 1380	6.06
1440	21.55	517.20	5.47	1380 - 1440	5.66

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 54: Hietograma de Diseño. Tr 500 años. Estación Motupe



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 55: Análisis de Datos Dudosos. Estación: Olmos

# De datos	35	35		
Máximo	156.50	5.05	CORRECTO	
Mínimo	5.80	1.76	CORRECTO	
Promedio	47.03	3.54		
Desviación Estándar	37.13	0.84		
Coef. De Asimetría	1.42	-0.28		
Kn	2.628	2.628		
XH	5.75	Umbral Superior		
PH	315.32	Precipitación maxima Aceptable (mm)		
XL	1.33	Umbral Inferior		
PL	3.76	Precipitación minima Aceptable (mm)		

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 56: Tabla de distribución de probabilidades de la Estación: Olmos

N	T	P(X>=XT)	Valor Observado		NORMAL		LOGNORMAL		EV1 GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			P24	Log(P24)	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO	KT	ESPERADO
1	36.00	2.78%	156.50	5.05	1.91	118.11	1.91	172.87	2.33	133.65	2.43	137.34	1.79	267.46
2	18.00	5.56%	151.60	5.02	1.59	106.18	1.59	131.88	1.78	113.17	1.84	115.31	1.52	162.23
3	12.00	8.33%	91.20	4.51	1.38	98.38	1.38	110.47	1.45	101.00	1.49	102.20	1.34	120.48
4	9.00	11.11%	91.00	4.51	1.22	92.35	1.22	96.35	1.22	92.24	1.23	92.75	1.19	97.23
5	7.20	13.89%	85.70	4.45	1.09	87.32	1.09	85.97	1.03	85.33	1.03	85.31	1.07	82.13
6	6.00	16.67%	82.00	4.41	0.97	82.95	0.97	77.84	0.88	79.59	0.87	79.15	0.97	71.41
7	5.14	19.44%	78.80	4.37	0.86	79.02	0.86	71.20	0.74	74.65	0.72	73.86	0.87	63.33
8	4.50	22.22%	76.50	4.34	0.76	75.42	0.76	65.62	0.63	70.30	0.60	69.21	0.78	56.99
9	4.00	25.00%	71.20	4.27	0.67	72.07	0.67	60.82	0.52	66.39	0.49	65.05	0.70	51.86
10	3.60	27.78%	57.70	4.06	0.59	68.91	0.59	56.61	0.43	62.82	0.38	61.28	0.62	47.60
11	3.27	30.56%	57.63	4.05	0.51	65.91	0.51	52.88	0.34	59.52	0.29	57.81	0.54	44.00
12	3.00	33.33%	52.10	3.95	0.43	63.02	0.43	49.52	0.25	56.45	0.20	54.60	0.47	40.91
13	2.77	36.11%	50.20	3.92	0.36	60.23	0.36	46.48	0.18	53.56	0.12	51.59	0.39	38.21
14	2.57	38.89%	47.98	3.87	0.28	57.51	0.28	43.70	0.10	50.82	0.05	48.76	0.32	35.84
15	2.40	41.67%	47.00	3.85	0.21	54.84	0.21	41.14	0.03	48.21	-0.03	46.09	0.25	33.72
16	2.25	44.44%	44.87	3.80	0.14	52.22	0.14	38.76	-0.04	45.70	-0.09	43.54	0.18	31.83
17	2.12	47.22%	43.50	3.77	0.07	49.62	0.07	36.54	-0.10	43.28	-0.16	41.09	0.12	30.11
18	2.00	50.00%	34.50	3.54	0.00	47.03	0.00	34.45	-0.16	40.93	-0.22	38.75	0.05	28.55
19	1.89	52.78%	34.30	3.54	-0.07	44.44	-0.07	32.49	-0.23	38.64	-0.28	36.48	-0.02	27.12
20	1.80	55.56%	31.01	3.43	-0.14	41.84	-0.14	30.63	-0.29	36.39	-0.34	34.29	-0.09	25.80
21	1.71	58.33%	30.40	3.41	-0.21	39.22	-0.21	28.86	-0.35	34.17	-0.40	32.15	-0.17	24.58
22	1.64	61.11%	26.60	3.28	-0.28	36.55	-0.28	27.16	-0.41	31.97	-0.46	30.05	-0.24	23.44
23	1.57	63.89%	26.40	3.27	-0.36	33.83	-0.36	25.54	-0.46	29.79	-0.51	28.00	-0.31	22.37
24	1.50	66.67%	26.20	3.27	-0.43	31.04	-0.43	23.97	-0.52	27.60	-0.57	25.98	-0.39	21.37
25	1.44	69.44%	21.06	3.05	-0.51	28.15	-0.51	22.45	-0.58	25.39	-0.62	23.97	-0.47	20.42
26	1.38	72.22%	19.00	2.94	-0.59	25.14	-0.59	20.97	-0.64	23.15	-0.67	21.98	-0.56	19.52
27	1.33	75.00%	18.81	2.93	-0.67	21.99	-0.67	19.52	-0.70	20.86	-0.73	19.99	-0.65	18.65
28	1.29	77.78%	18.30	2.91	-0.76	18.64	-0.76	18.09	-0.77	18.50	-0.78	17.98	-0.74	17.82
29	1.24	80.56%	16.93	2.83	-0.86	15.04	-0.86	16.67	-0.83	16.04	-0.84	15.95	-0.85	17.02
30	1.20	83.33%	12.20	2.50	-0.97	11.11	-0.97	15.25	-0.90	13.44	-0.89	13.87	-0.96	16.23
31	1.16	86.11%	11.90	2.48	-1.09	6.73	-1.09	13.81	-0.98	10.63	-0.95	11.71	-1.09	15.46
32	1.13	88.89%	11.70	2.46	-1.22	1.71	-1.22	12.32	-1.06	7.53	-1.01	9.45	-1.24	14.68
33	1.09	91.67%	8.00	2.08	-1.38	-4.32	-1.38	10.74	-1.16	3.97	-1.08	7.01	-1.42	13.89
34	1.06	94.44%	7.40	2.00	-1.59	-12.12	-1.59	9.00	-1.28	-0.41	-1.15	4.27	-1.66	13.06
35	1.03	97.22%	5.80	1.76	-1.91	-24.05	-1.91	6.87	-1.45	-6.63	-1.24	0.92	-2.03	12.10

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 57: Prueba de Bondad para la estación: Olmos

m	Xm	Fo(Xm)	NORMAL		LOG NORMAL			EV1 - GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
			F (Xm) Normal	Δnormal	Ym=log(Xm)	F (Ym) Log Normal	Δlog normal	F (Xm) EV1 Gumbel	ΔEv1 Gumbel	F (Xm) Pearson III	Δ Pearson III	F (Ym) Log Pearson III	Δ Log Pearson III
1	156.50	0.9722	0.9984	0.0262	5.0531	0.9638	0.0084	0.9873	0.0151	0.9850	0.0127	0.9565	0.0157
2	151.60	0.9444	0.9976	0.0531	5.0212	0.9607	0.0162	0.9850	0.0405	0.9824	0.0379	0.9534	0.0090
3	91.20	0.9167	0.8829	0.0337	4.5131	0.8760	0.0406	0.8851	0.0316	0.8822	0.0344	0.8738	0.0428
4	91.00	0.8889	0.8819	0.0070	4.5109	0.8755	0.0134	0.8843	0.0046	0.8815	0.0074	0.8733	0.0156
5	85.70	0.8611	0.8512	0.0099	4.4509	0.8603	0.0008	0.8628	0.0016	0.8613	0.0002	0.8594	0.0017
6	82.00	0.8333	0.8269	0.0065	4.4067	0.8483	0.0150	0.8456	0.0122	0.8453	0.0120	0.8484	0.0151
7	78.80	0.8056	0.8039	0.0016	4.3669	0.8369	0.0314	0.8291	0.0236	0.8302	0.0247	0.8380	0.0325
8	76.50	0.7778	0.7863	0.0086	4.3373	0.8281	0.0504	0.8164	0.0386	0.8185	0.0408	0.8300	0.0522
9	71.20	0.7500	0.7425	0.0075	4.2655	0.8055	0.0555	0.7838	0.0338	0.7888	0.0388	0.8093	0.0593
10	57.70	0.7222	0.6131	0.1091	4.0553	0.7298	0.0075	0.6782	0.0440	0.6932	0.0290	0.7394	0.0171
11	57.63	0.6944	0.6124	0.0820	4.0541	0.7293	0.0349	0.6776	0.0169	0.6927	0.0018	0.7389	0.0445
12	52.10	0.6667	0.5543	0.1123	3.9532	0.6883	0.0216	0.6242	0.0424	0.6441	0.0226	0.7006	0.0339
13	50.20	0.6389	0.5340	0.1049	3.9160	0.6725	0.0336	0.6046	0.0343	0.6260	0.0129	0.6857	0.0468
14	47.98	0.6111	0.5103	0.1009	3.8709	0.6529	0.0418	0.5809	0.0303	0.6041	0.0071	0.6672	0.0561
15	47.00	0.5833	0.4997	0.0836	3.8501	0.6438	0.0605	0.5701	0.0133	0.5940	0.0107	0.6585	0.0752
16	44.87	0.5556	0.4768	0.0787	3.8038	0.6231	0.0675	0.5461	0.0094	0.5716	0.0161	0.6387	0.0832
17	43.50	0.5278	0.4621	0.0656	3.7728	0.6090	0.0812	0.5303	0.0026	0.5567	0.0289	0.6252	0.0974
18	34.50	0.5000	0.3679	0.1321	3.5410	0.5007	0.0007	0.4208	0.0792	0.4501	0.0499	0.5190	0.0190
19	34.30	0.4722	0.3659	0.1064	3.5351	0.4979	0.0257	0.4183	0.0539	0.4475	0.0247	0.5163	0.0440
20	31.01	0.4444	0.3330	0.1114	3.4342	0.4502	0.0058	0.3766	0.0678	0.4048	0.0396	0.4682	0.0238
21	30.40	0.4167	0.3271	0.0896	3.4143	0.4409	0.0242	0.3689	0.0478	0.3968	0.0199	0.4587	0.0421
22	26.60	0.3889	0.2911	0.0978	3.2809	0.3794	0.0095	0.3208	0.0681	0.3454	0.0435	0.3954	0.0065
23	26.40	0.3611	0.2892	0.0719	3.2734	0.3760	0.0149	0.3182	0.0429	0.3427	0.0184	0.3919	0.0307
24	26.20	0.3333	0.2874	0.0459	3.2658	0.3726	0.0393	0.3157	0.0176	0.3399	0.0066	0.3883	0.0549
25	21.06	0.3056	0.2422	0.0634	3.0475	0.2796	0.0259	0.2524	0.0532	0.2683	0.0373	0.2897	0.0158
26	19.00	0.2778	0.2252	0.0526	2.9444	0.2400	0.0378	0.2280	0.0498	0.2393	0.0384	0.2469	0.0309
27	18.81	0.2500	0.2236	0.0264	2.9345	0.2363	0.0137	0.2258	0.0242	0.2367	0.0133	0.2429	0.0071
28	18.30	0.2222	0.2195	0.0027	2.9069	0.2263	0.0041	0.2199	0.0023	0.2295	0.0073	0.2320	0.0098
29	16.93	0.1944	0.2088	0.0144	2.8292	0.1996	0.0051	0.2044	0.0099	0.2105	0.0160	0.2028	0.0083
30	12.20	0.1667	0.1741	0.0075	2.5016	0.1090	0.0577	0.1542	0.0125	0.1463	0.0204	0.1033	0.0634
31	11.90	0.1389	0.1720	0.0331	2.4765	0.1035	0.0354	0.1512	0.0123	0.1424	0.0035	0.0974	0.0415
32	11.70	0.1111	0.1707	0.0596	2.4596	0.0999	0.0112	0.1492	0.0381	0.1398	0.0286	0.0935	0.0176
33	8.00	0.0833	0.1466	0.0633	2.0794	0.0415	0.0418	0.1151	0.0318	0.0938	0.0105	0.0323	0.0510
34	7.40	0.0556	0.1429	0.0874	2.0015	0.0340	0.0216	0.1100	0.0545	0.0868	0.0313	0.0250	0.0305
35	5.80	0.0278	0.1334	0.1056	1.7579	0.0172	0.0106	0.0970	0.0693	0.0691	0.0413	0.0102	0.0175
n	35	Distribución	NORMAL		LOG NORMAL			EV1 - GUMBEL		PEARSON III		LOG PEARSON III	
Significación	0.05	Δmax	0.1321		0.0812			0.0792		0.0499		0.0974	
Acritico	0.2248		Correcto		Correcto			Correcto		Correcto		Correcto	
		Mejor ajuste	Mejor ajuste de todas										

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 58: Precipitación Máxima en 24 hrs para diferentes tiempos de retorno. Distribución Pearson III. Estación: Olmos

T	P(X<=XT)	PEARSON III		Pmax (mm)	Pmax(corre g.) (mm)
		KT	XT		
2	50.00%	-0.2230	38.75	38.75	43.79
3	33.33%	0.2038	54.60	54.60	61.69
5	20.00%	0.6964	72.88	72.88	82.36
10	10.00%	1.3251	96.23	96.23	108.74
20	5.00%	1.9300	118.69	118.69	134.12
25	4.00%	2.1216	125.80	125.80	142.15
50	2.00%	2.7106	147.67	147.67	166.87
100	1.00%	3.2934	169.31	169.31	191.31
200	0.50%	3.8727	190.81	190.81	215.62
300	0.33%	4.2107	203.36	203.36	229.80
500	0.20%	4.6361	219.16	219.16	247.65

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

**Anexo 59: Precipitación de diseño para duración menores a 24hrs. Estación:  
Olmos**

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	12.64	23.77	31.39	38.72	41.04	48.17	55.23	62.24	71.49
0.33	20	15.03	28.27	37.33	46.04	48.80	57.28	65.68	74.02	85.02
0.50	30	16.63	31.29	41.31	50.95	54.01	63.40	72.68	81.92	94.09
0.67	40	17.88	33.62	44.39	54.75	58.03	68.12	78.10	88.03	101.10
0.83	50	18.90	35.55	46.94	57.89	61.36	72.03	82.58	93.08	106.90
1.00	60	19.78	37.21	49.13	60.59	64.23	75.39	86.44	97.42	111.89
1.50	90	21.89	41.18	54.37	67.06	71.08	83.43	95.66	107.81	123.83
2.00	120	23.53	44.25	58.42	72.06	76.38	89.65	102.79	115.85	133.06
4.00	240	27.98	52.62	69.48	85.69	90.83	106.62	122.24	137.77	158.23
6.00	360	30.96	58.24	76.89	94.83	100.52	117.99	135.28	152.47	175.12
7.00	420	32.18	60.52	79.91	98.56	104.47	122.63	140.60	158.46	182.00
8.00	480	33.27	62.58	82.62	101.91	108.01	126.79	145.37	163.84	188.17
10.00	600	35.18	66.17	87.36	107.75	114.21	134.06	153.71	173.23	198.97
11.00	660	36.03	67.76	89.47	110.35	116.97	137.30	157.41	177.41	203.77
12.00	720	36.82	69.25	91.44	112.78	119.54	140.32	160.88	181.31	208.25
24.00	1440	43.79	82.36	108.74	134.12	142.15	166.87	191.31	215.62	247.65

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

**Anexo 60: Intensidades de diseño para duración menores a 24 hrs. Estación:  
Olmos**

DURACIÓN		Tiempo de Retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10	75.84	142.65	188.34	232.29	246.22	289.02	331.37	373.46	428.94
0.33	20	45.09	84.82	111.99	138.12	146.40	171.85	197.03	222.06	255.05
0.50	30	33.27	62.58	82.62	101.91	108.01	126.79	145.37	163.84	188.17
0.67	40	26.81	50.43	66.59	82.13	87.05	102.18	117.16	132.04	151.65
0.83	50	22.68	42.66	56.33	69.47	73.64	86.44	99.10	111.69	128.28
1.00	60	19.78	37.21	49.13	60.59	64.23	75.39	86.44	97.42	111.89
1.50	90	14.60	27.45	36.25	44.71	47.38	55.62	63.77	71.87	82.55
2.00	120	11.76	22.12	29.21	36.03	38.19	44.83	51.40	57.92	66.53
4.00	240	6.99	13.16	17.37	21.42	22.71	26.65	30.56	34.44	39.56
6.00	360	5.16	9.71	12.81	15.81	16.75	19.67	22.55	25.41	29.19
7.00	420	4.60	8.65	11.42	14.08	14.92	17.52	20.09	22.64	26.00
8.00	480	4.16	7.82	10.33	12.74	13.50	15.85	18.17	20.48	23.52
10.00	600	3.52	6.62	8.74	10.78	11.42	13.41	15.37	17.32	19.90
11.00	660	3.28	6.16	8.13	10.03	10.63	12.48	14.31	16.13	18.52
12.00	720	3.07	5.77	7.62	9.40	9.96	11.69	13.41	15.11	17.35
24.00	1440	1.82	3.43	4.53	5.59	5.92	6.95	7.97	8.98	10.32

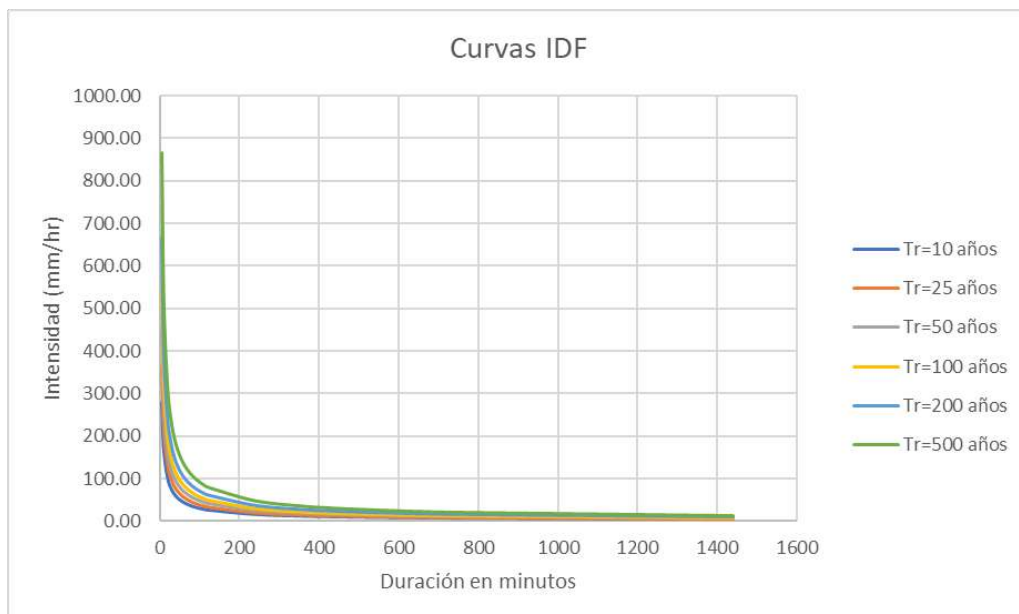
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 61: Intensidades Máximas (Estación Olmos)

Duración (t) minutos	Periodo de Retorno (T) en años					
	10	25	50	100	200	500
5	278.96	363.79	444.72	543.66	664.60	866.71
10	165.87	216.31	264.43	323.26	395.17	515.35
20	98.63	128.62	157.23	192.21	234.97	306.43
30	72.77	94.89	116.00	141.81	173.36	226.08
40	58.64	76.48	93.49	114.29	139.71	182.20
50	49.61	64.69	79.08	96.68	118.18	154.13
60	43.27	56.42	68.98	84.32	103.08	134.43
70	38.54	50.26	61.45	75.12	91.83	119.75
80	34.87	45.47	55.59	67.96	83.07	108.34
90	31.92	41.63	50.89	62.21	76.05	99.18
100	29.50	38.47	47.02	57.48	70.27	91.64
110	27.46	35.81	43.78	53.52	65.42	85.32
120	25.73	33.55	41.01	50.14	61.29	79.93
240	15.30	19.95	24.39	29.81	36.44	47.53
360	11.29	14.72	17.99	22.00	26.89	35.07
420	10.05	13.11	16.03	19.59	23.95	31.24
480	9.10	11.86	14.50	17.73	21.67	28.26
600	7.69	10.03	12.27	14.99	18.33	23.91
660	7.16	9.34	11.42	13.96	17.07	22.26
720	6.71	8.75	10.70	13.08	15.99	20.85
1440	3.99	5.20	6.36	7.78	9.51	12.40

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 62: Curvas I-D-F para la estación Olmos



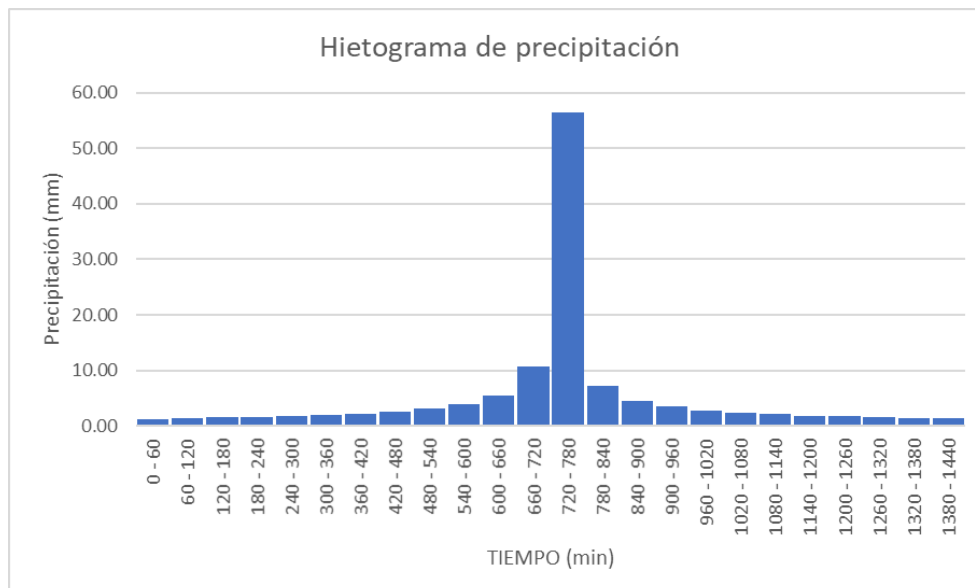
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 63: Precipitaciones alternadas para Tr=25 años. Estación Olmos

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	56.42	56.42	56.42	0 - 60	1.32
120	33.55	67.10	10.68	60 - 120	1.41
180	24.75	74.26	7.16	120 - 180	1.52
240	19.95	79.80	5.54	180 - 240	1.65
300	16.87	84.37	4.58	240 - 300	1.81
360	14.72	88.31	3.93	300 - 360	2.00
420	13.11	91.78	3.47	360 - 420	2.26
480	11.86	94.89	3.12	420 - 480	2.61
540	10.86	97.73	2.84	480 - 540	3.12
600	10.03	100.34	2.61	540 - 600	3.93
660	9.34	102.76	2.42	600 - 660	5.54
720	8.75	105.02	2.26	660 - 720	10.68
780	8.24	107.14	2.12	720 - 780	56.42
840	7.80	109.14	2.00	780 - 840	7.16
900	7.40	111.04	1.90	840 - 900	4.58
960	7.05	112.85	1.81	900 - 960	3.47
1020	6.74	114.57	1.72	960 - 1020	2.84
1080	6.46	116.22	1.65	1020 - 1080	2.42
1140	6.20	117.80	1.58	1080 - 1140	2.12
1200	5.97	119.32	1.52	1140 - 1200	1.90
1260	5.75	120.79	1.46	1200 - 1260	1.72
1320	5.55	122.20	1.41	1260 - 1320	1.58
1380	5.37	123.57	1.37	1320 - 1380	1.46
1440	5.20	124.89	1.32	1380 - 1440	1.37

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 64: Hietograma de Diseño. Tr 25 años. Estación Olmos



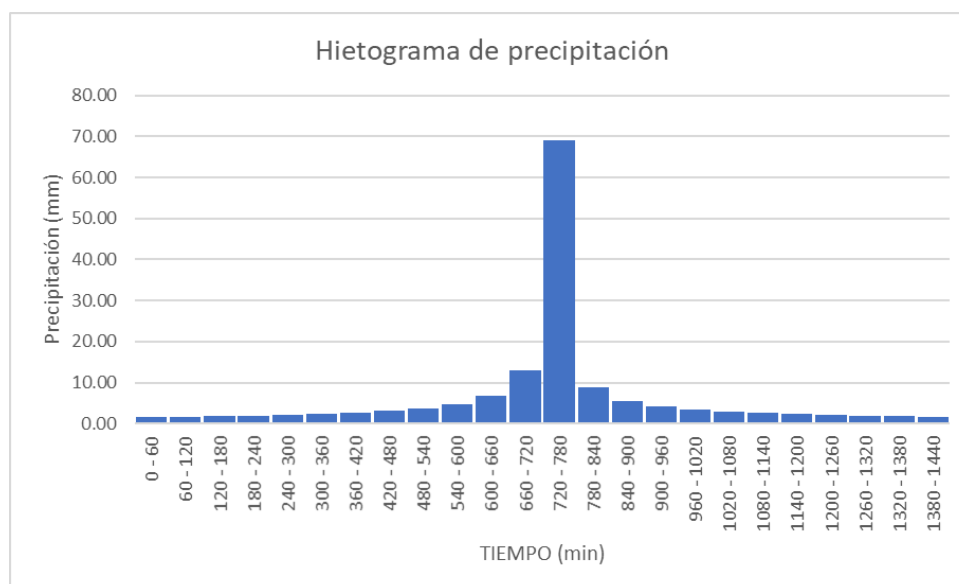
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 65: Precipitaciones alternadas para Tr=50 años. Estación Olmos

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	68.98	68.98	68.98	0 - 60	1.62
120	41.01	82.03	13.05	60 - 120	1.73
180	30.26	90.78	8.75	120 - 180	1.86
240	24.39	97.55	6.77	180 - 240	2.02
300	20.63	103.14	5.60	240 - 300	2.21
360	17.99	107.95	4.81	300 - 360	2.45
420	16.03	112.20	4.24	360 - 420	2.76
480	14.50	116.00	3.81	420 - 480	3.19
540	13.27	119.47	3.47	480 - 540	3.81
600	12.27	122.66	3.19	540 - 600	4.81
660	11.42	125.62	2.96	600 - 660	6.77
720	10.70	128.38	2.76	660 - 720	13.05
780	10.08	130.98	2.59	720 - 780	68.98
840	9.53	133.42	2.45	780 - 840	8.75
900	9.05	135.75	2.32	840 - 900	5.60
960	8.62	137.95	2.21	900 - 960	4.24
1020	8.24	140.06	2.11	960 - 1020	3.47
1080	7.89	142.08	2.02	1020 - 1080	2.96
1140	7.58	144.01	1.93	1080 - 1140	2.59
1200	7.29	145.87	1.86	1140 - 1200	2.32
1260	7.03	147.66	1.79	1200 - 1260	2.11
1320	6.79	149.39	1.73	1260 - 1320	1.93
1380	6.57	151.06	1.67	1320 - 1380	1.79
1440	6.36	152.67	1.62	1380 - 1440	1.67

*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 66: Hietograma de Diseño. Tr 50 años. Estación Olmos



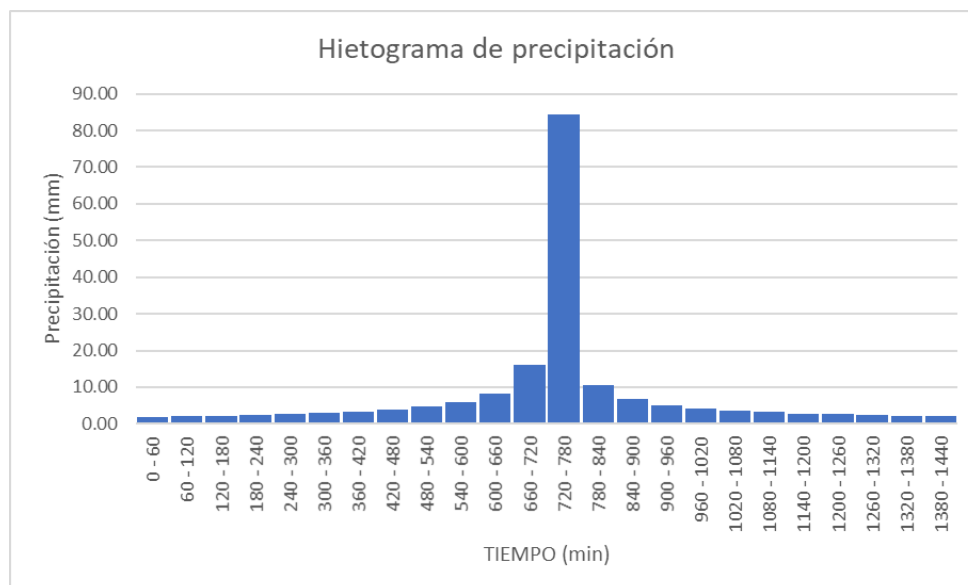
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 67: Precipitaciones alternadas para Tr=100 años. Estación Olmos

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	84.32	84.32	84.32	0 - 60	1.98
120	50.14	100.28	15.95	60 - 120	2.11
180	36.99	110.97	10.70	120 - 180	2.27
240	29.81	119.25	8.28	180 - 240	2.46
300	25.22	126.09	6.84	240 - 300	2.70
360	22.00	131.97	5.88	300 - 360	2.99
420	19.59	137.16	5.19	360 - 420	3.38
480	17.73	141.81	4.66	420 - 480	3.90
540	16.23	146.05	4.24	480 - 540	4.66
600	14.99	149.95	3.90	540 - 600	5.88
660	13.96	153.56	3.62	600 - 660	8.28
720	13.08	156.94	3.38	660 - 720	15.95
780	12.32	160.11	3.17	720 - 780	84.32
840	11.65	163.11	2.99	780 - 840	10.70
900	11.06	165.94	2.84	840 - 900	6.84
960	10.54	168.64	2.70	900 - 960	5.19
1020	10.07	171.22	2.58	960 - 1020	4.24
1080	9.65	173.68	2.46	1020 - 1080	3.62
1140	9.27	176.05	2.36	1080 - 1140	3.17
1200	8.92	178.32	2.27	1140 - 1200	2.84
1260	8.60	180.51	2.19	1200 - 1260	2.58
1320	8.30	182.62	2.11	1260 - 1320	2.36
1380	8.03	184.66	2.04	1320 - 1380	2.19
1440	7.78	186.63	1.98	1380 - 1440	2.04

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 68: Hietograma de Diseño. Tr 100 años. Estación Olmos



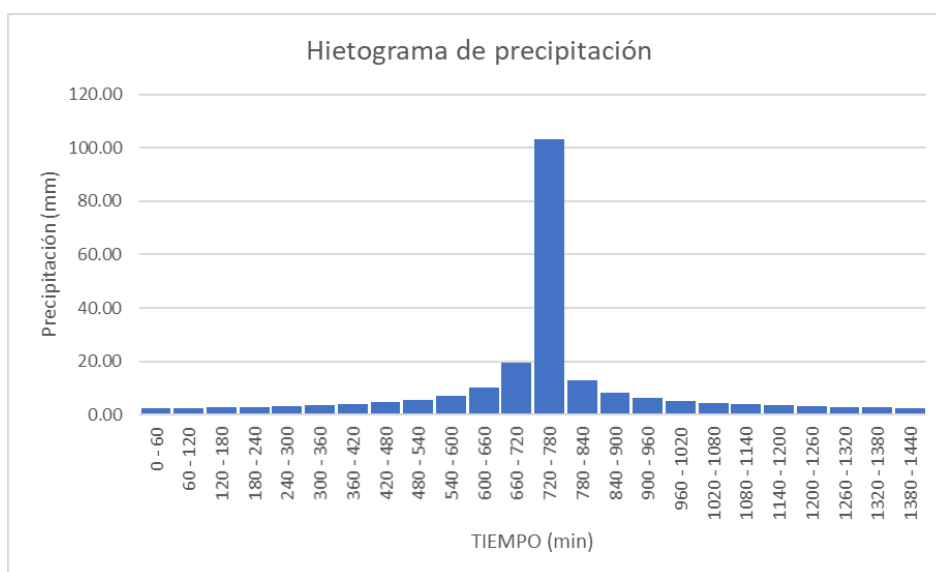
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 69: Precipitaciones alternadas para $T_r=200$ años. Estación Olmos

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	103.08	103.08	103.08	0 - 60	2.41
120	61.29	122.58	19.50	60 - 120	2.58
180	45.22	135.66	13.08	120 - 180	2.78
240	36.44	145.78	10.12	180 - 240	3.01
300	30.83	154.14	8.36	240 - 300	3.30
360	26.89	161.33	7.19	300 - 360	3.66
420	23.95	167.67	6.34	360 - 420	4.13
480	21.67	173.36	5.69	420 - 480	4.77
540	19.84	178.54	5.18	480 - 540	5.69
600	18.33	183.30	4.77	540 - 600	7.19
660	17.07	187.72	4.42	600 - 660	10.12
720	15.99	191.85	4.13	660 - 720	19.50
780	15.06	195.73	3.88	720 - 780	103.08
840	14.24	199.39	3.66	780 - 840	13.08
900	13.52	202.86	3.47	840 - 900	8.36
960	12.88	206.16	3.30	900 - 960	6.34
1020	12.31	209.31	3.15	960 - 1020	5.18
1080	11.80	212.32	3.01	1020 - 1080	4.42
1140	11.33	215.21	2.89	1080 - 1140	3.88
1200	10.90	217.99	2.78	1140 - 1200	3.47
1260	10.51	220.66	2.68	1200 - 1260	3.15
1320	10.15	223.24	2.58	1260 - 1320	2.89
1380	9.81	225.74	2.49	1320 - 1380	2.68
1440	9.51	228.15	2.41	1380 - 1440	2.49

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 70: Hietograma de Diseño. $T_r$ 200 años. Estación Olmos



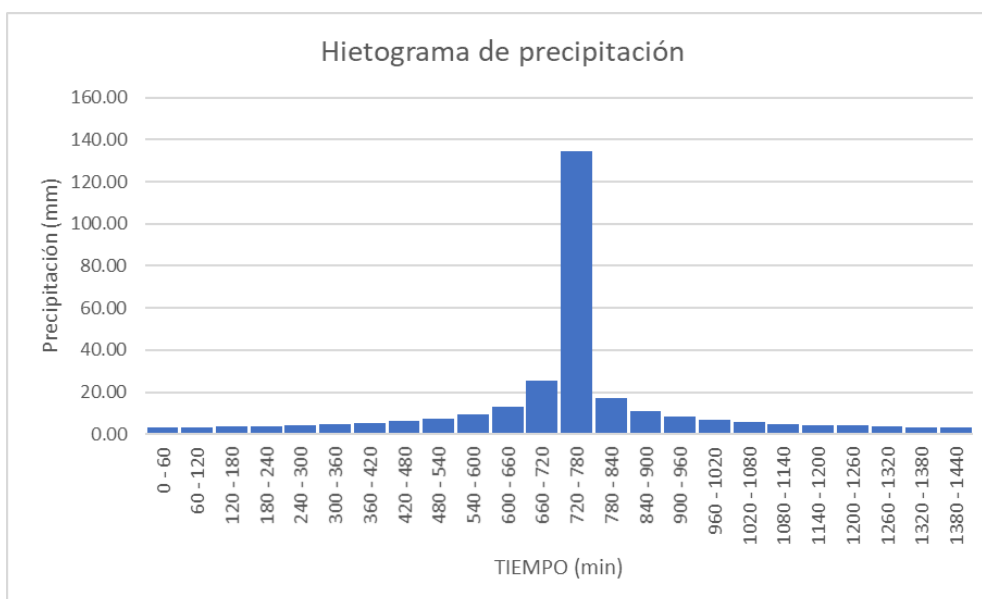
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 71: Precipitaciones alternadas para Tr=500 años. Estación Olmos

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDAD ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACIÓN
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	134.43	134.43	134.43	0 - 60	3.15
120	79.93	159.86	25.43	60 - 120	3.37
180	58.97	176.92	17.05	120 - 180	3.62
240	47.53	190.11	13.19	180 - 240	3.93
300	40.20	201.02	10.91	240 - 300	4.30
360	35.07	210.39	9.37	300 - 360	4.77
420	31.24	218.66	8.27	360 - 420	5.38
480	28.26	226.08	7.42	420 - 480	6.21
540	25.87	232.84	6.76	480 - 540	7.42
600	23.91	239.05	6.21	540 - 600	9.37
660	22.26	244.81	5.76	600 - 660	13.19
720	20.85	250.20	5.38	660 - 720	25.43
780	19.64	255.26	5.06	720 - 780	134.43
840	18.57	260.03	4.77	780 - 840	17.05
900	17.64	264.55	4.52	840 - 900	10.91
960	16.80	268.86	4.30	900 - 960	8.27
1020	16.06	272.96	4.11	960 - 1020	6.76
1080	15.38	276.89	3.93	1020 - 1080	5.76
1140	14.77	280.66	3.77	1080 - 1140	5.06
1200	14.21	284.28	3.62	1140 - 1200	4.52
1260	13.70	287.77	3.49	1200 - 1260	4.11
1320	13.23	291.14	3.37	1260 - 1320	3.77
1380	12.80	294.39	3.25	1320 - 1380	3.49
1440	12.40	297.54	3.15	1380 - 1440	3.25

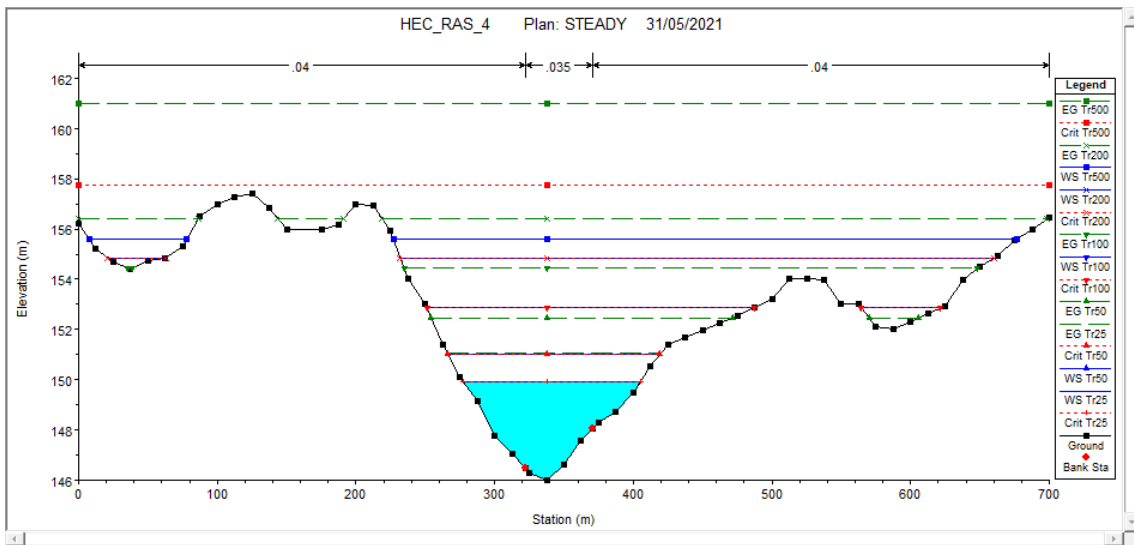
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 72: Hietograma de Diseño. Tr 500 años. Estación Olmos



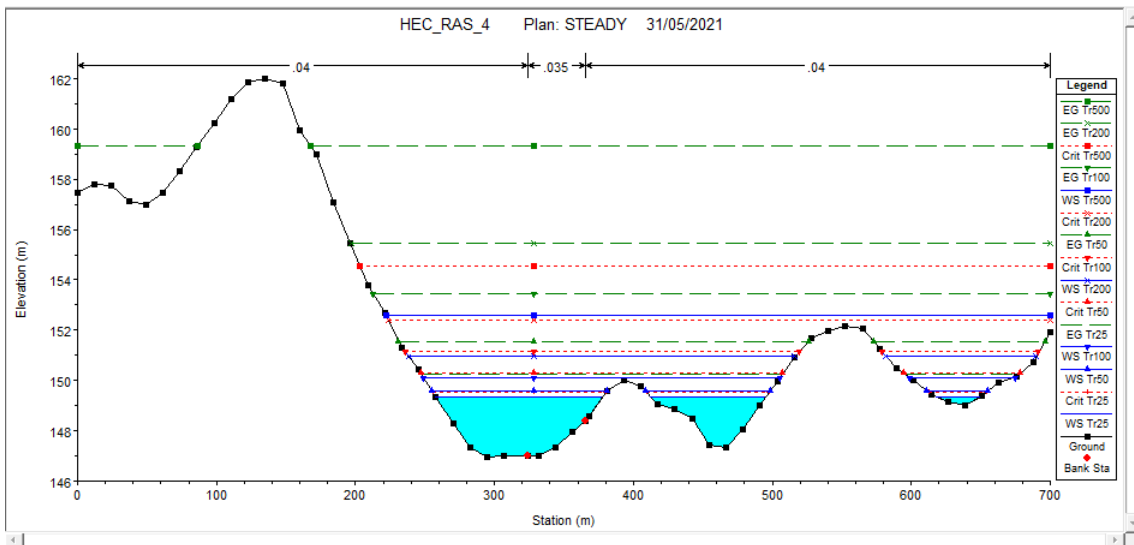
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 73: Sección de progresiva 22+125



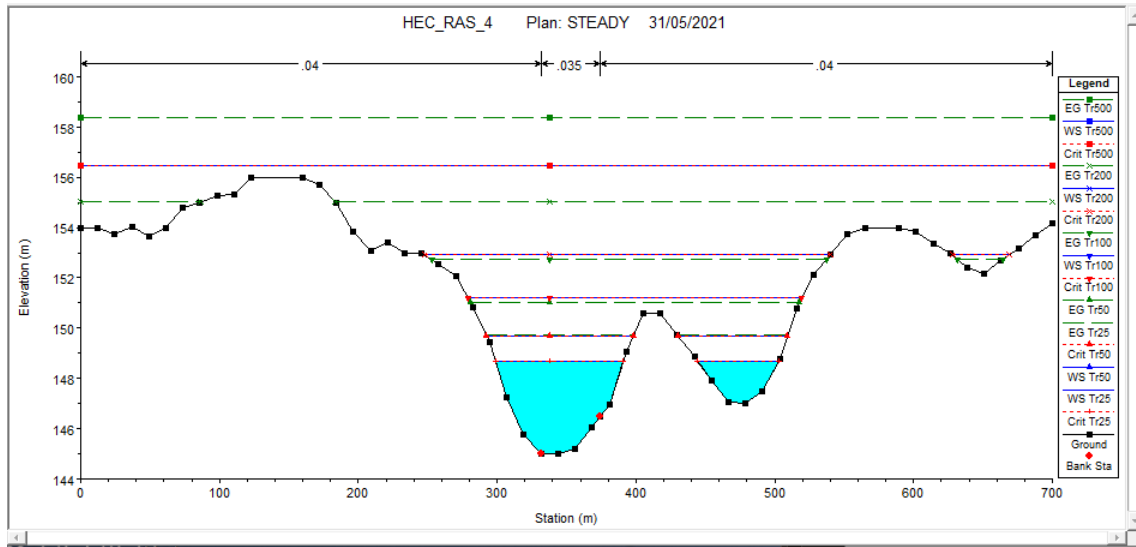
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 74: Sección de progresiva 22+050



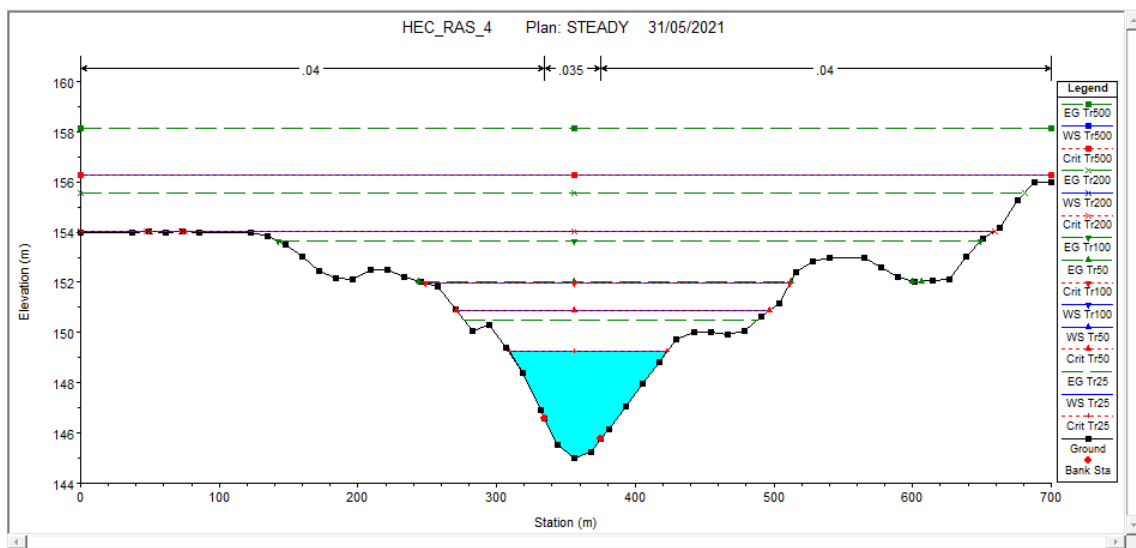
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

**Anexo 75: Sección de progresiva 21+975**



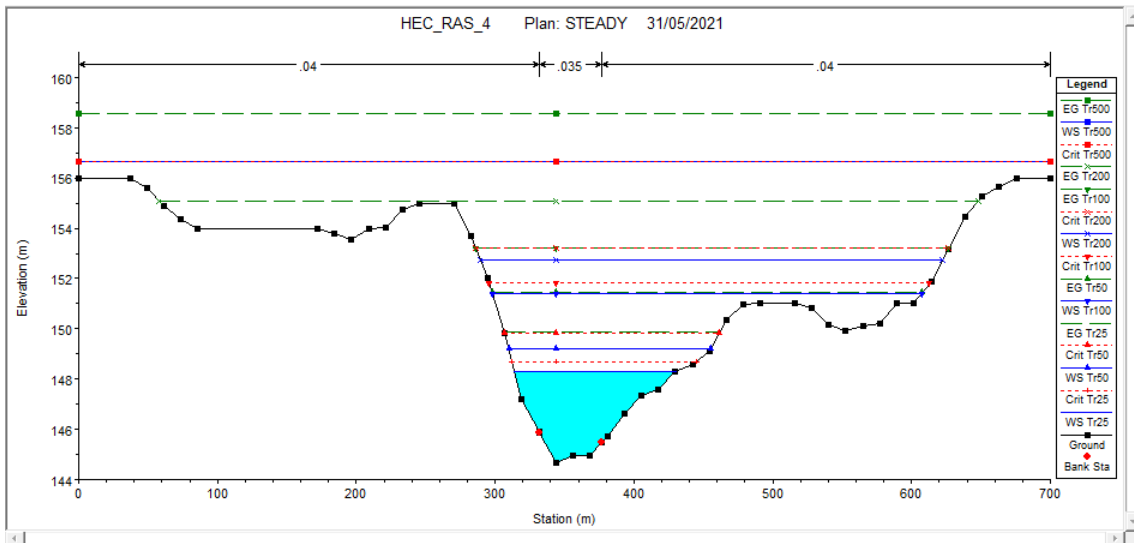
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

**Anexo 76: Sección de progresiva 21+900**



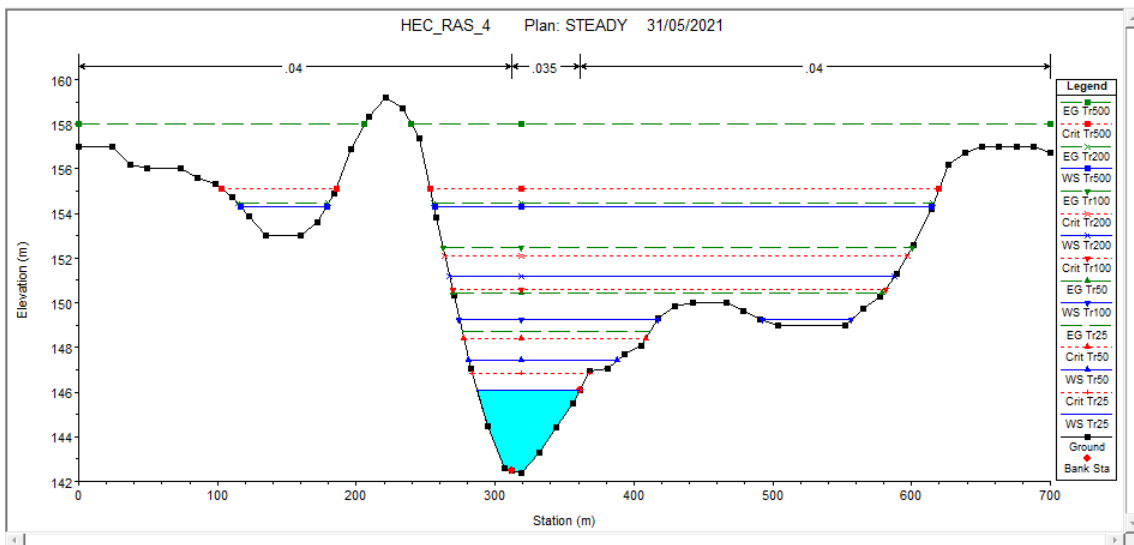
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 77: Sección de progresiva 21+825



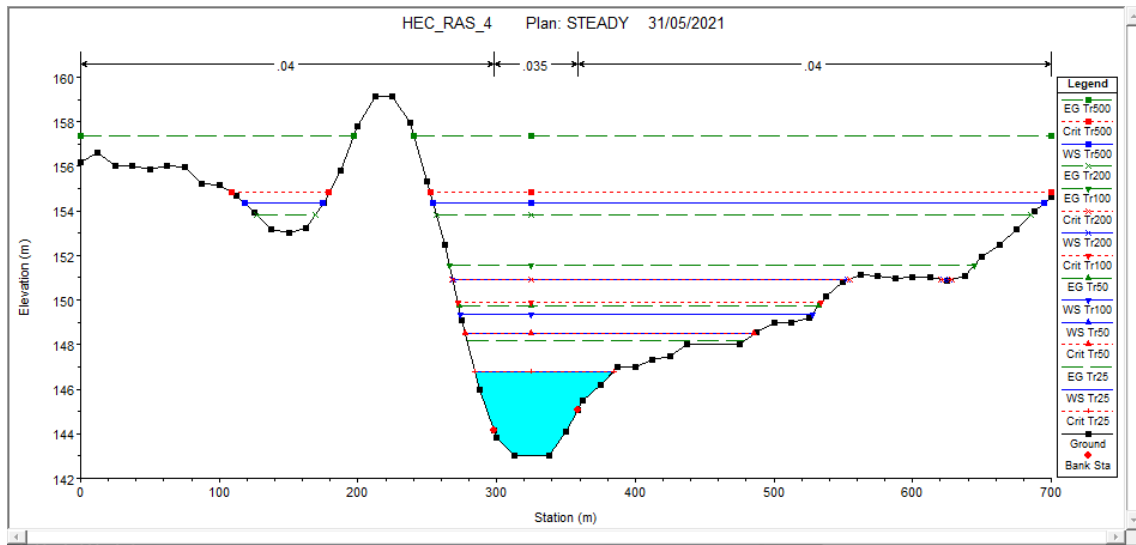
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 78: Sección de progresiva 21+750



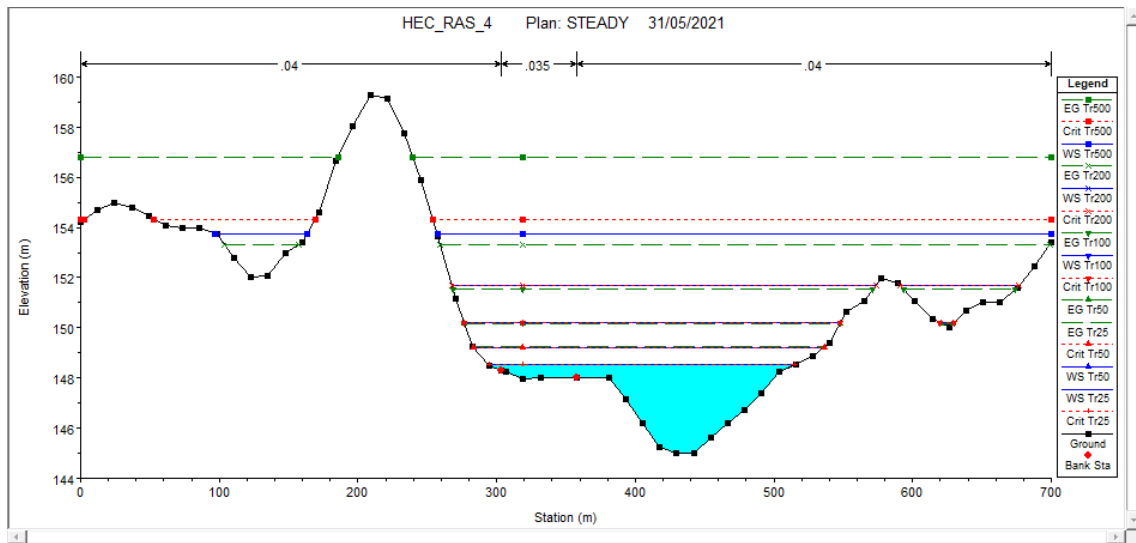
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 79: Sección de progresiva 21+675



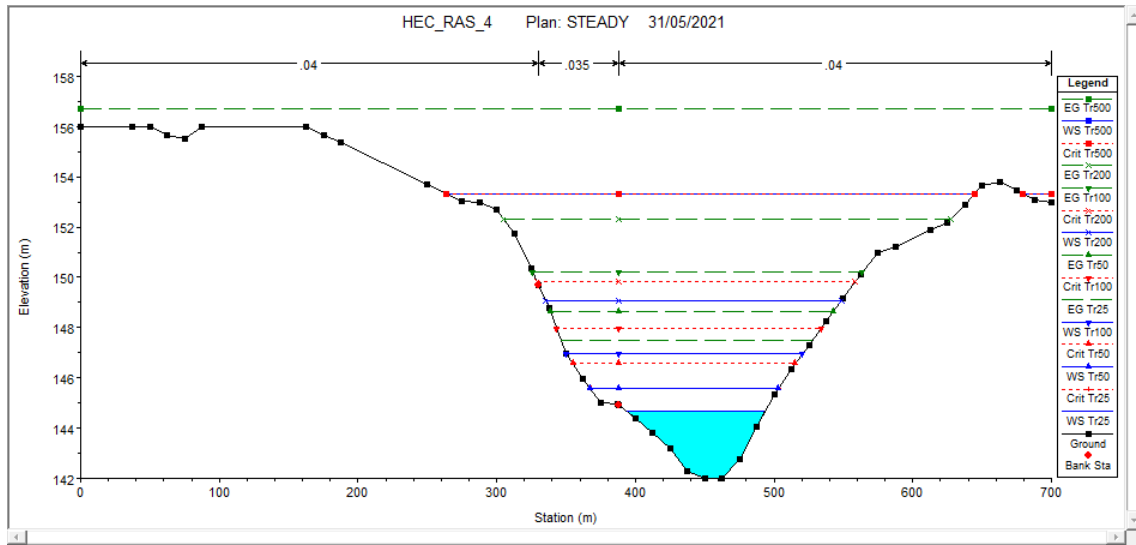
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 80: Sección de progresiva 21+600



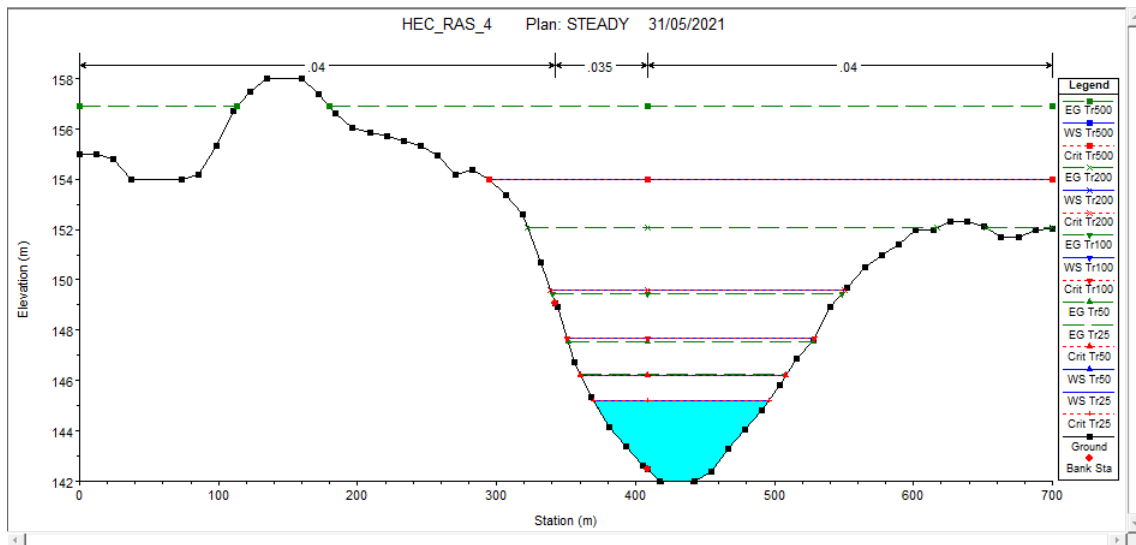
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 81: Sección de progresiva 21+525



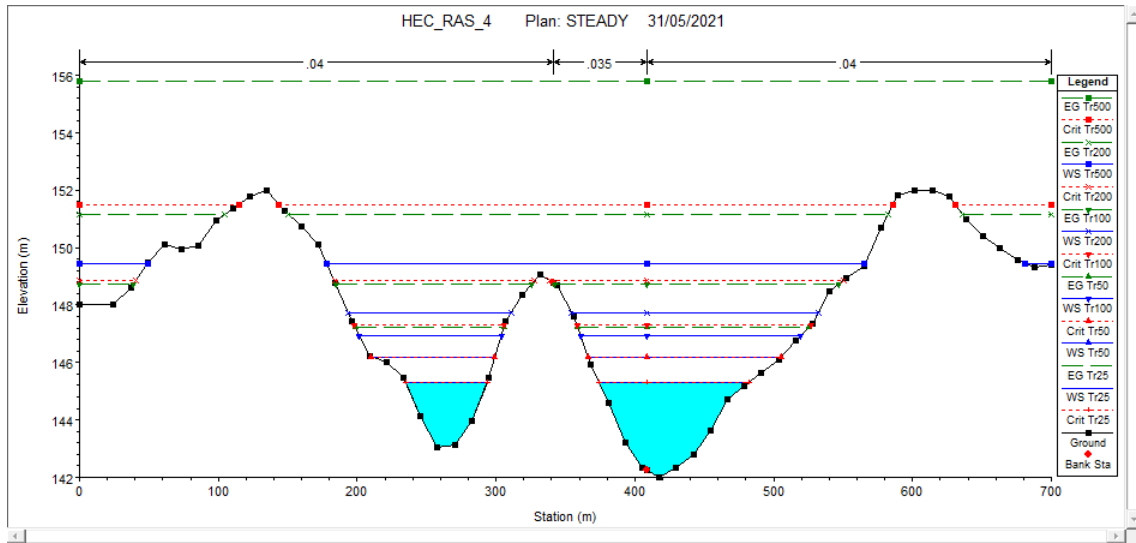
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 82: Sección de progresiva 21+450



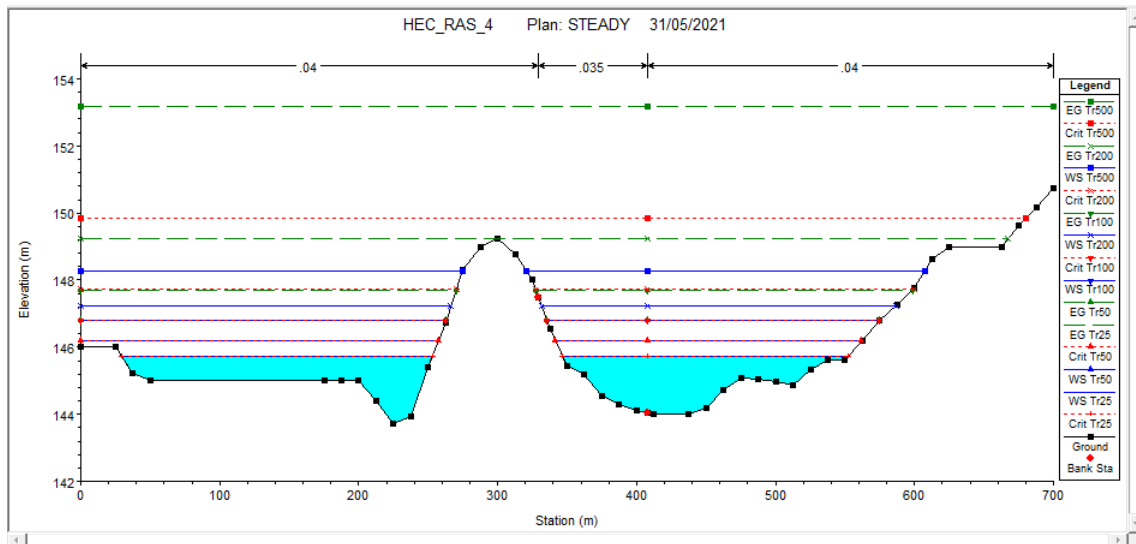
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 83: Sección de progresiva 21+375



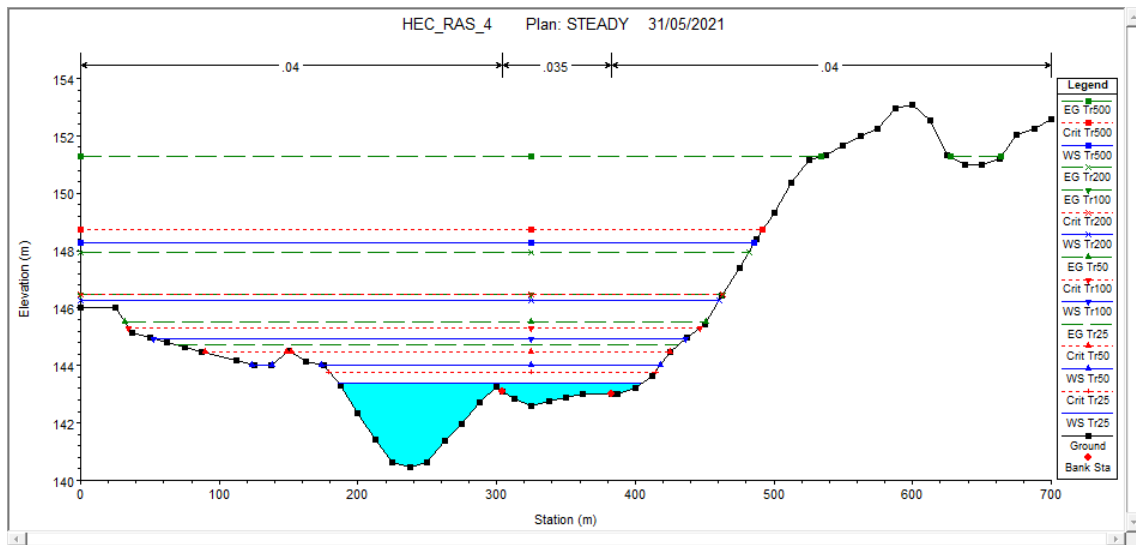
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 84: Sección de progresiva 21+300



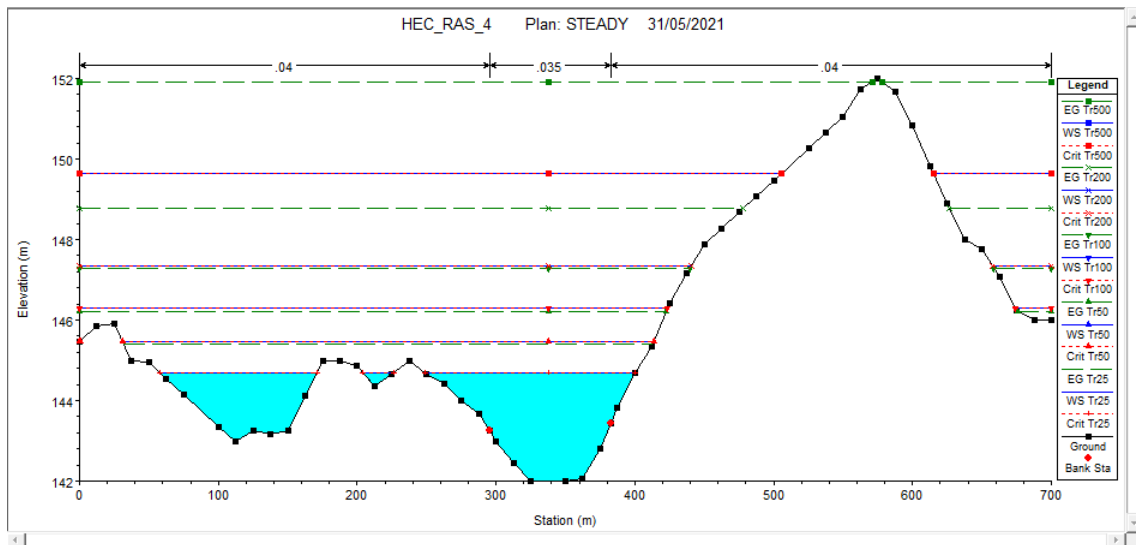
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 85: Sección de progresiva 21+300



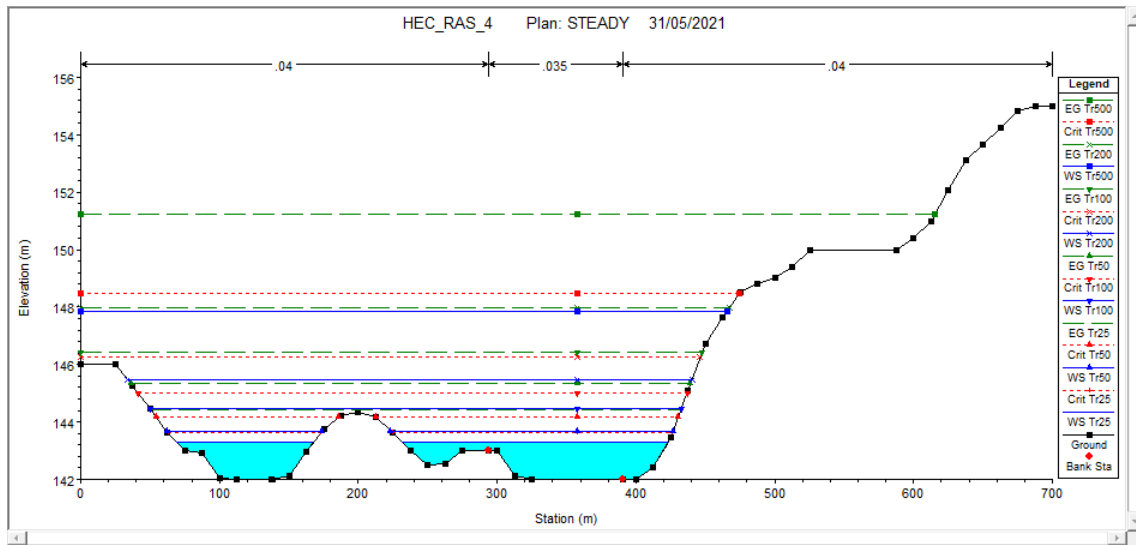
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 86: Sección de progresiva 21+150



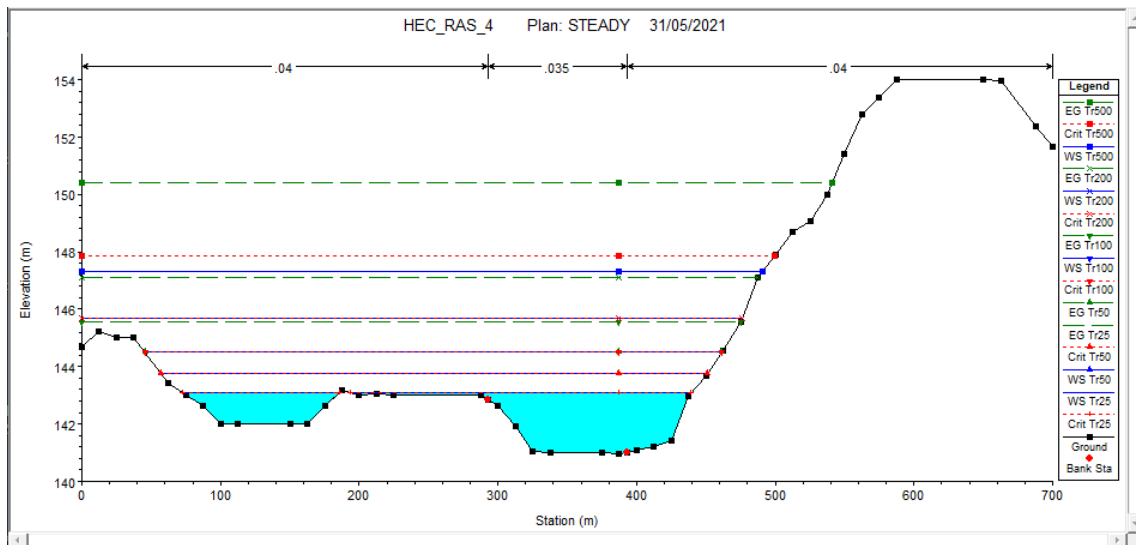
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

**Anexo 87: Sección de progresiva 21+075**



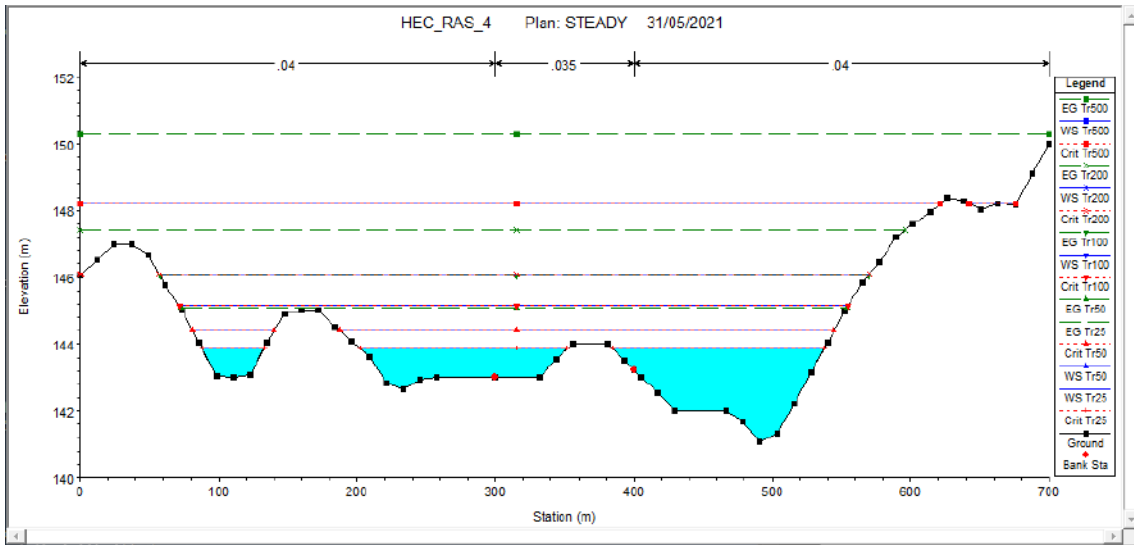
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

**Anexo 88: Sección de progresiva 21+000**



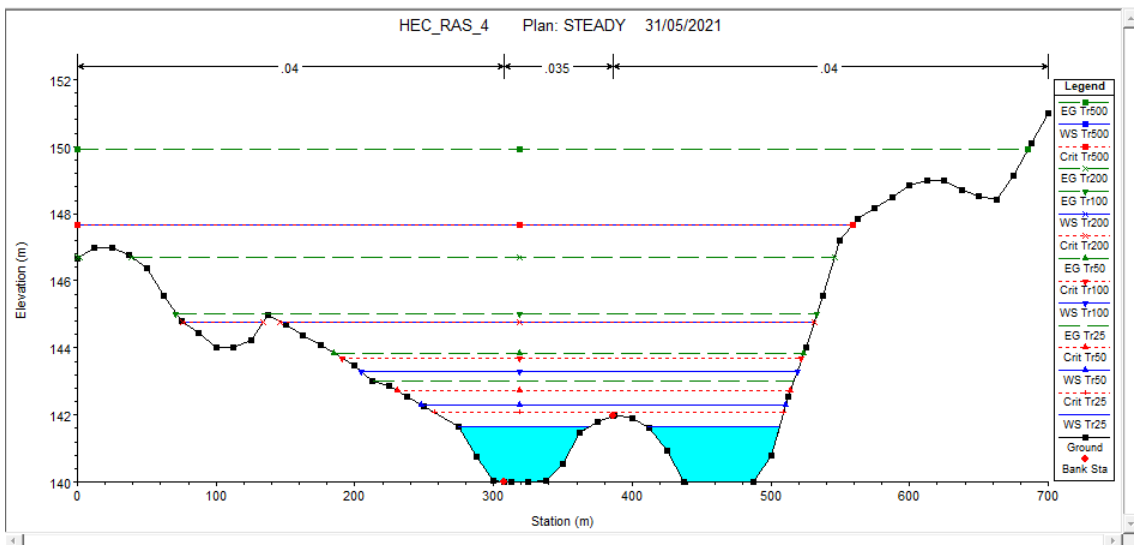
*Fuente: Elaboración Propia. 2020.*

### Anexo 89: Sección de progresiva 20+925



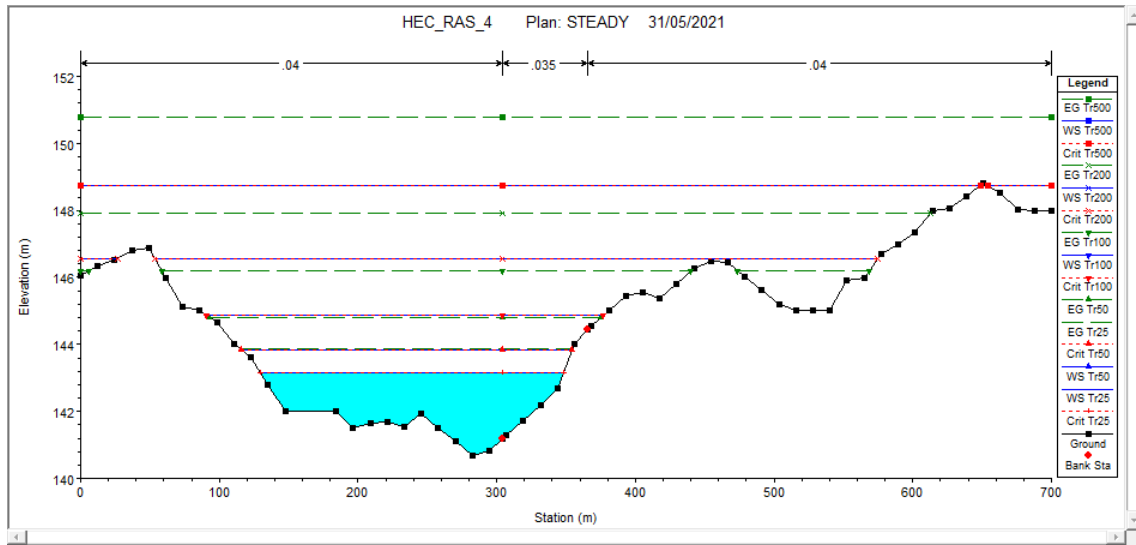
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 90: Sección de progresiva 20+850



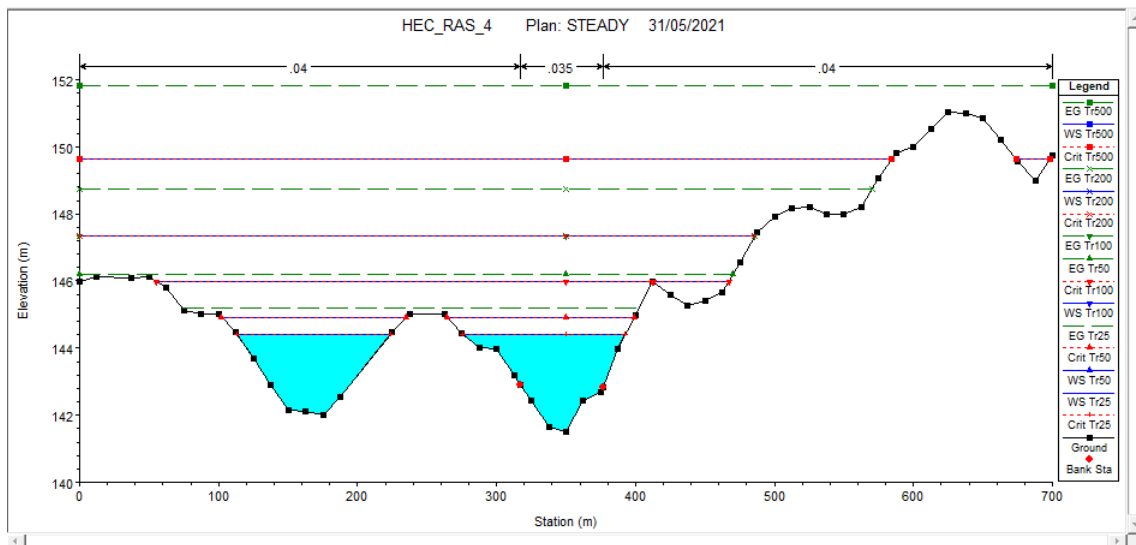
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 91: Sección de progresiva 20+775



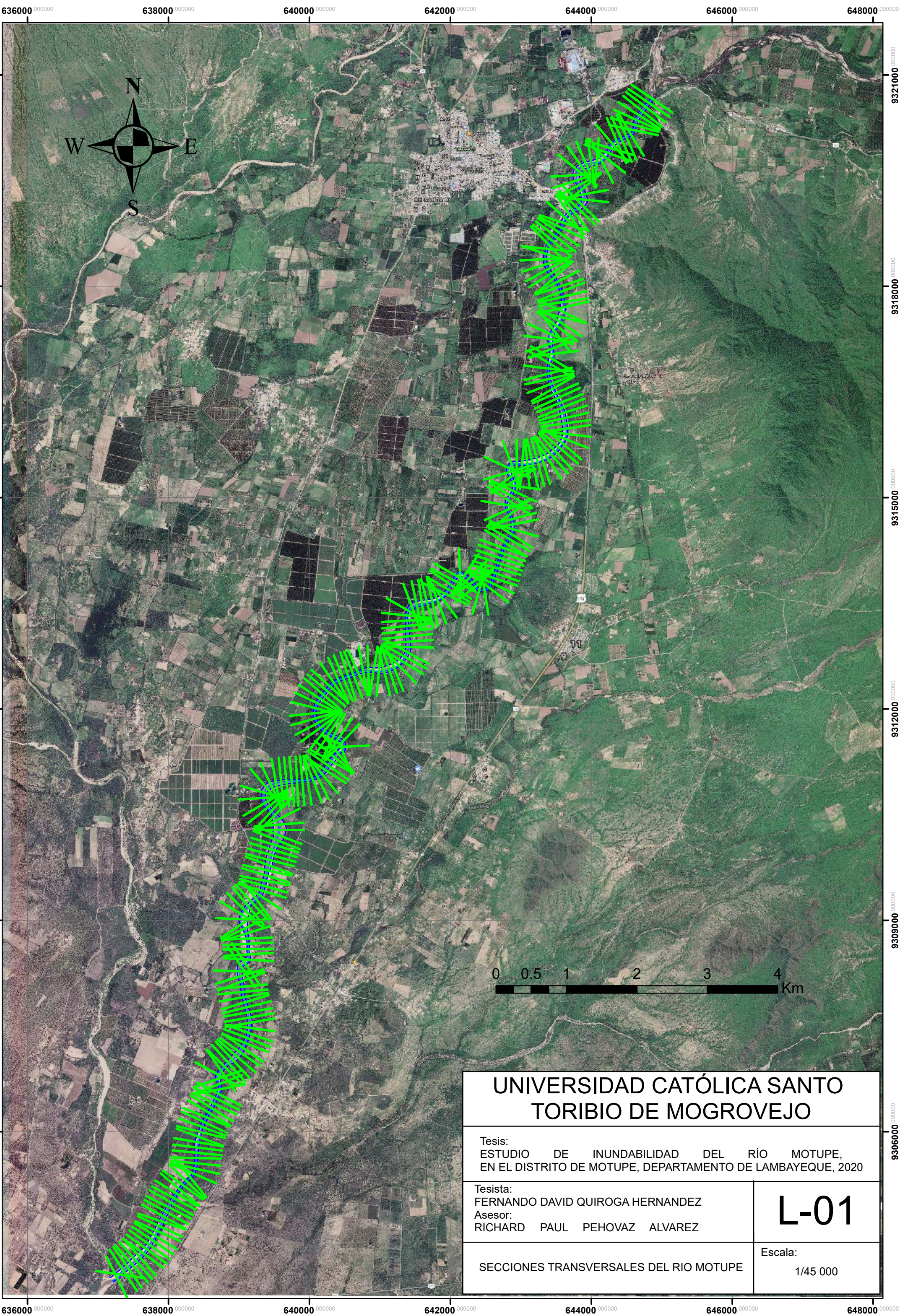
Fuente: Elaboración Propia. 2020.

### Anexo 92: Sección de progresiva 20+700



Fuente: Elaboración Propia. 2020.

**Anexo 93: Planos**



# UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

Tesis:  
 ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE,  
 EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020

Tesista:  
 FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ  
 Asesor:  
 RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ

## L-01

SECCIONES TRANSVERSALES DEL RIO MOTUPE

Escala:  
 1/45 000

638000 000000

640000 000000

642000 000000

644000 000000

646000 000000



9318000 000000

9318000 000000

9315000 000000

9315000 000000

9312000 000000

9312000 000000

9309000 000000

9309000 000000

9306000 000000

9306000 000000

638000 000000

640000 000000

642000 000000

644000 000000

646000 000000

### Legend

d Tr25

Value



High : 6.3275

Low : 0.000137329



## UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

Tesis:  
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE,  
EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020

Tesista:  
FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ  
Asesor:  
RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ

# L-02

MAPA DE INUNDACIÓN Tr=25 años, Tirantes

Escala:  
1/45 000

638000.000000

640000.000000

642000.000000

644000.000000

646000.000000



9318000.000000

9318000.000000

9315000.000000

9315000.000000

9312000.000000

9312000.000000

9309000.000000

9309000.000000

9306000.000000

9306000.000000

638000.000000

640000.000000

642000.000000

644000.000000

646000.000000

### Legend

d Tr50

Value



High : 7.67493

Low : 5.34058e-005



## UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

Tesis:  
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE,  
EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020

Tesista:  
FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ  
Asesor:  
RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ

# L-03

MAPA DE INUNDACIÓN Tr=50 años, Tirantes

Escala:  
1/45 000

638000 000000

640000 000000

642000 000000

644000 000000

646000 000000



9318000 000000

9315000 000000

9312000 000000

9309000 000000

9306000 000000

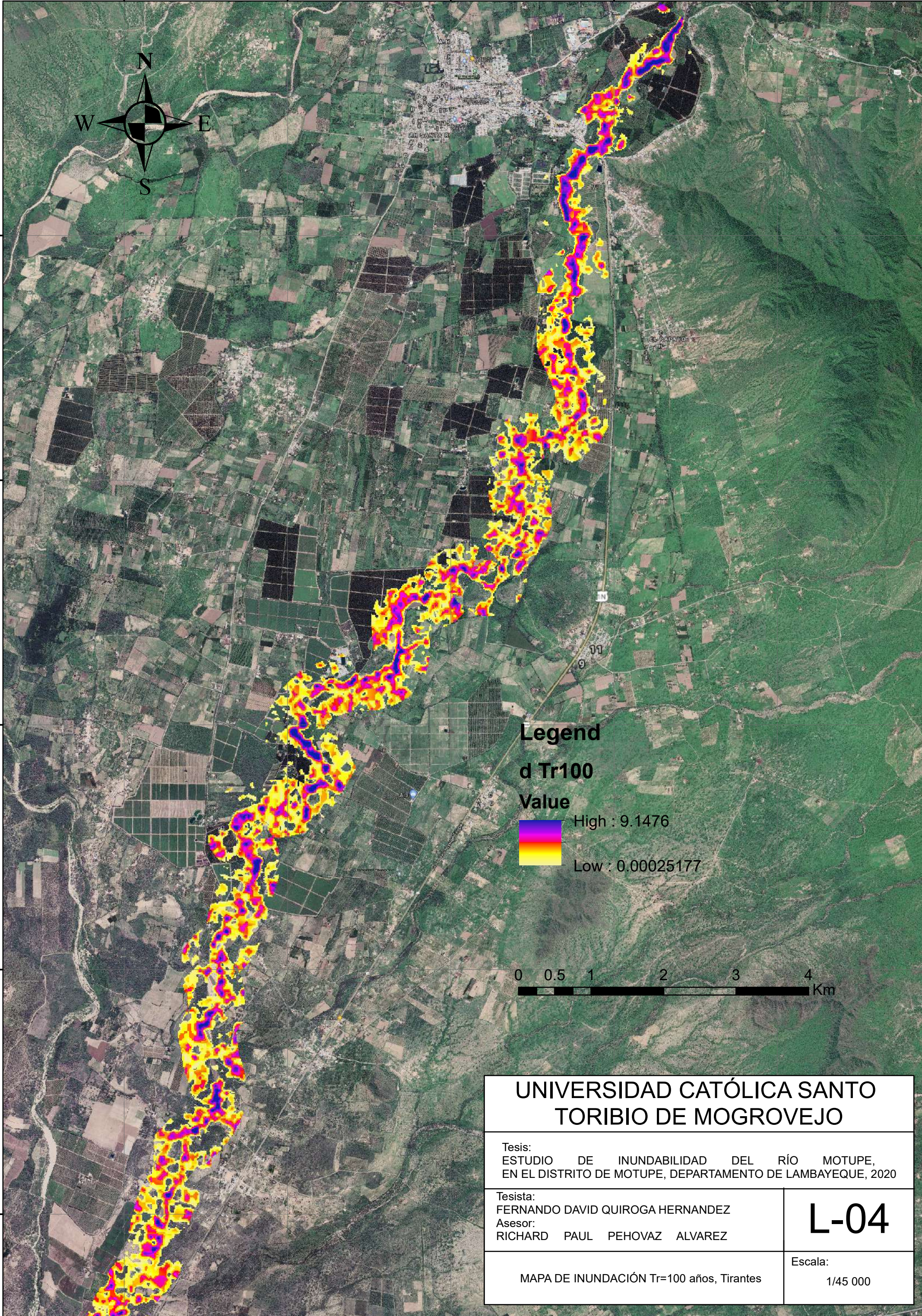
9318000 000000

9315000 000000

9312000 000000

9309000 000000

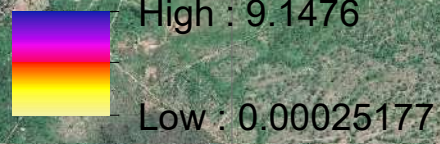
9306000 000000



**Legend**

**d Tr100**

**Value**



<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO</b>	
Tesis: ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE, EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020	
Tesista: FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ Asesor: RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ	<b>L-04</b>
MAPA DE INUNDACIÓN Tr=100 años, Tirantes	Escala: 1/45 000

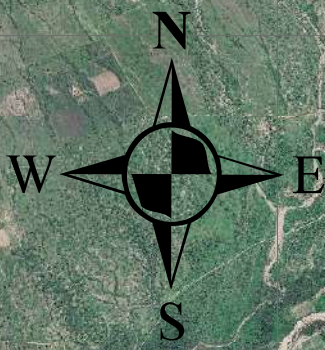
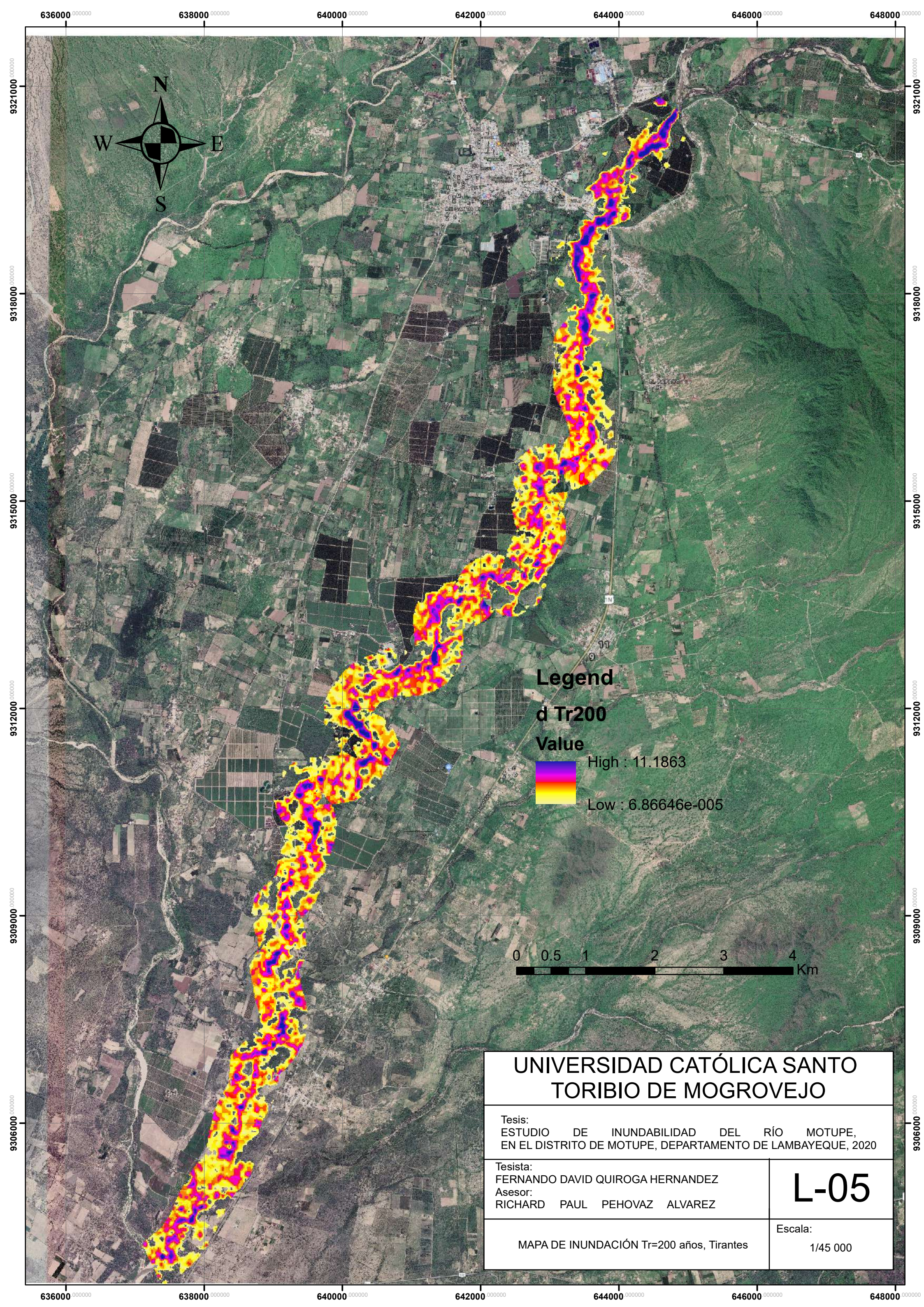
638000 000000

640000 000000

642000 000000

644000 000000

646000 000000



**Legend**

**d Tr200**

**Value**



High : 11.1863

Low : 6.86646e-005



<p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO</b></p>	
<p>Tesis: ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE, EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020</p>	
<p>Tesista: FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ Asesor: RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ</p>	<p><b>L-05</b></p>
<p>MAPA DE INUNDACIÓN Tr=200 años, Tirantes</p>	<p>Escala: 1/45 000</p>

638000.000000

640000.000000

642000.000000

644000.000000

646000.000000



9318000.000000

9315000.000000

9312000.000000

9309000.000000

9306000.000000

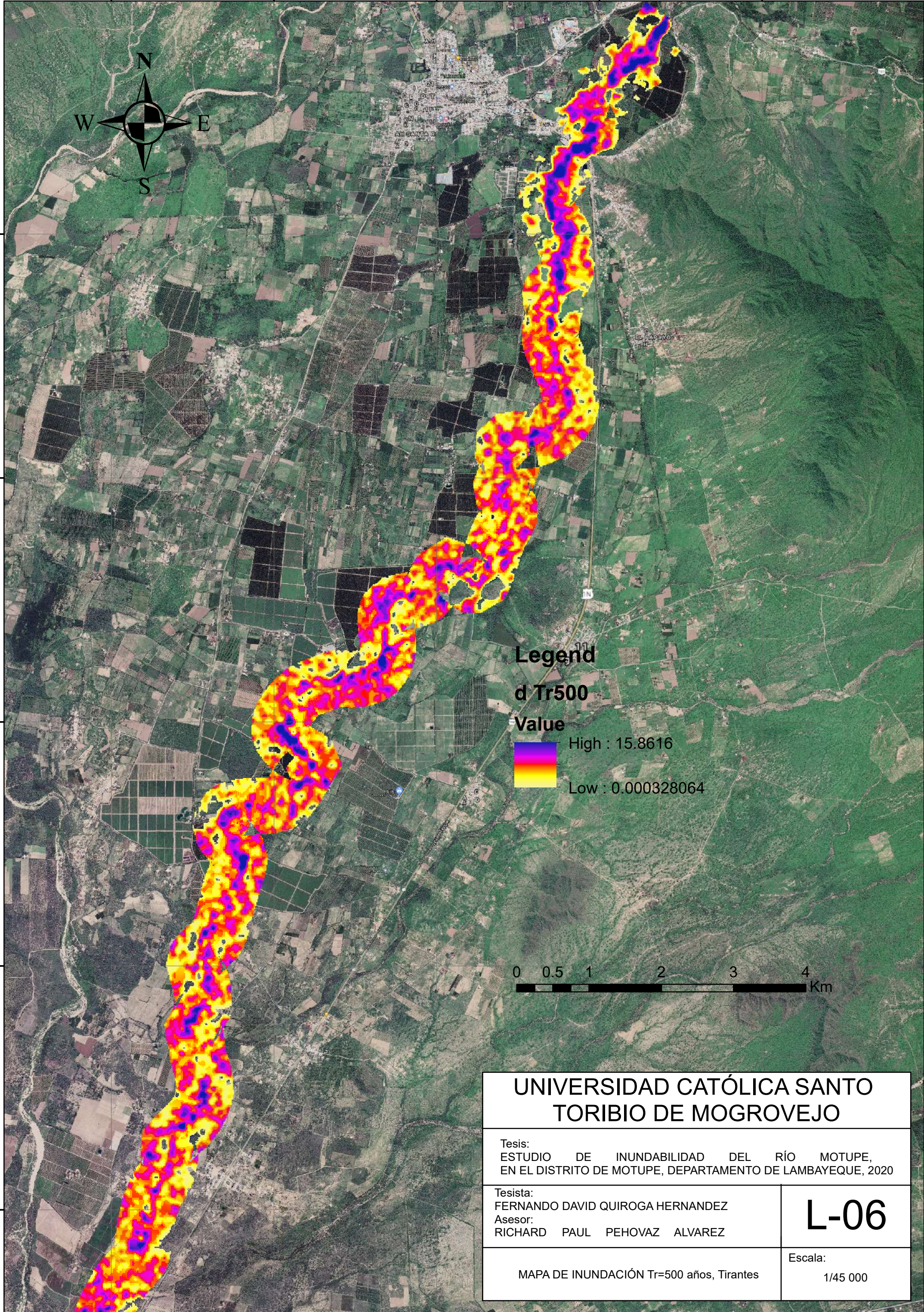
9318000.000000

9315000.000000

9312000.000000

9309000.000000

9306000.000000



**Legend**

d Tr500

Value



High : 15.8616

Low : 0.000328064



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

Tesis:  
ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE,  
EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020

Tesista:  
FERNANDO DAVID QUIROGA HERNANDEZ  
Asesor:  
RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ

**L-06**

MAPA DE INUNDACIÓN Tr=500 años, Tirantes

Escala:  
1/45 000

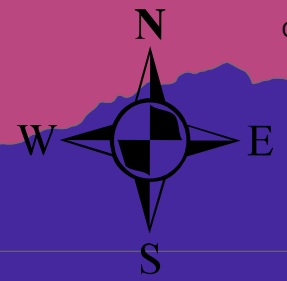
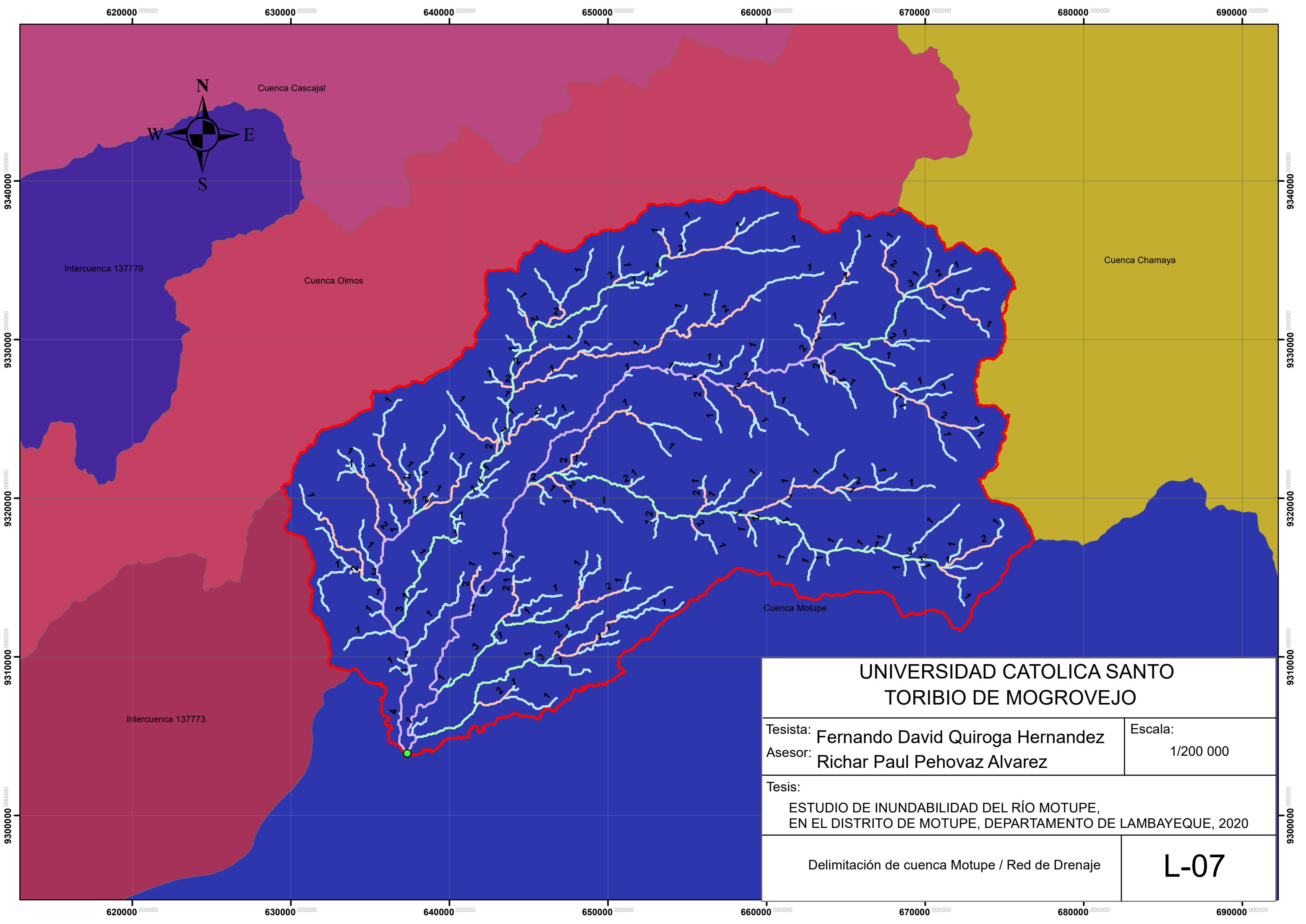
638000.000000

640000.000000

642000.000000

644000.000000

646000.000000



Intercuenca 137779

Cuenca Olmos

Cuenca Chamaya

Cuenca Motupe

Intercuenca 137773

**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

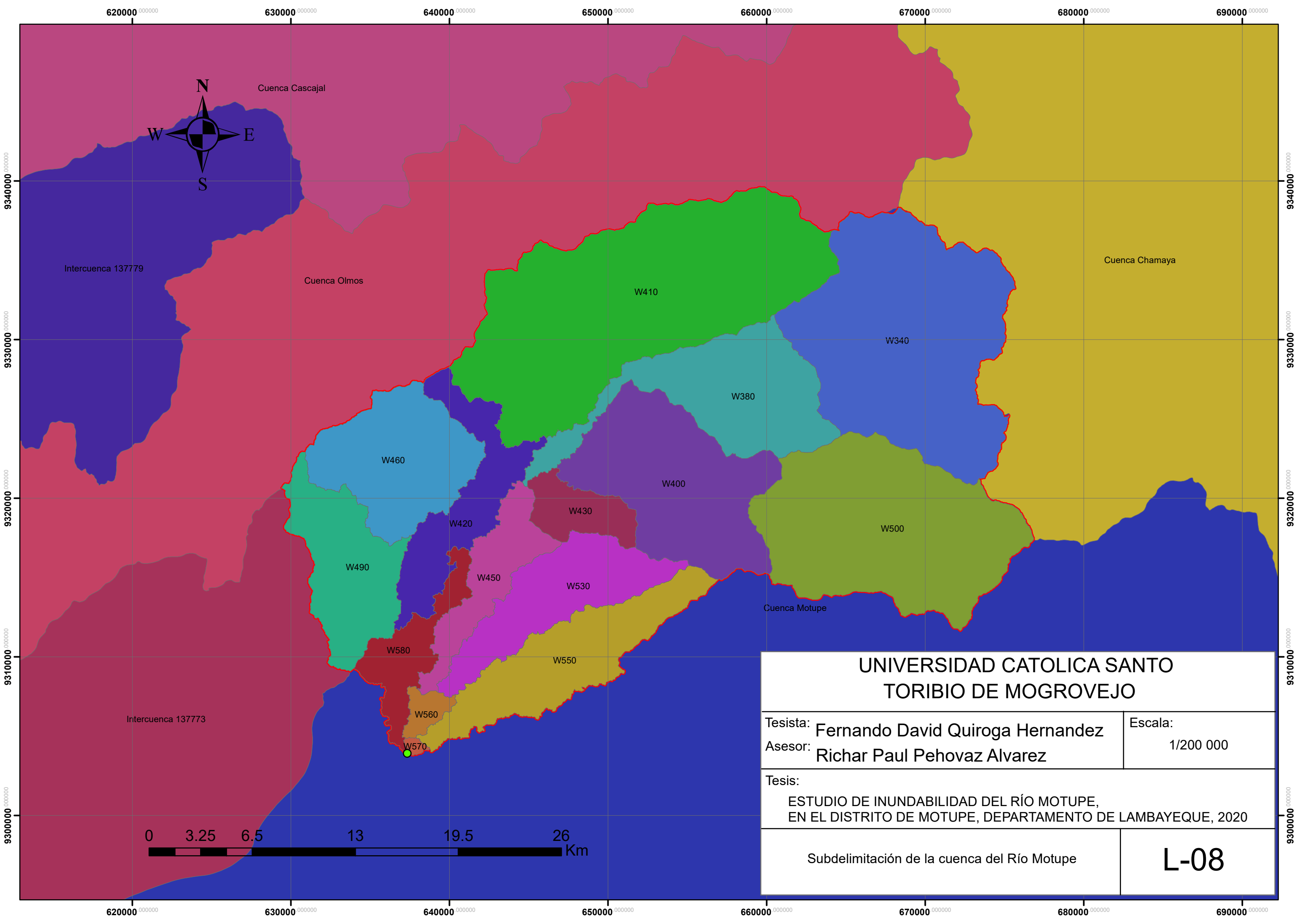
Tesista: Fernando David Quiroga Hernandez  
 Asesor: Richar Paul Pehovaz Alvarez

Escala:  
 1/200 000

Tesis:  
 ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE,  
 EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020

Delimitación de cuenca Motupe / Red de Drenaje

**L-07**



**UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

Tesista: **Fernando David Quiroga Hernandez**  
 Asesor: **Richar Paul Pehovaz Alvarez**

Escala:  
 1/200 000

Tesis:  
**ESTUDIO DE INUNDABILIDAD DEL RÍO MOTUPE, EN EL DISTRITO DE MOTUPE, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2020**

Subdelimitación de la cuenca del Río Motupe

**L-08**

