

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



ESTUDIO DE INUNDACIÓN EN LOS CULTIVOS DE ZAÑA A CAUSA DEL DESBORDE DEL RÍO ZAÑA PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 100, 200 Y 500 AÑOS, EMPLEANDO LOS MODELOS MATEMÁTICOS HEC-HMS Y HEC-RAS, EN EL DISTRITO DE ZAÑA, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2019

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

AUTOR

OSVIN FLORES CUBAS

ASESOR

ANIBAL TEODORO DÍAZ ORREGO

<https://orcid.org/0000-0003-2861-4015>

Chiclayo, 2021

**ESTUDIO DE INUNDACIÓN EN LOS CULTIVOS DE ZAÑA A
CAUSA DEL DESBORDE DEL RÍO ZAÑA PARA TIEMPOS
DE RETORNO DE 100, 200 Y 500 AÑOS, EMPLEANDO LOS
MODELOS MATEMÁTICOS HEC-HMS Y HEC-RAS, EN EL
DISTRITO DE ZAÑA, PROVINCIA DE CHICLAYO,
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, 2019**

PRESENTADA POR:

OSVIN FLORES CUBAS

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

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR:

Joaquin Hernan Rojas Oblitas

PRESIDENTE

Justo David Pedraza Franco

SECRETARIO

Anibal Teodoro Díaz Orrego

VOCAL

DEDICATORIA

Dedicado a los que hicieron posible la realización de esta investigación, mis padres que día a día velaron por mi bienestar, por formarme con valores y por brindarme todo su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Expresar mis más sinceros agradecimientos a Dios, por darme la salud, la voluntad y el ímpeto de la superación para realizar esta investigación, agradecer a mi asesor el Ing. Anibal Teodoro Díaz Orrego, quien estuvo siempre para orientar y conducir al correcto desarrollo de esta tesis, y agradecer a mis padres por todo el apoyo brindado.

ÍNDICE

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes del problema.....	17
2.2 Objetivos:	19
2.2.1 Objetivo General.....	19
2.2.2 Objetivos Específicos	19
2.3 Bases Teórico Científicas	20
2.3.1 Hidrología.....	20
2.3.2 El Ciclo Hidrológico.....	21
2.3.3 Problemas hidrológicos en Perú	22
2.3.4 Instituciones recopiladoras de datos en el Perú	22
2.3.5 Cuenca hidrográfica.....	22
2.3.6 Precipitación	28
2.3.7 Estudio de Tormentas	35
2.3.8 Caudales Máximos	41
2.3.9 Análisis estadístico de datos hidrológicos	45
2.3.10 Hidráulica	49
2.3.11 Modelos Matemáticos.....	55
2.3.12 Modelos digital de elevación.....	57
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	58
3.2. Población, muestra, muestreo	58
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	58
3.4. Plan de procesamiento y análisis de datos.....	58
Fase 1: Trabajo preliminar y procesamiento inicial de datos de precipitación	58

Fase 2: Construcción de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).....	59
Fase 3: Elaboración del modelo Hidrológico	60
Fase 4: Elaboración del modelo hidráulico	60
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1 Estudio Hidrológico.....	62
4.1.1 Delimitación de cuenca	62
4.1.2 Características de la cuenca del río Zaña.....	68
4.1.4 Análisis de Precipitación	72
4.1.5 precipitación de diseño	77
4.1.5.1 Polígono de Thiessen.....	77
4.1.5.2 Método de las isoyetas.....	78
4.1.6 Curvas IDF	84
4.1.6 Hietograma de diseño	87
4.1.7 Modelado en Hec-Hms.....	94
4.1.7.1 Resultados del Modelo Hec-Hms	98
4.2 Modelamiento Hidráulico.....	100
4.2.1 Hec-GeoRas.....	101
4.2.2 Hec-Ras	103
4.2.3 Resultados de la simulación de inundación.....	107
4.2.4 Determinación de sección hidráulica estable.....	112
V. CONCLUSIONES	115
VI. RECOMENDACIONES.	116
VII. REFERENCIAS	117
VIII. ANEXOS	120

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Nivel de significancia.....	48
Tabla 2: Coeficiente de rugosidad de Manning.....	54
Tabla 3: Subcuencas de la cuenca río Zaña.....	64
Tabla 4: Datos de curva Hipsométrica	69
Tabla 5: Parámetros de relieve de la cuenca del río Zaña	71
Tabla 6: Cálculo de elevación media.....	71
Tabla 7: Ubicación de las estaciones de estudio.....	72
Tabla 8: Precipitaciones con datos faltantes estación Udima.....	73
Tabla 9: Datos completos de precipitación de la estación Udima.....	74
Tabla 10: Precipitaciones máximas de la estación Udima	75
Tabla 11: Prueba de bondad de ajuste, estación Udima	76
Tabla 12: Precipitación máx. 24h Vs Tr.....	77
Tabla 13: Precipitación media TR=100 años	78
Tabla 14: Precipitación media TR=200 años	78
Tabla 15: Precipitación media TR=500 años	78
Tabla 16: Precipitación media TR=100 años	79
Tabla 17: Precipitación media TR=200 años	79
Tabla 18: Precipitación media TR=500 años	79
Tabla 19: Precipitación media	84
Tabla 20: Coeficientes de duración	84
Tabla 21: Precipitación media de la cuenca	84
Tabla 22: Intensidad media de la cuenca Zaña.....	85
Tabla 23: Ecuación de regresión lineal para las precipitaciones medias.....	86
Tabla 24: Tabla de intensidad Media-Tiempo de duración-Periodo de retorno.....	86
Tabla 25: Hietograma de intensidades Tr=100	88
Tabla 26: Hietograma de intensidades Tr=200 años	89
Tabla 27: Hietograma de intensidades Tr=500 años	90
Tabla 28: Hidrograma de precipitaciones TR=100 años.....	91
Tabla 29: Hidrograma de precipitaciones TR=200 años.....	92
Tabla 30: Hidrograma de precipitaciones TR=500 años.....	93
Tabla 31: Número de Curva de las Subcuencas del río Zaña.....	95
Tabla 32: Abstracción inicial.....	95

Tabla 33: Tiempo de Concentración de las Subcuencas	96
Tabla 34: Lag-Time, Subcuencas	97
Tabla 35: Caudales proyectados a diferentes periodos de retorno	98
Tabla 36: Cuadro resumen de áreas inundables	111
Tabla 37: Precipitación máxima para la estación Lives	131
Tabla 38: Precipitación máxima para la estación Cayalti.....	131
Tabla 39: Precipitación máxima para la estación El Espinal.....	132
Tabla 40: Precipitación máxima para la estación Niepos.....	132
Tabla 41: Precipitación máxima para la estación Oyotun	133
Tabla 42: Intensidad máxima para la estación Lives.....	133
Tabla 43: Intensidad máxima para la estación Cayalti	134
Tabla 44: Intensidad máxima para la estación El Espinal	134
Tabla 45: Intensidad máxima para la estación Niepos	135
Tabla 46: Intensidad máxima para la estación Oyotun.....	135
Tabla 47: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Udima.....	136
Tabla 48: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Lives.....	137
Tabla 49: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-El Espinal	138
Tabla 50: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Cayalti	139
Tabla 51: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Niepos	140
Tabla 52: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Niepos	141
Tabla 53: Hietograma de precipitaciones Tr=100 años, estación Udima.....	142
Tabla 54: Hietograma Tr=200 años, estación Udima.....	143
Tabla 55: Hietograma Tr=500 años, estación Udima.....	144
Tabla 56: Hietograma Tr=100 años, estación Lives.....	145
Tabla 57: Hietograma Tr=200 años, estación Lives.....	146
Tabla 58: Hietograma Tr=500 años, estación Lives.....	147
Tabla 59: Hietograma Tr=100 años, estación El Espinal	148
Tabla 60: Hietograma Tr=200 años, estación El Espinal	149
Tabla 61: Hietograma Tr=500 años, estación El Espinal	150
Tabla 62: Hietograma Tr=100 años, estación Cayalti	151
Tabla 63: Hietograma Tr=200 años, estación Cayalti	152
Tabla 64: Hietograma Tr=500 años, estación Cayalti	153
Tabla 65: Hietograma Tr=100 años, estación Oyotun.....	154
Tabla 66: Hietograma Tr=200 años, estación Oyotun.....	155

Tabla 67: Hietograma Tr=500 años, estación Oyotun.....	156
Tabla 68: Hietograma Tr=100 años, estación Niepos	157
Tabla 69: Hietograma Tr=200 años, estación Niepos	158
Tabla 70: Hietograma Tr=500 años, estación Niepos	159

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: El ciclo hidrológico,	21
Ilustración 2: Cuenca Hidrográfica.....	23
Ilustración 3: División de una cuenca.....	24
Ilustración 4: Delimitación de una cuenca	24
Ilustración 5: Curva hipsométrica	28
Ilustración 6: Precipitación orográfica	30
Ilustración 7: . Pluviómetro	30
Ilustración 8: Pluviograma.....	31
Ilustración 9: Método de Thiessen.....	34
Ilustración 10: Métodos de Precipitación media	35
Ilustración 11: Modelo de hietograma.....	38
Ilustración 12: Curva masa acumulada.....	39
Ilustración 13: Modelo curva IDF	41
Ilustración 14: Sección transversal de un río.....	42
Ilustración 15: Hidrograma sintético unitario triangular	44
Ilustración 16: Lecho rígido y lecho móvil	49
Ilustración 17: Canal Hidráulico	51
Ilustración 18: Parámetros de la sección transversal de un canal.....	52
Ilustración 19: Ubicación cartográfica de la cuenca del río Zaña	62
Ilustración 20: Delimitación de la cuenca del río Zaña.....	63
Ilustración 21: Tin Zaña	65
Ilustración 22: Red hídrica de la cuenca del rio Zaña	66
Ilustración 23: Curva hipsométrica-Cuenca Rio Zaña	69
Ilustración 24: Histograma histórico de precipitaciones Estación Udima.....	75
Ilustración 25: Isoyetas TR=100 años	80
Ilustración 26: Isoyeta TR= 200 años.....	81
Ilustración 27: Isoyeta TR=500 años.....	82
Ilustración 28: Polígono de Thiessen	83
Ilustración 29: Curva IDF.....	87
Ilustración 30: Gráfico de Hietograma de intensidades Tr=100	88
Ilustración 31: Gráfico de Hietograma Tr=200 años, estación Udima.....	89

Ilustración 32: Gráfico de Hietograma de intensidades $Tr=500$ años,	90
Ilustración 33: Hidrograma de precipitaciones $TR=100$ años	91
Ilustración 34: Hidrograma de precipitaciones $TR=200$ años	92
Ilustración 35: Hidrograma de precipitaciones $TR=500$ años	93
Ilustración 36: Número de Curva de la Cuenca Zaña.....	94
Ilustración 37: Esquema de modelo en Hec-Hms	97
Ilustración 38: Hidrograma de crecida $Tr=100$ años	99
Ilustración 39: Hidrograma de crecida para $Tr=200$ años	99
Ilustración 40: Hidrograma de crecida para $Tr=500$ años	100
Ilustración 41: Modelo digital del terreno en la zona de estudio.....	100
Ilustración 42: Primera fase de la definición geométrica	101
Ilustración 43: Definición de secciones transversales	102
Ilustración 44: Geometría importada en Hec-Ras	103
Ilustración 45: Ingreso de Caudales en Hec-Ras	104
Ilustración 46: Vista de sección transversal del río Zaña	105
Ilustración 47: Vista 3D del río Zaña para un TR 100 años	106
Ilustración 48: Vista 3D del río Zaña para un TR 200 años	106
Ilustración 49: Vista 3D del río Zaña para un TR 500 años	107
Ilustración 50: Área inundable para un TR 100 años	108
Ilustración 51: Área inundable para un TR 200 años	109
Ilustración 52: Área inundable para un TR 500 años	110
Ilustración 53: Faja marginal del río Zaña.....	111
Ilustración 54: Cultivos en Zaña.....	112
Ilustración 55: Sección hidráulica estable	114
Ilustración 56: Curva IDF-Estación Udima.....	136
Ilustración 57: Curva IDF-Estación Lives.....	137
Ilustración 58: Curva IDF-Estación El Espinal	138
Ilustración 59: Curva IDF-Estación El Espinal	139
Ilustración 60: Curva IDF-Estación Niepos	140
Ilustración 61: Curva IDF-Estación Oyotun.....	141
Ilustración 62: Hietograma $Tr=100$ años, estación Udima.....	142
Ilustración 63: Hietograma $Tr=200$ años, estación Udima.....	143
Ilustración 64: Hietograma $Tr=500$ años, estación Udima.....	144
Ilustración 65: Hietograma $Tr=100$ años, estación Lives.....	145

Ilustración 66: Hietograma Tr=200 años, estación Lives.....	146
Ilustración 67: Hietograma Tr=500 años, estación Lives.....	147
Ilustración 68: Hietograma Tr=100 años, estación El Espinal	148
Ilustración 69: Hietograma Tr=200 años, estación El Espinal	149
Ilustración 70: Hietograma Tr=500 años, estación El Espinal	150
Ilustración 71: Hietograma Tr=100 años, estación Cayalti	151
Ilustración 72: Hietograma Tr=200 años, estación Cayalti	152
Ilustración 73: Hietograma Tr=500 años, estación Cayalti	153
Ilustración 74: Hietograma Tr=100 años, estación Oyotun.....	154
Ilustración 75: Hietograma Tr=200 años, estación Oyotun.....	155
Ilustración 76: Hietograma Tr=500 años, estación Oyotun.....	156
Ilustración 77 Hietograma Tr=100 años, estación Niepos	157
Ilustración 78: Hietograma Tr=200 años, estación Niepos	158
Ilustración 79: Hietograma Tr=500 años, estación Niepos	159

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones en estudio.....	104
Anexo 2. Pruebas de bondad de ajuste de las estaciones en estudio.....	109
Anexo 3. Tablas de precipitación máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno.....	115
Anexo 4. Tablas de intensidad máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno.....	117
Anexo 5. Tablas curvas IDF de las estaciones en estudio.....	120
Anexo 6. Hietograma de diseño de precipitación por método de bloques alternos de las estaciones en estudio.....	126
Anexo 7. Secciones transversales del río Zaña tramo Zaña.....	144
Anexo 8. Imágenes del aumento de caudal y desborde del río Zaña.....	153
Anexo9. Imágenes del estado actual del río Zaña.....	158

RESUMEN

La investigación comprende la ejecución del análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Zaña, para la obtención de un mapa de inundación en el río Zaña, en el distrito de Zaña, Provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque. Como primer paso se obtiene los datos pluviométricos e hidrométricos de la zona de estudio de la plataforma del SENAMHI y el ANA, seguidamente realiza la delimitación de la cuenca perteneciente al río en estudio y se determina los parámetros geomorfológicos valiéndose del software ARCGIS y archivos DEM obtenidos de la NASA; para la modelación hidrológica se usó el modelo matemático HEC-HMS, para el cual se elaboró el hietograma de diseño mediante el método de bloques alternos, obteniendo caudales máximos de 746.8 m³/s para un TR=100años, 982.6 m³/s para un TR=200 años y 1332.4 m³/s para un TR=500 años. Se realiza el modelamiento hidráulico haciendo uso del modelo matemático HEC-RAS y la geometría obtenida de la extensión Hec-GeoRas, cuyos resultados se usan para la simulación de las áreas inundables, dando como resultado 76.83, 95.78 y 106.30 ha para TRs de 100, 200 y 500 años respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Análisis hidrológico, análisis hidráulico, cuenca, caudal máximo, inundación, HEC-HMS, HEC-RAS, ARGIS.

ABSTRACT

The investigation includes the execution of the hydrological and hydraulic analysis of the Zaña river basin, to obtain a flood map in the Zaña river, in the Zaña district, Chiclayo Province, Lambayeque department. As a first step, the pluviometric and hydrometric data of the study area of the SENAMHI and ANA platform are obtained, then the delimitation of the basin belonging to the river under study is carried out and the geomorphological parameters are determined using the ARCGIS software and DEM files obtained from NASA; For the hydrological modeling, the mathematical model HEC-HMS was used, for which the design hyetogram was prepared using the alternate block method, obtaining maximum flow rates of 746.8 m³ / s for a TR = 100 years, 982.6 m³ / s for a TR = 200 years and 1332.4 m³ / s for a TR = 500 years. Hydraulic modeling is performed using the HEC-RAS mathematical model and the geometry obtained from the Hec-Georas extension, the results of which are used for the simulation of flood areas, resulting in 87.76, 97.89 and 106.6 ha for TRs of 100, 200 and 500 years respectively.

KEYWORDS: Hydrological analysis, hydraulic analysis, basin, maximum flow, flood, HEC-HMS, HEC-RAS, ARGIS.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más inquietantes de hoy en día, es el cambio climático, lo que conlleva a la investigación y pronta determinación de alternativas de mitigación frente al problema para así evitar y contrarrestar los desastres que trae consigo.

Una de las consecuencias más relevantes del cambio climático son las inundaciones y Perú no es ajeno a tales desastres. De acuerdo a la Red Internacional De Mitigación De Desastres [1] Las inundaciones en el Perú se debe principalmente a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, con una época seca y una época de lluvia bien diferenciada. Las presencias del fenómeno del niño hacen que el caudal de los ríos aumente de manera significativa, conllevando al desborde y por ende ocasionando daños en ciudades y cultivos de la costa, específicamente en la región norte del país, como: Lambayeque, Tumbes y Piura.

Entre las inundaciones más recientes, tenemos las del verano del 2017 y 2018, siendo de los más críticos de la historia en la región costera, afectando en la economía y la calidad de vida de los habitantes. Uno de los departamentos más afectados fue el departamento de Lambayeque, en el que afecto a diferentes distritos y uno de los más relevantes fue el distrito de Zaña. Zaña tiene antecedentes históricos de inundación por efecto del desborde del río Zaña, tal es el caso de la inundación del año 1720 cuando sucedió el evento más catastrófico para Zaña, donde el río con el mismo nombre se desbordó e inundo toda la ciudad, alcanzando niveles de techo de las casas incluso de las de dos pisos, destruyó molinos, trapiches, acequias, infraestructura hidráulica, etc. [2]

En el Perú, al no contar con suficiente información y herramientas para la determinación hidrológica e hidráulica de zonas con alto riesgo de inundación, se plantea una metodología y uso de determinadas herramientas que permiten identificar y cuantificar las áreas de inundación en el distrito Zaña, principalmente en los cultivos, ya que la agricultura es la principal fuente económica de la zona en estudio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Se encuentran diversas investigaciones relacionadas con el tema de investigación, mayormente de carácter internacional, y en nuestro país son muy pocos casos. A continuación, se muestran algunas investigaciones que fueron de gran ayuda para la realización de este proyecto.

RM Pacheco Moya, 2012 “Holguín Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba” [3]

En este artículo han dado una guía para para el software HEC-HMS. En La investigación da recomendaciones para una adecuada modelación con HEC-HMS en cuencas. Modela la cuenca Las Coloradas, para obtener métodos de cálculo de mejor aplicación y valores que alcanzan sus parámetros.

Rubén Ernesto Hernández-Uribe, Héctor Barrios-Piña y Aldo I. Ramírez, 2017 “Análisis de riesgo por inundación, metodología y aplicación a la cuenca Atemajac” [4]

En esta investigación se realiza un análisis de riesgo por inundación en cuencas urbanas. Los resultados sirven para tomar decisiones que conlleven a la mitigación de daños. La cuenca en estudio corresponde a la cuenca urbana del río Atemajac, Jalisco, México. Como resultados determina las zonas inundables por tramos del río Atemajac, definidos de acuerdo con las características que presenta el río a lo largo de su cauce. Con el modelo elaborado generó mapas de inundación para periodos de retorno de 50 y 100 años.

Quispe Orosco, Franco Antony, 2018 “Modelación hidrológica-hidráulica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo” [5]

Quispe realiza una modelación hidrológica de eventos extremos, de la cuenca del río Tambo con el HEC-HMS. Analizando las distribuciones probabilísticas, distribuciones espaciales y temporales de la precipitación máxima de 24 horas de 19 estaciones

pluviométricas; obteniendo como resultado hidrogramas de caudal de salida para distintos escenarios. El río Tambo en la localidad “El Toro”, al no contar con defensas de encauzamiento adecuadas para escenarios de máximas avenidas, causa inundaciones en las fajas marginales de áreas de cultivo. Para ello se analizaron distintos escenarios de precipitaciones máximas de 24 horas para la cuenca; considerándose para el diseño un riesgo de falla de 20% y una vida útil de estructura de 100 años, obteniendo un hidrograma de caudal que es el caudal de diseño. Con este caudal de diseño se realizó la modelación hidráulica bidimensional con HEC-RAS (Método de Volúmenes Finitos) y bidimensional con IRIC (Método de Diferencias Finitas); y su posterior análisis comparativo entre ambos modelos, estos modelos bidimensionales IRIC y HEC-RAS dieron buenos resultados debido a que muestran una buena representatividad del fenómeno hidráulico que se produce en el cauce del río. Finalmente se genera un mapa de inundación para el diseño dando como resultado el diseño del muro de encauzamiento con enrocado; con lo cual se protegerán y recuperarán áreas de cultivo perdidas por efecto erosivo del río, garantizando un desarrollo sostenible de la zona de estudio.

James Zosimo Chagua Cierto, 2018 “ESTUDIO de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS” [6]

En esta investigación realiza un estudio hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Mala con el objetivo de un elaborar un mapa de inundación para el distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima. Usando el software ARCGIS, identificó las zonas de inundación dando como resultado las áreas inundadas por el río Mala de 177,140 m² equivalente a 17.714 Ha para un TR=100 años y para un periodo de retorno de 500 años de 254,170 m² equivalente a 25.417 Ha.

Juan Carlos Puelles Maza, 2015 “Estudio hidráulico e hidrológico de la Cuenca Alto Perú y el Porvenir en el asentamiento humano Las Mercedes Alto Perú, distrito de la Oroya, provincia de Yauli – Junín para la construcción futura de obras de arte ante amenazas de derrumbes provocado por la crecida del río, mediante el uso de los modelos matemáticos Hec-Hms y Hec-Georas” [7]

Puelles, tiene como objetivo, plantear posibles soluciones que mitiguen los daños causados por las altas avenidas de las quebradas Alto Perú y El Porvenir. En el estudio hidrológico estima los caudales máximos a partir de reporte de precipitaciones máximas en 24 horas registradas en las estaciones cercanas al lugar, para periodos de retorno de 100,200 y 500, realizando un modelado de la cuenca con el software HEC-HMS.

Tarazona Roldán, Hugo Guido, 2016 “Modelamiento hidrológico de la cuenca del Río Ica con fines de prevención de inundaciones en la ciudad de Ica” [8]

En esta tesis se identificó las precipitaciones máximas anuales en 24 horas con la que determinó caudales máximos en la cuenca del río Ica. Con los resultados identificó las zonas vulnerables a inundaciones en el valle del río Ica, para periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 años. Para este fin, usó el sistema de información geográfica (SIG).

2.2 Objetivos:

2.2.1 Objetivo General

Realizar un estudio de inundación en los cultivos de Zaña a causa del desborde del río Zaña para tiempos de retorno de 100, 200 y 500 años, empleando los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS, en el distrito de Zaña, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, 2019.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río ZAÑA, con la información digital (DEM) proporcionada por la página web de la NASA mediante el satélite ASTER.
- Determinar caudales de diseño para periodos de retorno de 100, 200 y 500 años a través de un análisis hidrológico en la cuenca del río ZAÑA con el uso del HEC-HMS, tomando los datos de las precipitaciones registradas por las estaciones correspondientes a la cuenca ZAÑA.
- Elaborar un modelamiento hidráulico del río ZAÑA, haciendo uso del software HEC-RAS para tiempos de retorno 100, 200 y 500 años.
- Elaborar un mapa de inundación del río ZAÑA, para el distrito de ZAÑA, usando el Sistema de Información Geográfica ARCGIS y el modelo matemático HEC-RAS.

2.3 Bases Teórico Científicas

2.3.1 Hidrología

Según Breña & Jacobo, 2006, “La hidrología tiene como objetivos adquirir los conocimientos básicos de los fenómenos hidrológicos, así como saber la cantidad, la periodicidad y naturaleza de la presencia de lluvia-escorrentía sobre el suelo terrestre, además elaborar eventos de diseño, usando los datos hidrológicos registrados en las redes de medición”. [9]

2.3.1.1 Importancia de la Hidrología.

La importancia de la hidrología está en la frecuencia de su uso como estudio base para el diseño y ejecución de obras de infraestructura. Además la hidrología sirve para solucionar problemas relacionados a lo siguiente:

Estimar la suficiencia de agua para:

- Suministrar a una población
- Suministrar a una industria
- Satisfacer los proyectos de irrigación
- Dotar a una población con energía eléctrica
- Determinar los parámetros necesarios para el diseño de obras como: represas, puentes, muros de encauzamiento para el control de avenidas, sistemas de drenaje, alcantarillas, etc. [10]

El desarrollo de los problemas, requiere la realización de un análisis hidrológico para seleccionar el evento de diseño. Por ende, la hidrología tiene como finalidad determinar, la envergadura de eventos hidrológicos y calcular resultados, que normalmente se estiman con aproximaciones limitadas.

Algunos de los Proyectos de Ingeniería que para su ejecución se necesita un estudio hidrológico previo, tenemos:

- Drenaje urbano.

- Drenaje vial.
- Drenaje agrícola.
- Encauzamientos de afluentes o ríos.
- Defensa riberenas para control de inundaciones
- Determinación de zonas inundables
- Estudio de erosión en cuencas
- Presas.

2.3.2 El Ciclo Hidrológico

Para Chow [10] “las ciencias hídricas se relacionan con el agua presente en la tierra: desde sus propiedades físicas y químicas, su distribución y circulación, su interacción con el ambiente y con los seres vivos y de manera particular con los seres humanos. La hidrología abarca todas las ciencias hídricas. Se puede definir como el estudio del ciclo hidrológico como el foco central de la hidrología, el mismo que no tiene principio ni fin y sus procesos ocurren en forma continua iniciando con la evaporación del agua desde los océanos como de la superficie terrestre, volviendo a la atmósfera; llegando a un punto de condensación y precipitación sobre la superficie terrestre o los océanos. El agua precipitada en ocasiones puede ser interceptada por la vegetación, convirtiéndose en flujo superficial sobre el suelo, infiltrándose en el, escurriendo por el suelo como flujo subsuperficial y llegando a descargar en los ríos como escorrentía superficial. Cuando el agua llega a percolar profundamente recarga el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora y por tal dándose una retroalimentación del ciclo”

Ilustración 1: El ciclo hidrológico,



Fuente:Redalyc

2.3.3 Problemas hidrológicos en Perú

Perú cuenta con escasos datos pluviométricos e hidrométricos, esto se debe a la escasez de instrumentos de medición en las cuencas hidrográficas. Por tal motivo, para realizar estudios hidrológicos, nos valemos de métodos indirectos para la estimación de los caudales de diseño.

Para el correcto procesamiento de los datos históricos, ya sea precipitaciones o caudales, el Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC), explica que para “conseguir la calidad, representatividad, extensión y consistencia de los datos es primordial para el inicio de un correcto estudio hidrológico. Para ello recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro para que, a partir de esta información histórica, se puede obtener la predicción de eventos futuros y que los resultados sean confiables” [11]

2.3.4 Instituciones recopiladoras de datos en el Perú

La entidad encargada de la recolección, centralización y procesamiento de la información de las estaciones meteorológicas, hidrológicas, agro meteorológica y ambientales es el SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU (SENAMHI). [12]

Además, con la promulgación de la ley de los Recursos Hídricos (LEY n° 29338) se crea el SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS, constituye una red tecnológica que permite el intercambio de información para la gestión de los recursos hídricos.

2.3.5 Cuenca hidrográfica

Según el manual de cuencas, “una cuenca hidrográfica está definida como el espacio territorial delimitado por la línea divisoria de las aguas, la misma que es conformado por un sistema hídrico que conducen sus aguas a un río principal, a un río con un mayor caudal, a un lago o a una disposición final como el mar. Además es un ámbito tridimensional en el que se integra cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas”. [13]

Ilustración 2: Cuenca Hidrográfica



Fuente: Manual de manejo de Cuencas

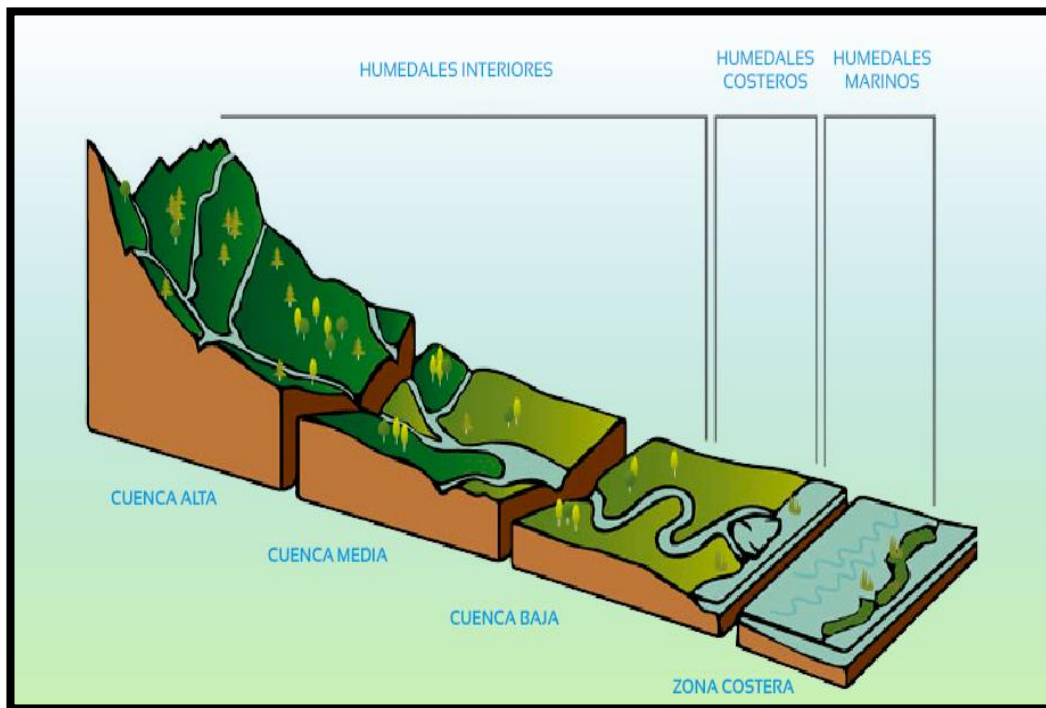
2.3.5.1 División de una cuenca hidrográfica

Cuenca alta: Conformada por las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, zona donde se produce la mayor cantidad de precipitaciones. La temperatura es muy baja, su estabilidad es nula y existe una alta producción de sedimento sólidos y líquidos. [13]

Cuenca media: Nivel de la cuenca, que se comporta como la zona de amortiguamiento entre la cuenca alta y la cuenca baja, pues en esta área se desarrolla la mayor cantidad de actividades productivas. Además, es el lugar o punto de aforo de las aguas recogidas en las partes altas y donde el río principal mantiene un cauce definido. [13]

Cuenca baja o zonas transicionales: Ubicada en territorios bajos, en su mayoría cerca de la costa. Tiene como característica la presencia de fenómenos de sequías o inundaciones. Esta zona refleja los impactos de las acciones que se realizan en las cuencas de arriba. [13]

Ilustración 3: División de una cuenca

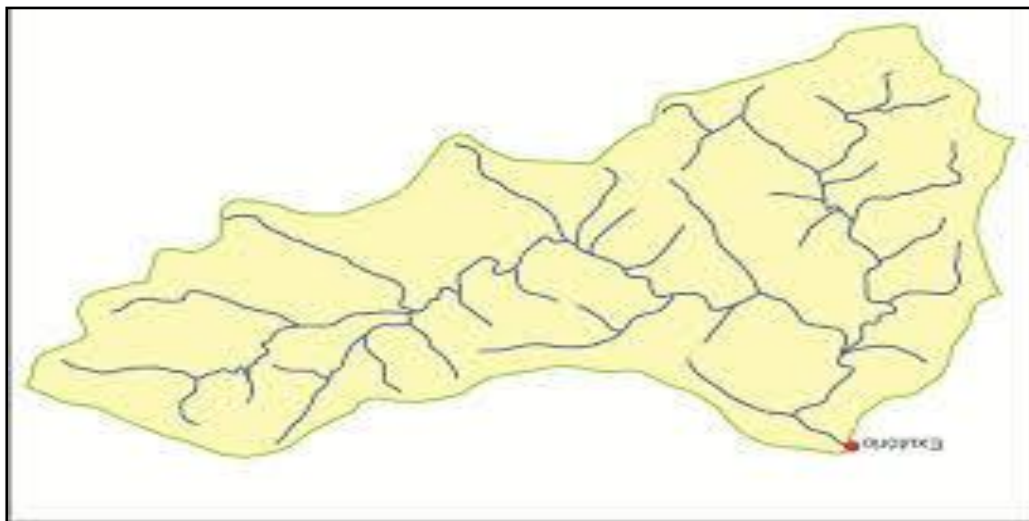


Fuente: Agua&Abmiente, 2018

2.3.5.2 Delimitación de una cuenca

Se realiza sobre un plano de curvas de nivel, siguiendo las líneas altas o cumbres, definiendo un espacio donde todas las precipitaciones correspondientes a esa zona desembocarán en un solo punto.

Ilustración 4: Delimitación de una cuenca



Fuente: Manual de manejo de Cuencas

2.3.5.3 Caracterización de la cuenca hidrográfica

Superficie de la cuenca (A)

La superficie de una cuenca hidrográfica viene ha es el área obtenida de la delimitación de la cuenca proyectada en un plano horizontal.

“Debido a la forma muy irregular de una cuenca hidrográfica, el cálculo del área de la cuenca no se puede realizar por fórmulas geométricas. Sin embargo, existen métodos de cálculo como la balanza analítica y el planímetro”. [14]

Perímetro de la cuenca (P)

Villón explica que: “el perímetro de una cuenca es el borde de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma irregular y es producto de la de delimitación de la cuenca”.

Por motivos de que la forma de la cuenca es muy irregular, “el cálculo del perímetro de la cuenca no se puede realizar por fórmulas geométricas. Pero, existen herramientas que nos facilitan el cálculo tales como el uso de un mecate y un curvómetro” [14]

Longitud de cuenca (L)

Es considerada como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas arriba y otro punto aguas abajo, puntos en los que la tendencia general del río principal es cortar la línea de contorno de la cuenca. [14]

Longitud del cauce principal

Está definida por la longitud del cauce principal, y es la distancia que recorre el río entre el punto de aforo (aguas abajo) y el punto situado a una mayor cota aguas arriba. [14]

Longitud máxima (L_{máx})

Viene a ser la distancia entre el punto de aforo y el punto más alejado de la cuenca,

teniendo en cuenta el seguimiento o guía la dirección de drenaje. [14]

Ancho Medio (W)

Resulta al dividir el área de la cuenca (A), con su longitud (L) [14]

$$W = \frac{A}{L} \quad \text{Ecuación 1}$$

Coefficiente de compacidad (Kc)

Según Ordoñez, “el coeficiente de compacidad es un parámetro que constituye una relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área es igual al de un círculo, y equivalente al área de la cuenca en estudio. Se calcula usando la siguiente fórmula” [15]

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

P: Es el Perímetro de la cuenca, en Km.

A: Es el Área de la cuenca, en Km²

Cuando Kc es igual a la unidad, entonces la cuenca tiene forma circular, lo que permite mayor oportunidad de crecientes, ya que los tiempos de concentración serán iguales para todos los puntos. En el caso contrario, si el valor de Kc es menor a la unidad se trata de una cuenca que tiende a ser corta y si es mayor a 1, la cuenca es de forma alargada por lo tanto la probabilidad de que sea cubierta en su totalidad por una tormenta se reduce. [15]

Factor de Forma (Kf)

Se obtiene al relacionar el ancho medio de la cuenca (Am) con su longitud del curso de agua más largo. Como se muestra en la ecuación [15]

$$Kf = \frac{Am}{L} = \frac{\left(\frac{A}{L}\right)}{L} = \frac{A}{L^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Kf: Es el Factor de forma.

Am: Es el Ancho medio.

A: Es el Área de la cuenca

L: Es la Longitud axial de la cuenca

Cuando $Kf > 1$ la probabilidad de tener una tormenta intensa sobre toda la superficie de la cuenca, es muy alta. Y si la cuenca tiene un $Kf < 1$, la tendencia a que las precipitaciones de lluvias se concentren es muy baja.

Perfil longitudinal del curso de agua

Se define como la representación gráfica de la longitud de un río versus la altitud de este en las diversas curvas de elevaciones que presenta. El perfil longitudinal sirve para determinar la pendiente total a parcial del cauce, además para realizar control de aguas, la identificación de las ubicaciones posibles para centrales hidroeléctricas.

Pendiente del Cauce Principal (S)

Se calcula, dividiendo la variación del punto más alto del río y el más bajo con la longitud del cauce o río mayor.

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad \text{Ecuación 4}$$

Otra forma de calcular la pendiente del cauce, es haciendo uso de la ecuación de “Taylor y Schwartz”, la que establece que el río está constituido por “n” tramos de igual longitud, donde cada uno de los tramos tienen una pendiente uniforme.

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \frac{1}{\sqrt{s_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{s_n}}} \right]^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

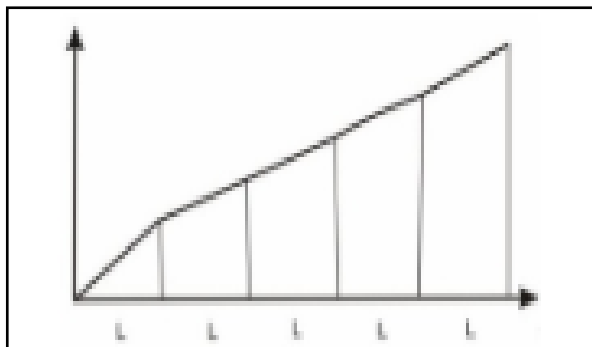
L: Longitud de cada tramo

n: número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil

S1, S2...Sn: pendiente de cada tramo, según $SS = HH$

LL

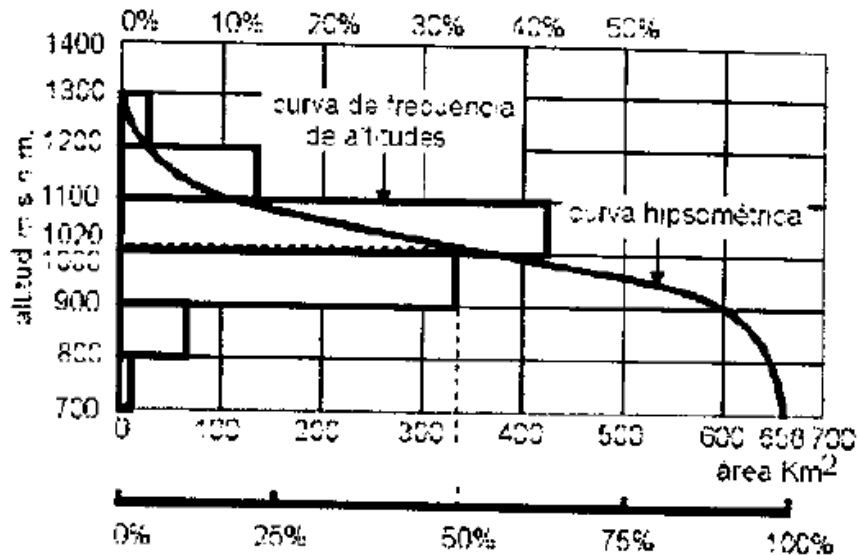
S: pendiente del cauce



Topografía

Chereque, expone que “la topografía se describe a través de dos gráficos característicos, primero la curva hipsométrica que representa la relación entre la altitud en m.s.n.m. y la superficie que queda por encima de dicha altitud, y segundo el polígono de frecuencias de altitudes que representa la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas por diferentes escalones altitudinales”. [16]

Ilustración 5: Curva hipsométrica



Fuente: Villon Bejar, 2002

2.3.6 Precipitación

Villon define a la precipitación como, “toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo en forma de lluvia, granizadas, garúas y nevadas”. [14]

2.3.6.1 Formación de las Precipitaciones

La generación de las precipitaciones tiene su origen en la ascendencia del agua en forma de vapor, es decir en forma de nubes hasta ciertas alturas. Para que suceda la precipitación, tiene que presentarse tres situaciones: primero, se debe saturar, seguido cambiar de la fase de vapor de agua a forma de líquido o sólido y finalmente dar lugar a la formación de pequeñas gotas o cristales de hielo que conllevará a su caída.

Así mismo, las precipitaciones se clasifican de la siguiente manera:

Precipitación de convección:

Gillermo lo define como “la lluvia convectiva proviene de nubes convectivas, como los cumulonimbos o cúmulos congestus. Cae como chaparrones con una intensidad que varía rápidamente. La precipitación convectiva cae en un tiempo relativamente corto sobre un área determinada. La mayor parte de la precipitación en zonas tropicales parece ser convectiva; sin embargo, se ha sugerido que también se da la precipitación estratiforme. Los copos de nieve y el granizo siempre indican convección. A latitudes medias, la precipitación convectiva tiene relación con los frentes fríos (a menudo detrás del frente), las líneas de chubascos y los frentes cálidos con una significativa humedad disponible”. [17]

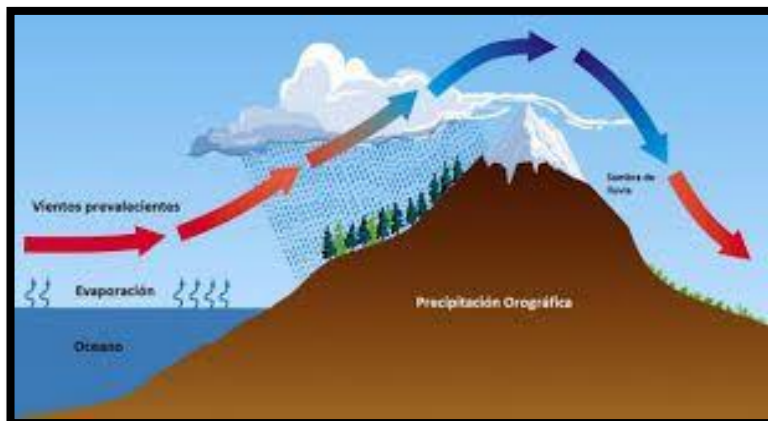
Precipitación Ciclónica:

Este tipo de precipitación se da cuando hay un encuentro de dos masas de aire a diferentes temperaturas, lo que conlleva a que las nubes más calientes que tienen una densidad menor, sean impulsadas a las partes más altas, donde por efecto del enfriamiento se produce la condensación y precipitación.

Precipitación Orográfica:

“La precipitación orográfica ocurre en el lado de barlovento de las montañas y está causada por el movimiento de ascendente de un flujo de aire húmedo a través de la montaña, que provoca la refrigeración adiabática y la condensación.” [17]

Ilustración 6: Precipitación orográfica



Fuente: Google imágenes

2.3.6.2 Medición de la precipitación

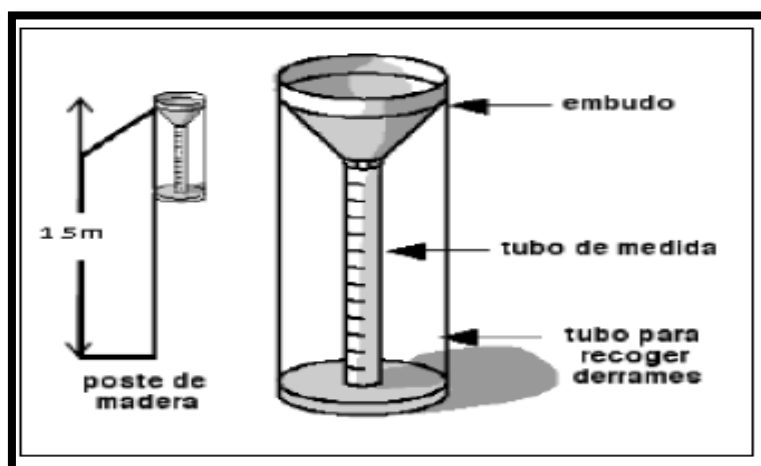
Comúnmente, las precipitaciones se miden en láminas de agua y se suele expresar en milímetros (mm) o en pulgadas (pulg). La magnitud que se registre, representa la altura de agua que alcanza frente a una lluvia o tormenta en superficie horizontal impermeable.

Los instrumentos de medición están normalizados por la OMM (Organización Meteorológica Mundial), y existen dos tipos: pluviómetros y pluviógrafos.

Pluviómetro

Este instrumento sirve para la medición de precipitaciones diarias. Generalmente se toman las mediciones cada 24 horas.

Ilustración 7: . Pluviómetro



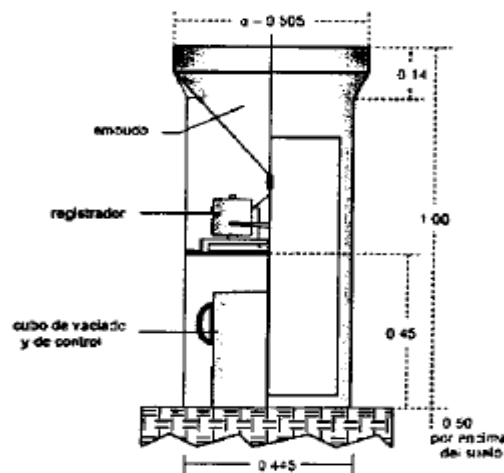
Fuente: Villon, 2002

En el Perú, la entidad encargada del registro es el SENAMHI, esta establece “las mediciones del pluviómetro se dan a las 19 horas del día y las 7 horas del día siguiente, la suma de ambas mediciones es la lámina de precipitación del día”. [12]

Fluviógrafo

“Es un instrumento que registra la lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato importante para el diseño de estructuras hidráulicas”. [14]

Ilustración 8: Pluviograma.



Fuente: Villon, 2002

Exceso de precipitación y escorrentía directa

Según Chow “Es la precipitación que no es retenida en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación contra el tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total que se observa y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracción o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por infiltración con algo de intercepción y almacenamiento superficial”. [10]

“El índice ϕ es la tasa constante de abstracciones que produciría un hietograma de exceso de precipitación con una profundidad total igual a la profundidad de la escorrentía directa sobre la cuenca. El valor de ϕ se calcula seleccionando un intervalo de tiempo de longitud Δt , juzgando el número de intervalos M lluvia que realmente contribuyen a la escorrentía directa, restando $\phi \Delta t$ de la precipitación que se observa en cada intervalo, y ajustando los valores de ϕ y M tantas veces como sea necesario para que las profundidades de escorrentía directa y de exceso de precipitación sean iguales” [10]

$$rd = \sum_{m=1}^M (Rm - \phi \Delta t) \quad \text{Ecuación 6}$$

Siendo Rm la precipitación que medida en (pulg) en el intervalo de tiempo (m).

Coefficiente de escorrentía

Chow sostiene que “las pérdidas también pueden utilizarse por medio de los coeficientes de escorrentía. El coeficiente de escorrentía es que éste es la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Como consecuencia de la alta variabilidad de la intensidad de precipitación, el coeficiente de escorrentía es difícil de determinar utilizando información observada. Estos coeficientes se aplican comúnmente a precipitación y escorrentía de una tormenta, pero también pueden utilizarse para información de precipitación y caudales mensuales o anuales. Si $\sum Rm$ M $m=1$ es la precipitación total y rd la correspondiente profundidad de escorrentía”. [10]

Se muestra la ecuación del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{rd}{\sum_{m=1}^M Rm} \quad \text{Ecuación 7}$$

2.3.6.3 Cálculo de la precipitación media sobre la cuenca

Chow explica que: “La cantidad media de precipitación evaluada sobre un área en un intervalo de tiempo determinado, se basa en los valores puntuales registrados en cada medidor que conforma la red. Pero como la contribución de cada instrumento al total de la tormenta es desconocida, han surgido varios métodos que intentan darnos una aproximación de la

distribución de la precipitación dentro del área en consideración, entre estos métodos se tiene” [10]

Método De La Media Aritmética

Método para determinar precipitación promedio sobre un área. Para ello se halla la media aritmética de las cantidades conocidas para todos los puntos en el área.

Se calcula con la formula siguiente:

Donde P_i son las diferentes precipitaciones dentro del área de estudio y “n” es el número de puntos de registro.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad \text{Ecuación 8}$$

Método De Thiessen

Este método es usado cuando la colocación de los pluviómetros no es homogénea dentro del área en estudio. Consiste en proyectar líneas entre estaciones cercanas, estas líneas se bisecan con perpendiculares y se asume que toda el área encerrada, es decir el polígono formado por la intersección de estas perpendiculares en torno a la estación ha tenido una precipitación de la misma cantidad que la de la estación.

Se calcula el área encerrada por cada estación y se determina la precipitación media mediante la fórmula.

$$P_m = \frac{S_1P_1 + S_2P_2 + \dots + S_nP_n}{S_{total}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$P_{med} = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i P_i \quad \text{Ecuación 10}$$

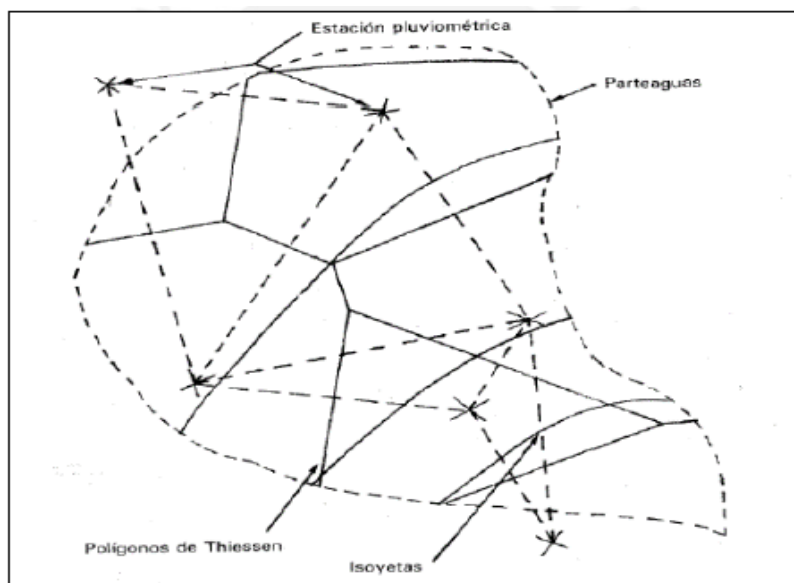
Donde

P_{med} : Es la Precipitación media

A_t : Es el área total de la cuenca

A_i : Representa el área de influencia parcial del polígono de Thiessen correspondiente a la estación i.

Ilustración 9: Método de Thiessen



Thiessen Fuente: Fundamento de hidrología de superficie, por Aparicio (México), 1994

Método De Las Isoyetas

Las isoyetas son curvas que representan una misma precipitación. Se calculan mediante la interpolación triangular entre pluviómetros adyacentes. Para el cálculo, se determina el área entre isoyetas sucesivas y se multiplica por el promedio de precipitación entre las isoyetas adyacentes, sumadas y divididas por las áreas formadas entre las isoyetas, da como resultado la precipitación media. La fórmula siguiente muestra la forma de cálculo:

$$P_{med} = \frac{\frac{P_0 + P_1}{2} A_1 + \dots + \frac{P_{n-1} + P_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

Pmed: Representa a la Precipitación media o representativa de la zona o cuenca

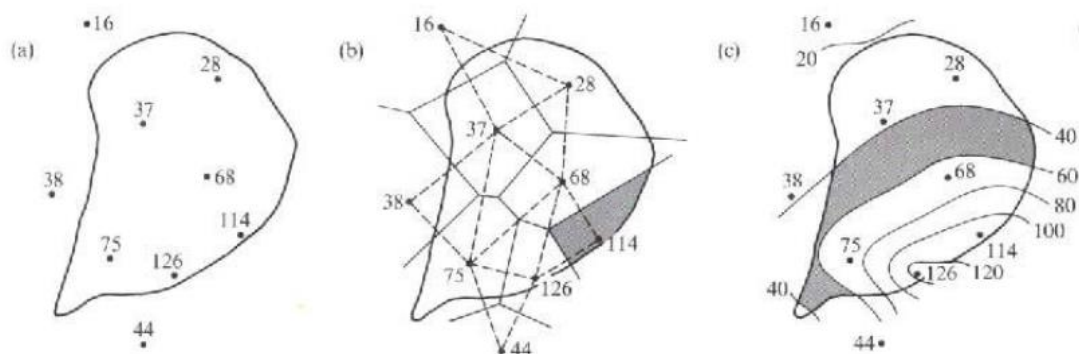
AT: Es el Área de la cuenca

Pi: Es el valor de la precipitación de las isoyetas i

Ai: Es el Área formada por dos isoyetas consecutivas Pi-1 y Pi

n: Representa la cantidad de áreas parciales

Ilustración 10: Métodos de Precipitación media



Donde:

- (a) Método de la media aritmética.
- (b) Método de los polígonos de Thiessen.
- (c) Método de las isoyetas.

Fuente: Chow et 1994

2.3.7 Estudio de Tormentas

Definición e Importancia

Una tormenta es un conjunto de lluvias que responden a una misma alteración meteorológica y presentan características bien definidas. Una tormenta tiene una duración que va desde minutos, horas y hasta días. Las tormentas pueden afectar extensiones de terrenos desde porciones pequeñas hasta grandes retenciones. La importancia de su estudio radica en la determinación de los parámetros necesarios para el diseño de cualquier infraestructura hidráulica.

Villon define Tormenta como un “conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación atmosférica violenta acompañado de viento fuerte, entre otros elementos y, de características bien definidas”. [14]

Los estudios que se pueden dar con el estudio de las tormentas son :

- Estudio de drenaje y escorrentía de una cuenca

- Determinación de máximas avenidas o caudales máximo
- Obtención de la longitud y las características óptimas de un puente
- Calcular las dimensiones de una obra de drenaje, como las alcantarillas

2.3.7.1 Determinación de la tormenta de diseño

Se define a una tormenta de diseño como “un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los 15 caudales resultantes a través de este se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta”. [11]

Elementos para el análisis de Tormentas

➤ **Intensidad**

Según Chereque, la intensidad “es la cantidad de agua precipitada en un determinado tiempo. Lo que interesa particularmente de cada tormenta es la intensidad máxima que se haya presentado, es decir, la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. Se mide en mm/h y su valor varío durante la tormenta” [16]

Se estima mediante la siguiente fórmula.

$$i_{\max} = \frac{P}{t} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

i máx.: Es la Intensidad máxima, en mm/hora

t: Es el tiempo en horas

➤ **Duración**

“Es el tiempo que transcurre entre el inicio y fin de una tormenta, medido en unidades de tiempo ya sean en minutos u horas”. [14]

➤ **Frecuencia**

“Es el número de veces que se repite una tormenta, con características similares definidas en un período de tiempo”. [14]

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación 13}$$

➤ **Periodo de Retorno**

“Es el intervalo de tiempo en el cual un evento de magnitud definida podría ser igualado o excedido, por lo menos en una vez”. [14]

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{Ecuación 14}$$

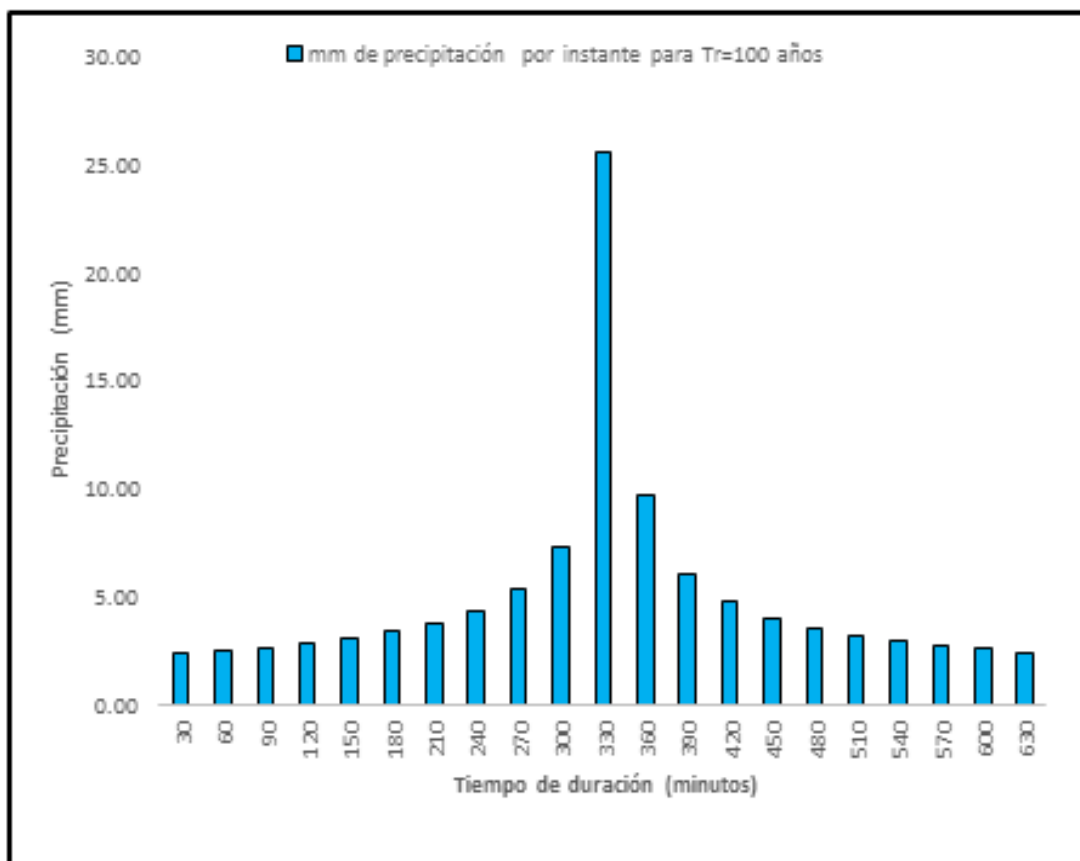
2.3.7.2 Hietograma y curva masa de la precipitación de una cuenca

La intensidad de una tormenta es variable en función del tiempo en función de las características que presente, por lo que para un estudio de tormenta es necesario conocer estas variaciones.

Hietograma

“Un hietograma es un gráfico de forma escalonada, así como un histograma el representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de una tormenta, en el transcurso de la misma expresado en minutos u horas” [14]

Ilustración 11: Modelo de hietograma



Fuente: elaboración propia

$$i = \frac{dP}{dt} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

i: Es la Intensidad

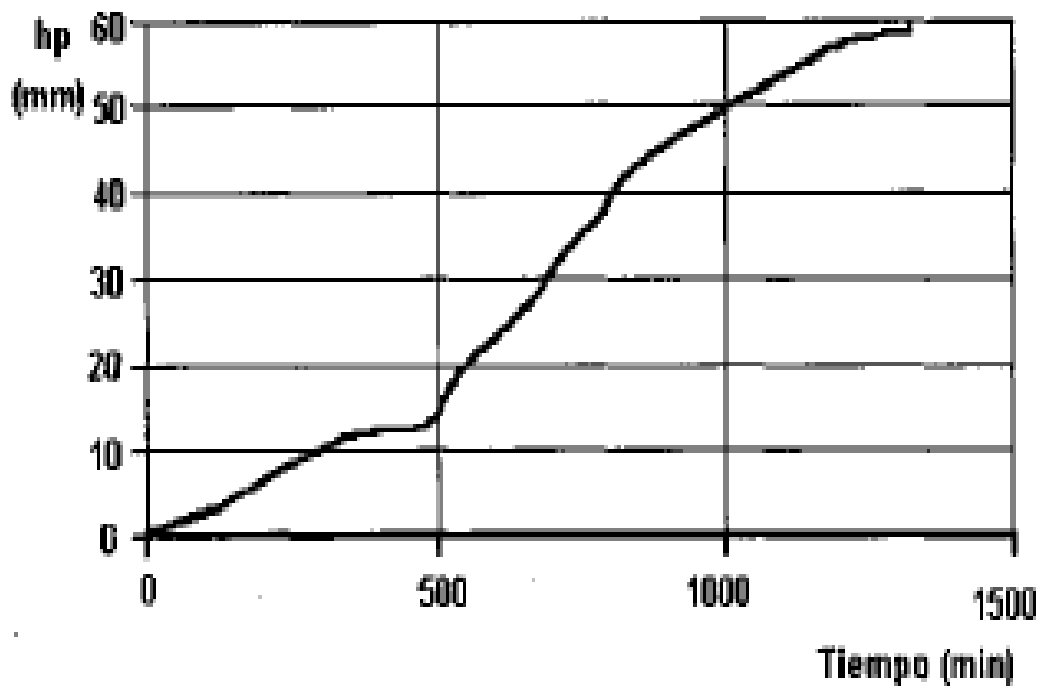
P: Es la Precipitación

t: Es el tiempo

Curva masa de precipitación

Máximo Villon, define a la Curva masa como “la representación de la precipitación acumulada versus el tiempo, es extraída directamente del pluviograma. La forma de la curva es creciente y la pendiente de la tangente en cualquier punto representa la intensidad instantánea en ese tiempo”. [14]

Ilustración 12: Curva masa acumulada



Fuente: Villon, 2002

2.3.7.3 Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia (I-D-F)

Según Témez “la curva Intensidad – Duración –Frecuencia, es una curva que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno” [18]. De esta manera, Chow define que “la intensidad es la tasa temporal de precipitación, o sea, la altura de agua de precipitación por una unidad de tiempo (mm/hr ó pulg/hr) expresada de la forma siguiente” [10]

$$i = \frac{P}{Td} \quad \text{Ecuación 16}$$

Dónde:

i: Intensidad

P: Altura de agua de precipitación en mm o pulg.

Td : Duración de la lluvia, expresada comúnmente en hr.

Otra definición la presenta el Ministerio de transportes y comunicaciones y la define de la siguiente manera: “Las curvas IDF son un elemento de 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 ocurrencia o el periodo de retorno”. [11]

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, cumplen la función de estimar las crecidas de cuencas hidrográficas, las cuales presenten tiempos de concentración cortos. Su uso habitual radica en estimar la intensidad, duración y frecuencia de una precipitación de una zona que carece de datos de medición de pluviógrafos, sino que solamente cuenta con pluviómetros que entregan registros de precipitaciones diarias.

Una manera de representar las Curvas IDF es expresándolo como ecuaciones Como se muestra en la ecuación siguiente:

$$I = \frac{a}{(D+b)^m} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde

I: Es la intensidad de lluvia para diseño

D: Es la duración ya sea en minutos u horas

a, b y m: son coeficientes que varían según la zona de estudio y el período de retorno.

“Cuando la zona a realizar el estudio no cuenta con datos tomados por los pluviográficos, estas se calculan mediante la metodología de Dyck Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas”. [19]

Con la ecuación siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad \text{Ecuación 17}$$

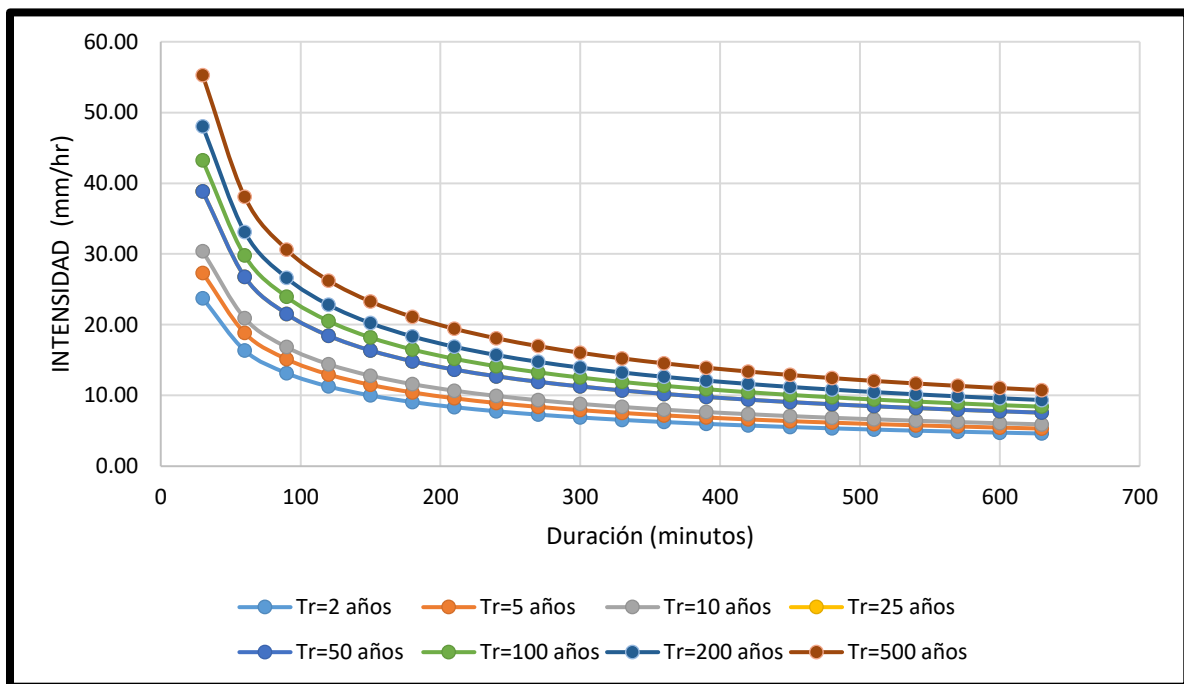
Donde:

Pd: Es la Precipitación máxima de duración (D), en el intervalo de $5 < D < 1440$, minutos (mm)

d: Es la Duración en minutos

P24h: Es la Precipitación máxima en 24 horas (mm).

Ilustración 13: Modelo curva IDF



Fuente: elaboración propia

2.3.8 Caudales Máximos

Los caudales máximos son aquellos obtenidos para las precipitaciones máximas obtenidas en el análisis de tormenta y sirven para el diseño de toda infraestructura hidráulica.

Su obtención es a partir de los hidrogramas unitarios generados en el análisis de tormenta o en caso contrario “si se cuenta con datos de aforo suficientes, se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneo anuales para la estación más cercana al punto de interés. Luego de ellos se calcula los caudales para los periodos de retorno de interés (2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 que son los años de valores estándar) usando la distribución Log normal, Log Pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel), etc.” [11]

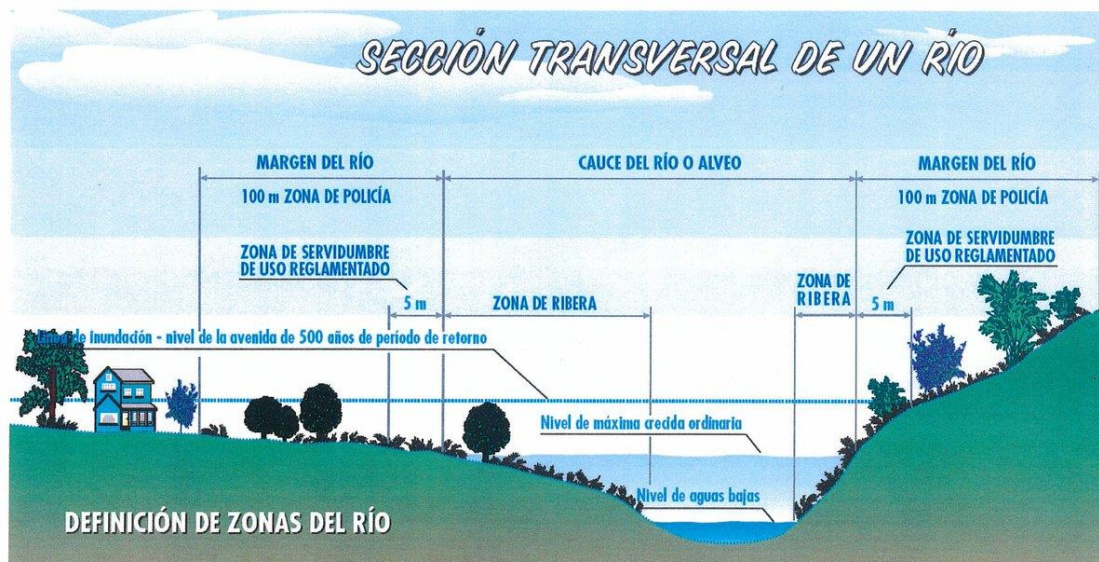
2.3.8.1 Métodos de cálculo.

Método Directo

Según Villón, el método directo “es un método hidráulico, llamado de sección y pendiente, en el cual el caudal máximo se estima después del paso de una avenida, con base en datos

específicos obtenidos en el campo, como secciones transversales de un tramo de río, pendiente de la superficie libre de agua con huellas de la avenida máxima y el coeficiente de rugosidad n de Manning”. [14]

Ilustración 14: Sección transversal de un río



Fuente: Google fotos

Usando la fórmula de Mannig:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 18}$$

Dónde:

R: Es el Radio hidráulico promedio, m

S: Es la Pendiente m/m

n: Es el Coeficiente de rugosidad

y con la ecuación de continuidad se tiene que:

$$Q = V \times A \quad \text{Ecuación 19}$$

Despejando la velocidad y reemplazando en la ecuación 18, se tiene que:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 20}$$

Dónde:

Q: Es el Caudal o Gasto Máximo, m³/s

n: Es el Coeficiente de rugosidad o coeficiente de Manning

A: Es el Área hidráulica promedio de la sección del río, m²

R: ES el Radio hidráulico promedio, m

S: Es la Pendiente m/m

Método del hidrograma unitario.

Según el MTC “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” [11]

Hidrogramas sintéticos

Villón manifiesta que: “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”. [14]

“Un hidrograma sintético tiene como finalidad la representación o simulación de un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico para diseñar. Debido a su importancia, se ha desarrollado una gran cantidad de hidrogramas unitarios sintéticos; siendo la más relevante el hidrograma unitario triangular”. [14]

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 m³/s.cm” [14]

Mediante el uso del hidrograma unitario, el volumen producido por la diferencia de la lluvia total menos las abstracciones son propagado a través del río.

El tiempo de recesión se estima con la expresión:

$$t_r = 1.67 T \quad \text{Ecuación 21}$$

Ya que el área que está por debajo del HU es igual a una escorrentía de 1cm de altitud se llega a la expresión siguiente:

$$q_r = \frac{2.08A}{T_p} \quad \text{Ecuación 22}$$

Dónde:

A = es la superficie de drenaje en km²

T_p = es el tiempo de ocurrencia del pico en horas

De esto, t_p se determina como:

$$t_p = 0.67 T_c \quad \text{Ecuación 23}$$

Dónde:

t_p = es el tiempo de retardo o lag-time

T_c = es el tiempo de concentración de la cuenca

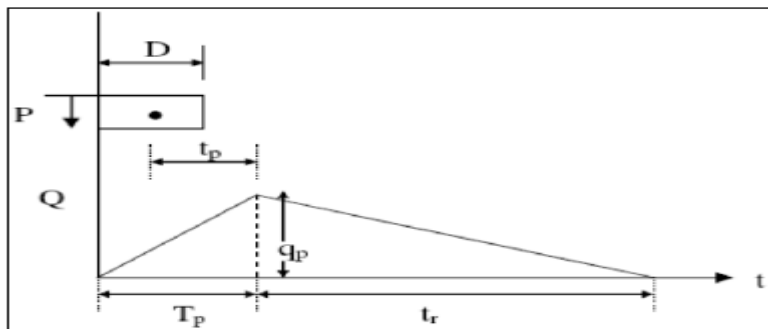
T_p, se puede expresar como:

$$T_p = 0.5 * D + t_p \quad \text{Ecuación 24}$$

Dónde:

D = Duración de la lluvia

Ilustración 15: Hidrograma sintético unitario triangular



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje, por MTC (Perú), 2008

Evaluación de la información hidrológica

El Perú cuenta con una escasa información hidrométrica y pluviométrica debido a que la mayor parte de las cuencas hidrográficas no tienen los suficientes instrumentos de medición. Por este motivo “se utilizan métodos indirectos para la estimación de caudales de diseño. Según la información disponible para los estudios, se elegirá el método más adecuado para obtener estimaciones de la magnitud del caudal”. [11]

Área del proyecto, estudio de las cuencas hidrográficas.

“El estudio de las cuencas en el Perú, está orientado a determinar sus características hídricas y geomorfológicas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico. El mayor conocimiento de la dinámica de las cuencas ayudará a tomar decisiones acertadas ante los diferentes proyectos”. [11]

Periodo de retorno

Según el manual del hidrología, hidráulica y drenajes desarrollado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC “Para adoptar el periodo 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”. [11]

2.3.9 Análisis estadístico de datos hidrológicos

2.3.9.1 Modelos de distribución

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes periodos de retorno, aplicando modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos”. [11]

De acuerdo al manual hidrología, hidráulica y drenajes desarrollado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC (2008) recomienda usar las siguientes funciones:

Distribución Normal

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \quad \text{Ecuación 25}$$

Dónde:

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

X = Es la variable o término independiente

μ = 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

Se expresa mediante la siguiente función de probabilidad:

$$P(x \leq xi) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{xi} e^{\left(\frac{-(x-X)^2}{2s^2}\right)} dx \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

X y S son parámetros útiles para la distribución

Distribución Log Pearson tipo III

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{y-1} \cdot e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^y y!} \quad \text{Ecuación 27}$$

Esta función es Válida para:

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

Dónde: X_0 es el parámetro o término de posición

Y : es el parámetro o término de forma

β : es el parámetro o término 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” [11]

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \text{Ecuación 28}$$

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

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$\beta = u - 0.45\sigma \quad \text{Ecuación 30}$$

Dónde:

α : parámetro de concentración

β : parámetro de localización

Distribución de probabilidad Log Gumbel

Definida por la siguiente ecuación

$$y = \frac{\ln x - u}{\alpha} \quad \text{Ecuación 31}$$

Ecuación reducida log Gumbel.

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{Ecuación 32}$$

2.3.9.2 Pruebas de bondad de ajuste

Para determinar la mejor distribución o la función que mejor se acomoda a la distribución de datos analizados se realiza una prueba de bondad, la cual “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 X2 y la Kolmogórov-Smirnov”. [11]

Kolmogorov – Smirnov

Esta es la prueba más usada y me mayor confiabilidad y “consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(xm)$ y la estimada $F(xm)$ ”. [11]

$$D = \text{máx}|F_o(xm) - F(xm)| \quad \text{Ecuación 33}$$

“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 X2 de que compara los datos con el método estadístico sin necesidad de agruparlos”. [11]

Se determina mediante la función.

$$Fo(xm) = 1 - m/(n + 1) \quad \text{Ecuación 34}$$

Dónde:

m: es el número de orden de datos los cuales están ordenados de mayor a menor

n: es el número total de datos

En la siguiente tabla se representa los valores “d” con parámetros en función al tamaño de la muestra y el nivel de significancia. (α)

Tabla 1: Nivel de significancia

TAMAÑO DE MUESTRA	NIVEL DE SIGNIFICANCIA α				
	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
n					
1	0.9	0.1	0.975	0.99	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.9	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.689	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.829
5	0.477	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.41	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.359	0.41	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.43	0.48	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.486
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.295	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.39	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
30	0.19	0.218	0.242	0.27	0.29
40	0.165	0.189	0.21	0.235	0.252
n grande	$1.07/n^{1/2}$	$1.22/n^{1/2}$	$1.36/n^{1/2}$	$1.52/n^{1/2}$	$1.63/n^{1/2}$

Fuente: Fundamentos de hidrología de superficie, Aparicio F,1992. [20]

2.3.10 Hidráulica

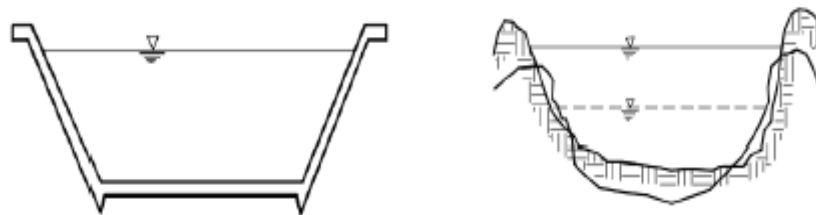
2.3.10.1 Movilidad Fluvial

Desde un panorama hidráulico, un río es analizado como un canal; pero el comportamiento de un río es muy diferenciado de la esquematización que solemos hacer en el estudio de flujo en canales. En un río es difícil presenciar solo un movimiento permanente, ya que el caudal está en continuo cambio. El flujo permanente, es decir, inalterable con relación al tiempo.

Rocha, menciona que “en un río tampoco hay movimiento uniforme, pues la sección transversal es muy cambiante a lo largo de su recorrido. La sección transversal de un río no es prismática. Para fines prácticos se hace como si existiese, un movimiento quasi-uniforme y también podría hablarse, por cierto, de un movimiento quasi-permanente”. [21]

“La diferencia entre un canal hecho por el hombre y de un río es que el canal hecho por el hombre presenta un contorno rígido e invariable, en cambio en un río de lecho móvil el contorno está cambiando constantemente”. [21]

Ilustración 16: Lecho rígido y lecho móvil



Fuente: Introducción a la hidráulica fluvial, por Rocha, 1998.

El coeficiente de resistencia o rugosidad de los ríos resulta mucho más incierto. El fondo está cambiando en función del caudal. El río puede profundizar o sedimentar. En el fondo se presentan formas características que dan una resistencia adicional y variable”. [22]

Para establecer la forma de los ríos se tiene las siguientes características:

Variabilidad temporal de las descargas

En su mayoría los ríos muestran variaciones en sus descargas o caudales, es decir, que los caudales son totalmente distintos a lo largo de un año a otro. Por lo que, hay variaciones estacionales. Tal es el caso de la mayoría de los ríos presentes en la zona costera peruana. [22]

Características del transporte sólido

“El transporte sólido depende fundamentalmente de las posibilidades de erosión que puedan desarrollarse en la cuenca. La intensidad de transporte sólido, y su desarrollo en el tiempo, es un factor muy importante en la configuración fluvial”. [22]

Presencia de vegetación

La vegetación contribuye a la conlleva a fijación del curso del río o la determinación de la faja marginal normal. Para Rocha “la dinámica fluvial requiere el estudio de factores geológicos, factores hidrológicos, características geométricas del álveo, y características hidráulicas (tirantes, pendientes, velocidades)”. [22]

Conductos abiertos

La característica de los conductos hidráulicos abiertos es por poseer una área libre, que se mantiene en contacto con la aire. El flujo es resultado del peso del fluido. De esta manera y a partir del panorama hidráulico, un canal tiene un comportamiento comparable al de un río.

Según Rocha “se asume que el escurrimiento es permanente y uniforme dentro de un canal. En el canal se puede lograr un cierto grado de permanencia manteniendo constante el caudal. En un río sólo excepcionalmente se podría lograr la permanencia (por ejemplo, en el flujo regulado aguas debajo de un embalse)”. [22]

La sección transversal de un río es muy variable, por lo que se produce un movimiento no uniforme. Por tal razón las ecuaciones de caudal que se usan en conductos abiertos, tales como la ecuación de Chezy y la de Manning, corresponden a ciertas simplificaciones, del escurrimiento real. “Sin embargo, y a pesar de las limitaciones anteriores, en Hidráulica

fluvial tenemos que hacer uso de las fórmulas y conceptos deducidos para el flujo en canales”. [22]

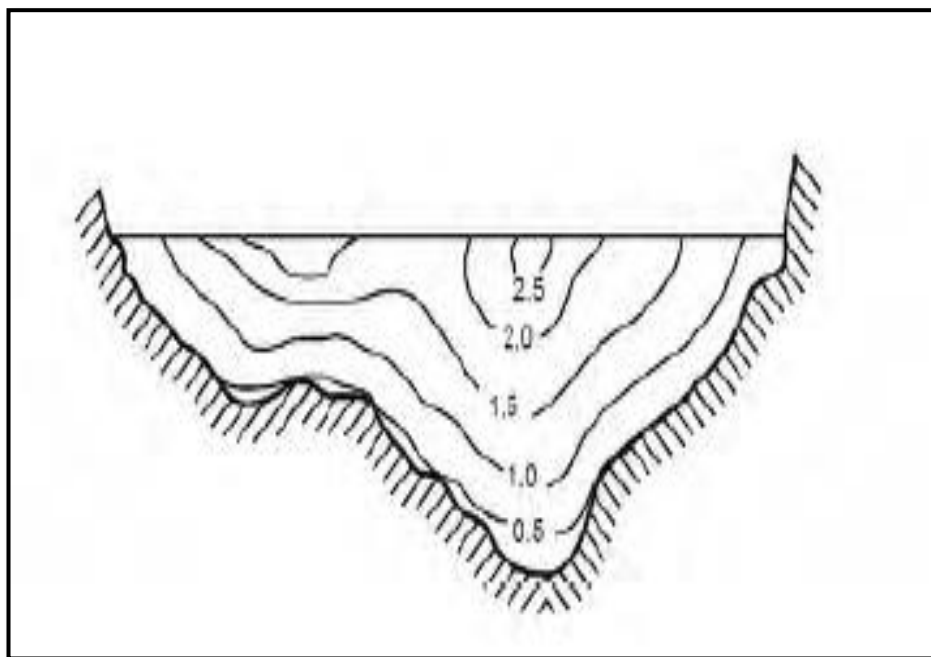
2.3.10.2 Propiedades geométricas de la sección transversal

Canal hidráulico

Un canal hidráulico es el contorno en el que un escurrimiento tiene una superficie libre y en contacto con el aire libre el cual puede ser de natural o artificial.

“Los canales naturales son los ríos, torrentes, arroyos, etc. Tienen sección transversal irregular y variable (figura 12). El fondo está constituido por partículas sólidas en movimiento (arenas, limo, piedras, etc), y se le denomina lecho móvil”. [21]

Ilustración 17: Canal Hidráulico



Fuente: Hidráulica de tuberías y canales, por Rocha, 2007.

Radio hidráulico (R)

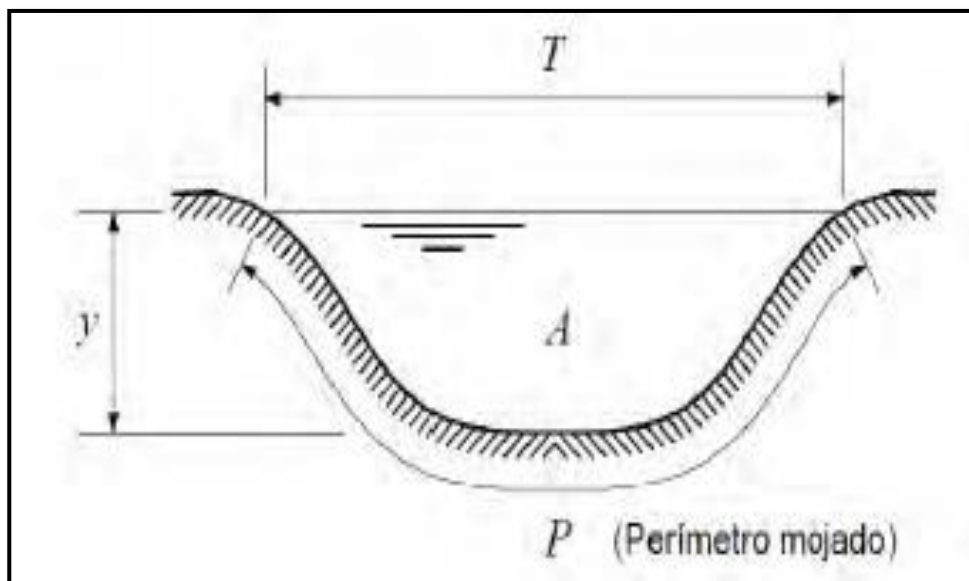
El radio hidráulico de un río o canal es la relación entre el área transversal y el perímetro mojado de un conducto hidráulico.

Se expresa con la siguiente ecuación.

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

Ecuación 35

Ilustración 18: Parámetros de la sección transversal de un canal



Fuente. Hidráulica de tuberías y canales, por Rocha, 2007.

Tirante hidráulico (d)

El tirante hidráulico d se determina relacionando el área de la sección A y el ancho superficial T .

Como se muestra en la siguiente expresión.

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

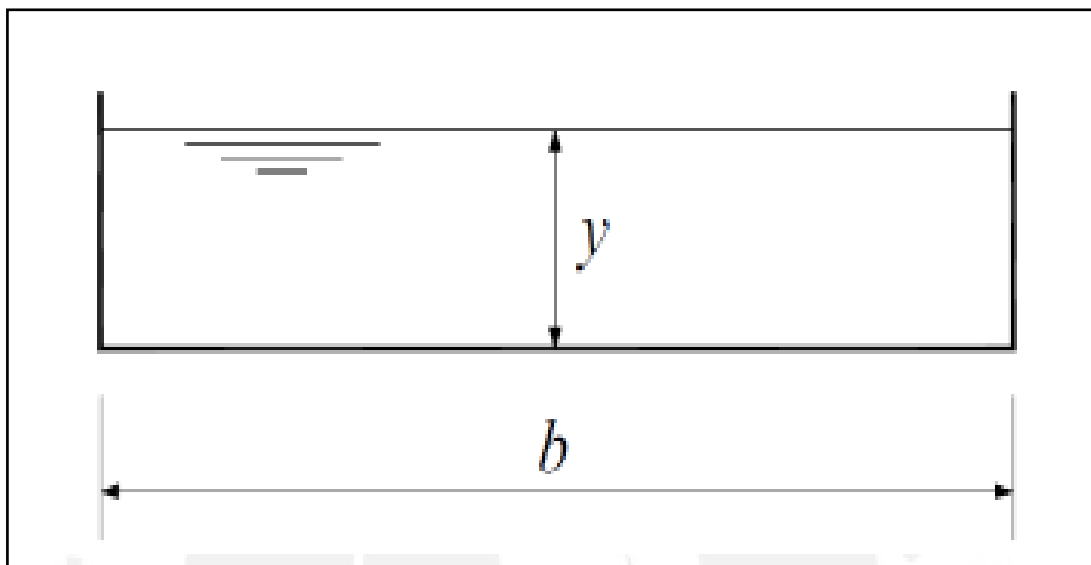
Ecuación 36

Tirante (y)

El tirante es la altura desde el punto más bajo del fondo del canal hasta la superficie libre del agua.

Radio hidráulico en un canal muy ancho

Según Rocha (2007) “Cuando el ancho b de un canal o río es muy ancho mayor que el tirante (figura 14), se dice que es un canal muy ancho. Ello permite hacer un cálculo más rápido y fácil del radio hidráulico². [21]



Para el cálculo del radio hidráulico en ríos se usa la siguiente ecuación

$$A = by \quad \text{Ecuación 36}$$

$$P = b + 2y \quad \text{Ecuación 37}$$

$$R = \frac{by}{b+2y} = \frac{y}{1+2\frac{y}{b}} \quad \text{Ecuación 38}$$

En canales muy anchos la relación y/b es un valor muy pequeño por lo que se suele considerar $R = y$, es decir, se puede asumir que en canales muy anchos el radio hidráulico es igual al tirante.

2.3.10.3 Coeficiente de rugosidad de Manning

Tabla de coeficiente de rugosidad de Manning

Chow, muestran una lista de valores de n para canales de diferentes tipos. Se muestran los valores mínimo, normal y máximo de n para cada condición que presente el río.

Tabla 2: Coeficiente de rugosidad de Manning.

Valores del coeficiente de rugosidad n Tipo de canal y descripción	Mínimo	normal	Máximo
Planicies de inundación			
Pastizales, sin matorrales			
Pasto corto	0.025	0.030	0.035
Pasto alto	0.030	0.035	0.050
Áreas cultivadas			
Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
Matorrales			
Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
Árboles			
Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160

Fuente: "Hidráulica de canales abiertos", por, Chow, Saldarriaga, & Zuluaga 1994

2.3.11 Modelos Matemáticos

Generalidades

Un modelo matemático, representa físicamente un sistema real, usando un conjunto de variables y determinados parámetros que se relacionan entre si usando una expresión matemática, y que mediante esto permita simular un proceso del sistema en estudio.[23]

2.3.11.1 Modelo HEC-RAS

“HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en un régimen permanente
- Modelización de flujo en un régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos en ríos y canales
- Análisis de calidad de aguas

Este software nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, incluso podemos incluir en el modelo la existencia de obras hidráulicas como puentes, conducciones, presas, etc, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.” [23]

Villon expresa que: “el modelo permite desarrollar el cálculo de los niveles de la superficie de agua de un flujo gradualmente variado. El sistema que se modela puede ser un solo río o una red de ríos. El componente del estudio del flujo, puede hacer el estudio de régimen subcrítico, supercrítico o la mezcla de los dos”. [24]

2.3.11.2 Aplicación del HEC- GEORAS

La extensión del GIS ARGIS llamado de Hec Geo-Ras abarca

- Estimación de áreas de inundación en un río o en un sistema de ríos para diferentes periodos de retorno que se haya diseñado la tormenta.

- La obtención de variables hidráulicas necesarias para diseñar estructuras hidráulicas.
- La delimitación o identificación de fajas marginales de los ríos

2.3.11.3 Modelo HEC –HMS

“Hec-Hms es un software que fue desarrollado por el centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. Este permite simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente modela un aspecto diferente del proceso de escurrimiento por precipitaciones. En una cuenca comúnmente es referida como una subcuenca. Da como resultado los hidrogramas de salida de una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos picos) a partir de las condiciones extremas de lluvia”. [24]

2.3.11.4 Aplicación del HEC HMS

Con el modelamiento hidrológico con Hec-Hms se puede lograr lo siguiente:

- Dimensionar obras de control y mitigación de inundaciones, como muros de encauzamiento, defensas ribereñas, embalses, puesto que se determina el volumen de las máximas avenidas.
- Establecer dimensiones preliminares de alcantarillas viales, longitud de puentes.
- Para realizar la evaluación impacto ambiental de las crecientes, causado por la transformación del uso de los suelos en cuencas rurales y urbanas.

2.3.11.5 ArcGIS

“Es un conjunto de “hardware”, “software”, datos geográficos y personal capacitado, organizados para capturar, almacenar, consultar, analizar y presentar todo tipo de información que pueda tener una referencia geográfica. Un SIG es una base de datos espacial” [25]

Este software sirve para:

- Planificación de los recursos hidrológicos de un determinado territorio.
- Gestión de recursos hídricos de forma eficiente y sostenible.
- Realizar estudios hidrológicos y de inundabilidad.
- Gestionar y manejar las masas de agua superficiales.

2.3.12 Modelos digital de elevación

De acuerdo al INEGI, un modelo digital de elevación (DEM) es la representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los objetos inmersos en dicho espacio. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados como ArcGIS, QGIS, etc. [27]

2.3.11.1 Precisión de los DEM NASA

La NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI), son los responsables del diseño del mapa topográfico: ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model), creado a partir de 1,3 millones de imágenes estéreo recogidas por el radiómetro japonés llamado ASTER, el mismo que puede ser usado como grado "experimental" o "grado de investigación" en las siguientes aplicaciones:

- Para la elaboración de Curvas de Nivel.
- Para la Ortorectificación de Imágenes.
- Para la elaboración de pendientes.
- Para la definición de perfiles topográficos.
- Para la delimitación de cuencas y redes hidrográficas e inundaciones

Según el reporte del Equipo de validación de ASTER GDEM, la precisión de los modelos digitales a un 95% de confianza es de 20 metros verticales. [28]

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al diseño de la investigación, este reúne las condiciones metodológicas de una investigación descriptiva, ya que se usarán los conocimientos de las ciencias ingenieriles a fin de identificar las áreas inundables en la zona de estudio.

De acuerdo al fin que persigue la investigación reúne las características para ser un estudio aplicativo.

3.2. Población, muestra, muestreo

La población está conformada por las cuencas nacionales y sus respectivas estaciones pluviométricas.

La muestra para esta investigación está conformada por la cuenca del río Zaña y las seis estaciones presentes en la zona (Estación Udima, Estación Lives, Estación Cayalti, Estación Niepos, Estación Oyotun y la estación El Espinal).

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la elaboración de esta tesis, se utiliza datos de precipitaciones registradas por las estaciones correspondientes a la cuenca ZAÑA. Estos datos son proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Para la elaboración de las condiciones morfológicas de la cuenca ZAÑA, se elabora los datos topográficos con la información digital (DEM) obtenida de la página web de la NASA mediante el satélite ASTER

3.4. Plan de procesamiento y análisis de datos

Fase 1: Trabajo preliminar y procesamiento inicial de datos de precipitación

➤ Recolección de información básica y necesaria de estudios relacionados a la cuenca del Rio ZAÑA.

- Recopilación de información de la cuenca del ZAÑA: datos topográficos, batimétricos, hidrológicos y meteorológicos.
- Completado de datos no registrados de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones registradoras.
- Procesamiento de datos de precipitación mediante distribuciones estadísticas como la probabilidad de Log Pearson, Log Gumbel, Normal, Log Normal.
- Aplicación de la prueba de bondad de ajuste con el método de Kolmogórov-Smirnov, para la determinación de la distribución más óptima.

Fase 2: Construcción de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

- Determinación de las precipitaciones máximas para tiempos de duración de tormenta de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 y 24 horas, afectados por los coeficientes de duración definidos por manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).
- Cálculo de la intensidad de lluvia para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.
- Determinación de los coeficientes necesarios para la ecuación de intensidad aplicando regresión lineal.
- Representación gráfica de las curvas IDF a partir de los valores obtenidos del procesamiento de los datos anteriores.
- Elaboración de los hidrogramas de precipitación para periodos de retorno de 100, 200 y 500 años.

Fase 3: Elaboración del modelo Hidrológico

- Configuración del modelo hidrológico en el software Hec-Hms, Creando los elementos hidrológicos: cuenca, subcuencas, unión de cauces o ríos, tránsito de avenida y punto de aforo.
- Input de datos: descripción de subcuenca, área, lluvia neta o efectiva (loss method), método de escorrentía directa (transform method), abstracción inicial (Ia), número de curva (CN), impermeabilidad y tiempo de retardo (lag time).
- Ingreso de datos de tránsito de avenidas por el método de Muskingum (K y X) e ingreso de datos de precipitación de cada estación pluviométrica de la cuenca.
- Configuración del modelo a correr en el software.
- Comparación de caudales obtenidos con los máximos observados

Fase 4: Elaboración del modelo hidráulico

- Descripción del modelo hidráulico en el software Hec-Ras
- Configuración del modelo hidráulico
 - Configuración topográfica usando archivos DEM
 - Elaboración de las secciones geométricas de los tramos del río ZAÑA mediante la extensión Hec- GeoRas en el software ArcGis
 - Creación de secciones transversales del río Zaña cada 100 m a través de la extensión del Hec-GeoRas en ArcGis
 - Importación de la geometría creada desde la extensión del ArcGis (Hec-GeoRas) hacia el software Hec-Ras
 - Ingreso del coeficiente de rugosidad “n” de Manning
 - Elaboración del modelamiento hidráulico del río de la cuenca ZAÑA.

Fase 5: Generación del mapa de inundación del tramo Zaña

- Importación de archivo generado por el software Hec-Ras hacia el SIG ARCGIS
- Generación de grilla a través de la función de Ras Mapping-LayerSetup

- Generación del TIN de la zona de inundación
- Obtención del mapa de inundación a través de la función RAS Mapping – Inundation Mapping – Floodplain Delineation Using Rasters
- Importación del Shape hacia Google Earth.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estudio Hidrológico

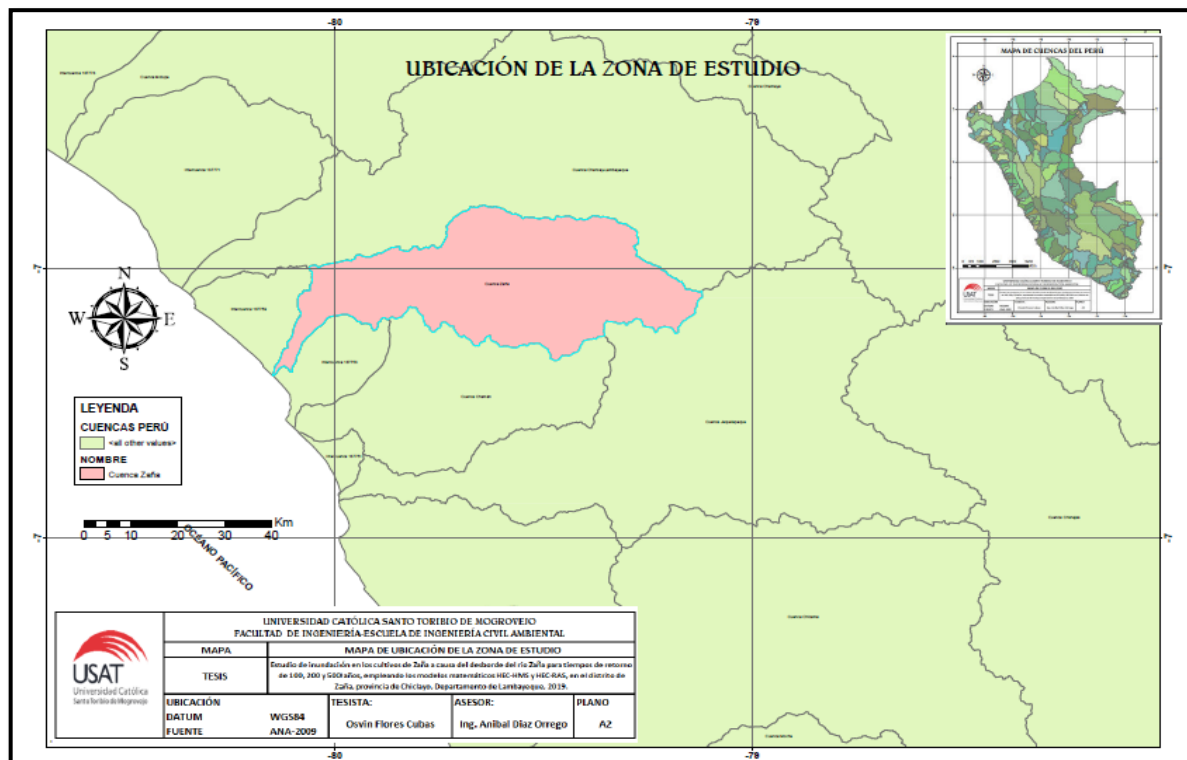
4.1.1 Delimitación de cuenca

Para lograr la delimitación de la cuenca del río Zaña, se tomó en cuenta la ubicación y las condiciones de entorno del río Zaña, y se usó la información digital (DEM) proporcionada por la página web de la NASA mediante el satélite ASTER (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>). El mismo que se usó para el modelamiento de la Cuenca.

Haciendo uso del Sistema de Información Geográfica ArcGIS como herramienta de apoyo para lograr la delimitación de la cuenca del río Zaña. Realizando los pasos necesarios se obtuvo la cuenca del Río Zaña.

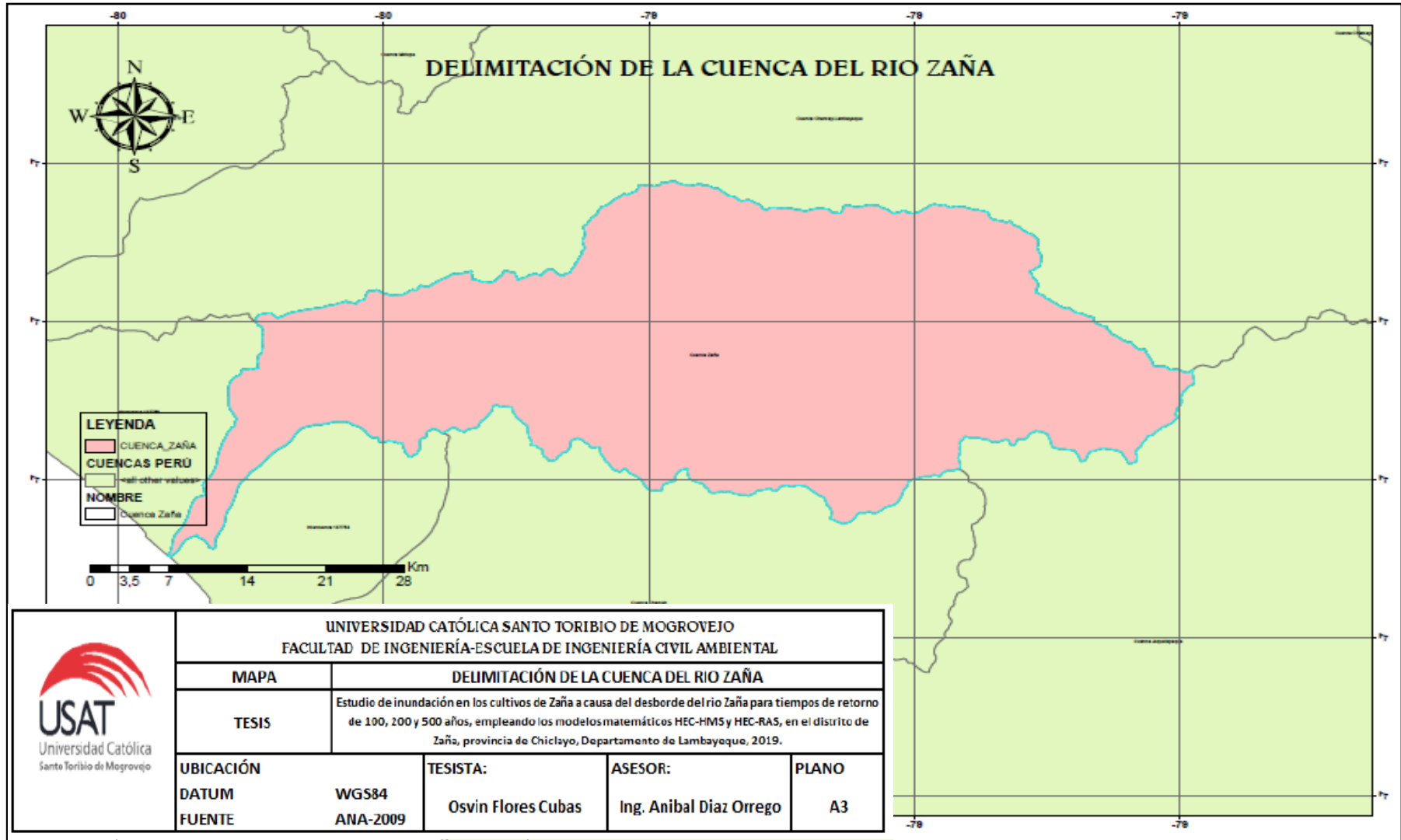
En la siguiente figura se muestra la ubicación cartográfica de la cuenca del río Zaña.

Ilustración 19: Ubicación cartográfica de la cuenca del río Zaña



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 20: Delimitación de la cuenca del río Zaña



Fuente: Elaboración propia.

Subcuencas

La Cuenca del río Zaña cuenca con nueve subcuencas, las mismas que están muy definidas, estas son: Subcuenca Bajo Zaña con un área de 409,97 km², ubicada en la parte baja de la cuenca Zaña y siendo la de mayor extensión de todas las subcuencas; la siguiente es la subcuenca Qda. El Examen, que cuenta con una extensión de 96,51 km²; la subcuenca Medio Bajo Zaña, con una extensión 139,25 km²; la Subcuenca Rio Nanchoc, con una extensión de 371,45 km²; La subcuenca Medio Zaña, con una extensión de 193,92 km²; La subcuenca Rio Udima, con una extensión de 124,20 km²; La subcuenca Medio Alto Zaña, con una extensión de 182,16 km²; La subcuenca Las Argollas, con una extensión de 50,83 km² y por último la subcuenca Alto Zaña, con una extensión de 187,33 km².

En total las nueve subcuencas hacen a la cuenca del río Zaña, con una extensión total de 1754,73 km².

Las subcuencas de la parte baja, pertenecen al departamento de Lambayeque y las de la parte alta, están ubicadas en el departamento de Cajamarca.

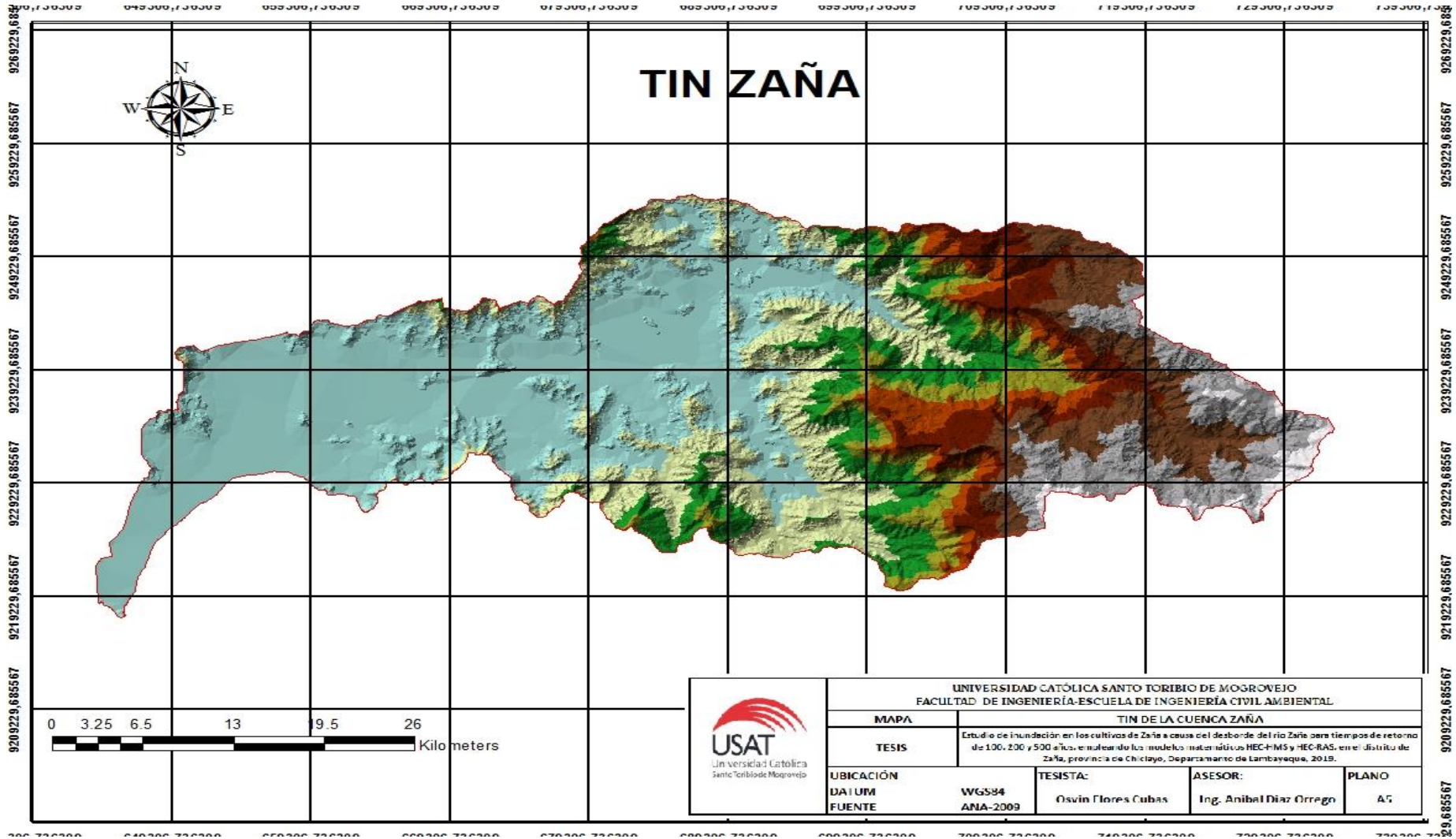
A continuación, se presenta un cuadro resumen de las Subcuencas de la cuenca del río Zaña, el respectivo mapa de división de subcuencas y el mapa de la red hídrica de la cuenca del Zaña.

Tabla 3: Subcuencas de la cuenca río Zaña

PARAMETROS DE RELIEVE DE SUBCUENCAS		
SUBCUENCA	AREA (Km²)	LONG. DE CAUCE PRINCIPAL (Km)
RIO ZAÑA	1754.73	125.31
BAJO ZAÑA	409.07	48.45
QDA. EL EXAMEN	96.51	23.03
MEDIO BAJO ZAÑA	139.25	11.06
RIO NANCHOC	371.45	42.24
MEDIO ZAÑA	193.92	21.79
RIO UDIMA	124.20	27.21
MEDIO ALTO ZAÑA	182.16	19.43
LAS ARGOLLAS	50.83	11.52
ALTO ZAÑA	187.33	24.59

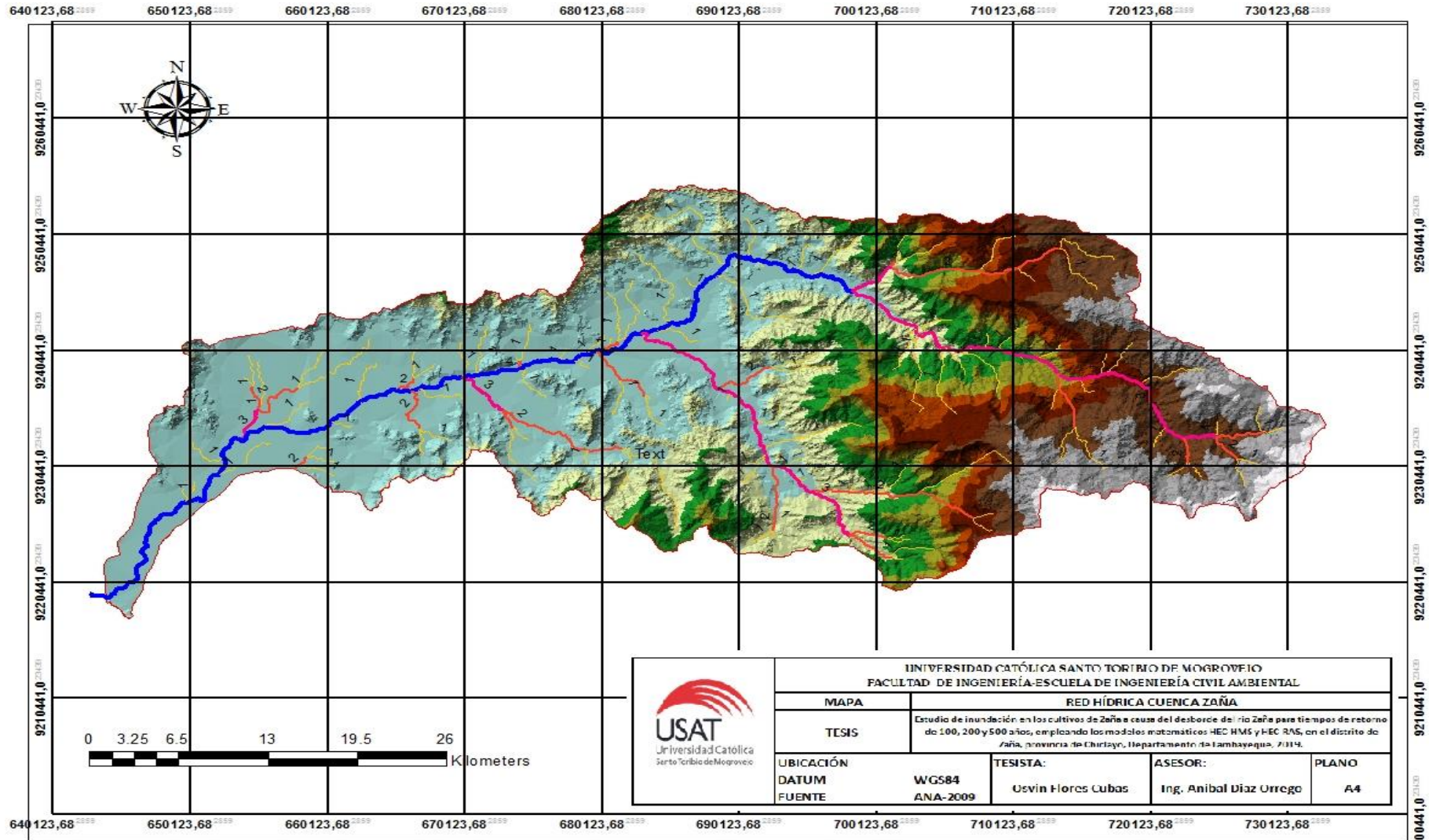
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 21: Tin Zaña



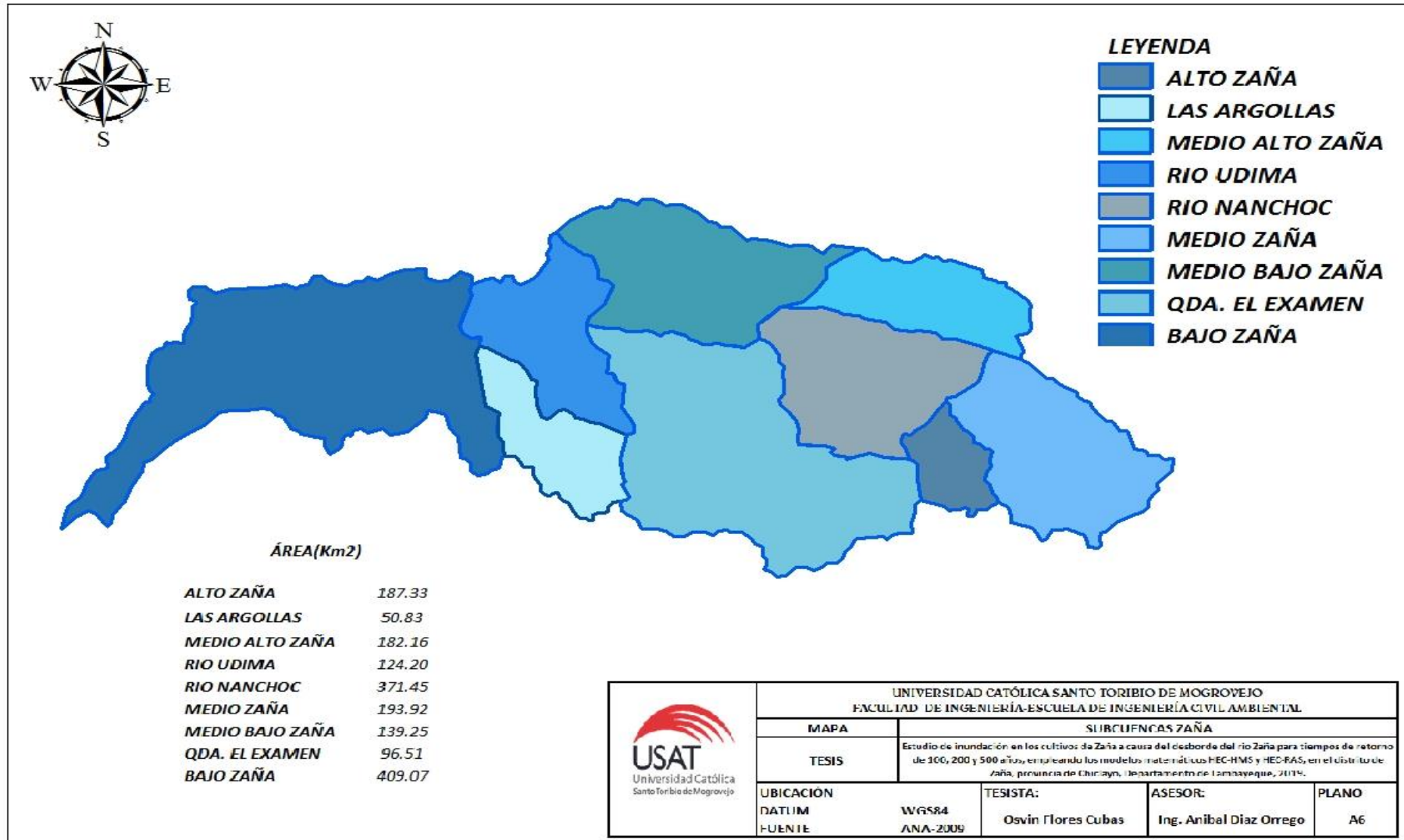
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22: Red hídrica de la cuenca del río Zaña



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 23: Subcuencas río Zaña



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Características de la cuenca del río Zaña

Área

La cuenca del río Zaña, tiene una superficie total de 1754,73 km² con un perímetro territorial de 276,14 km.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de relieve de la cuenca del Zaña y de las subcuencas identificadas con sus respectivas características de longitud, pendiente media del cauce principal y su respectiva altitud media.

PARAMETROS DE RELIEVE DE SUBCUENCAS

SUBCUENCA	AREA (Km²)	LONG. DE CAUCE PRINCIPAL (Km)	PENDIENTE MEDIA DE CAUCE PRINCIPAL (m/m)	ALTITUD MEDIA (m)
RIO ZAÑA	1754,73	125,31	0,03	1059,61
BAJO ZAÑA	409,07	48,45	0,00	87
QDA. EL EXAMEN	96,51	23,03	0,03	525,22
MEDIO BAJO ZAÑA	139,25	11,06	0,00	236,44
RIO NANCHOC	371,45	42,24	0,08	849
MEDIO ZAÑA	193,92	21,79	0,01	384,55
RIO UDIMA	124,20	27,21	0,11	2417,5
MEDIO ALTO ZAÑA	182,16	19,43	0,06	1488,86
LAS ARGOLLAS	50,83	11,52	0,15	3091,75
ALTO ZAÑA	187,33	24,59	0,08	3129,7

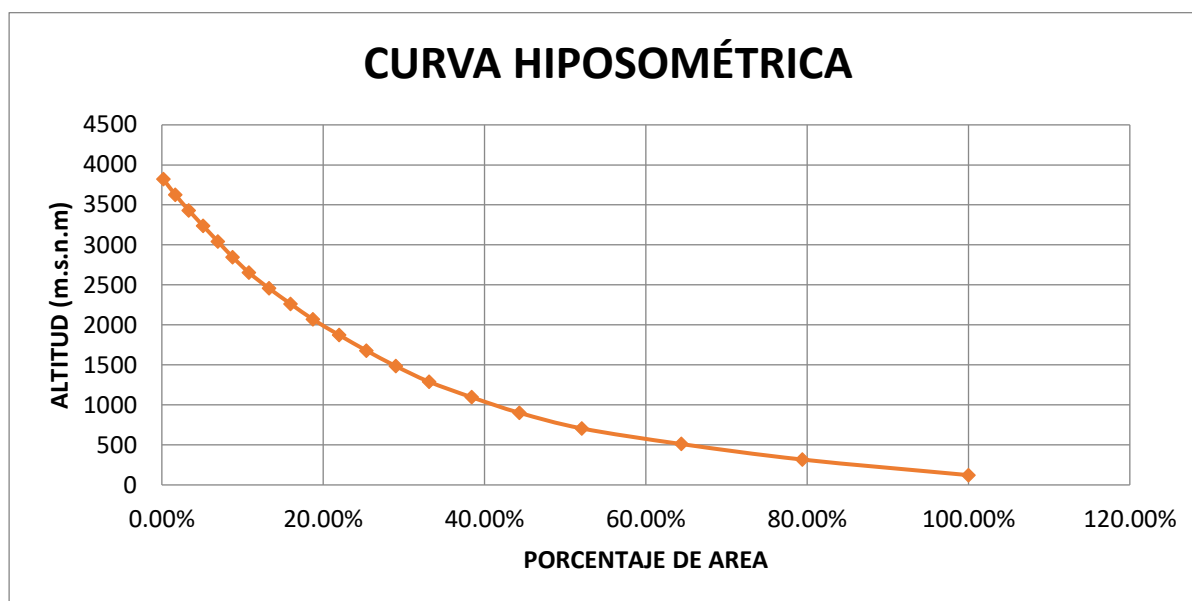
Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con el desarrollo se procedió a la construcción de la curva hipsométrica, para la misma que se utilizaron los datos obtenidos a partir del DEM proporcionado por el satélite de la NASA y analizado por el SIG ARCGIS.

Para la construcción de la curva hipsométrica se realiza graficando la cota promedio vs el porcentaje acumulado del área comprendida entre las cotas de las curvas de nivel de la cuenca en estudio.

Figura 1: Curva Hipsométrica de la cuenca del río Zaña.

Ilustración 23: Curva hipsométrica-Cuenca Río Zaña



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Datos de curva Hipsométrica

Nº	COTAS			AREAS		
	Min	Máx	Promedio	Área entre curvas	área acumulada	%Acum
1	25	219.73	122.365	361.01	1754.00	100.00 %
2	219.7	414.34	317.02	263.39	1392.99	79.42 %
3	414.3	608.01	511.155	216.09	1129.60	64.40 %
4	609	803	706	135.92	913.51	52.08 %
5	804.9	998	901.45	103.59	777.59	44.33 %
6	998.9	1192	1095.45	93.12	673.99	38.43 %
7	1192.9	1387	1289.95	72.00	580.87	33.12 %
8	1387	1582	1484.5	64.01	508.87	29.01 %
9	1582	1776	1679	59.60	444.86	25.36 %
10	1778	1971	1874.5	56.76	385.26	21.96 %
11	1972	2166	2069	48.58	328.50	18.73 %
12	2167	2360	2263.5	47.02	279.92	15.96 %
13	2361	2554	2457.5	43.26	232.90	13.28 %
14	2555	2750	2652.5	35.54	189.64	10.81 %
15	2750	2943	2846.5	32.23	154.10	8.79 %
16	2945	3139	3042	31.78	121.87	6.95 %
17	3139	3333	3236	31.32	90.09	5.14 %
18	3334	3528	3431	29.30	58.78	3.35 %
19	3529	3722	3625.5	26.27	29.48	1.68 %
20	3725	3918	3821.5	3.21	3.21	0.18 %

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Parámetros de relieve

Con ayuda del SIG ARCGIS se obtuvieron parámetros característicos de la cuenca del Zaña, tales como: longitud del cauce principal, longitud de los cauces secundarios de cada subcuenca, perímetro de la cueca y de cada una de las subcuencas, coeficiente de compacidad para la cuenca del rio Zaña y para cada una de sus subcuencas y factor de forma respectivamente.

Coeficiente de Compacidad (Kc)

El Coeficiente de Compacidad (Kc, adimensional), o Índice de Gravelius, Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área - igual a la de un círculo - es equivalente al área de la cuenca en estudio.

La expresión usada para este cálculo es la siguiente:

$$Kc = 0.28 \cdot \frac{P}{A^{1/2}}$$

dónde: Kc = Coeficiente de compacidad
 P = Perímetro de la cuenca (km)
 A = Área de la cuenca (km²)

Factor de Forma (Ff)

Para este caso se usó la expresión siguiente, la misma que es explicada en el marco teórico.

$$Ff = \frac{Am}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Ff = Factor de forma

Am = Ancho medio de la cuenca (km)

L = Longitud del curso más largo (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Los datos como longitud del cauce, área y perímetro fueron obtenidos del SIG ARCGIS.

Tabla 5: Parámetros de relieve de la cuenca del río Zaña

PARAMETROS DE RELIEVE DE SUBCUENCAS

SUBCUENCA	AREA (Km²)	LONG. DE CAUCE PRINCIPAL (Km)	PERÍMETRO (Km)	COEFICIENTE DE COMPACIDAD	FACTOR DE FORMA
RIO ZAÑA	1754.73	125.31	276.24	1.85	0.11
BAJO ZAÑA	409.07	48.45	132.73	1.84	0.17
QDA. EL EXAMEN	96.51	23.03	52.92	1.51	0.18
MEDIO BAJO ZAÑA	139.25	11.06	64.92	1.53	1.14
RIO NANCHOC	371.45	42.24	98.77	1.43	0.21
MEDIO ZAÑA	193.92	21.79	64.59	1.30	0.41
RIO UDIMA	124.2	27.21	56.85	1.43	0.17
MEDIO ALTO ZAÑA	182.16	19.43	61.46	1.28	0.48
LAS ARGOLLAS	50.83	11.52	33.65	1.32	0.38
ALTO ZAÑA	187.33	24.59	64.96	1.33	0.31

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Cálculo de elevación media

ELEVACIÓN MEDIA

Cota Promedio (km)	Area (km²)	Cota promedio x Área	Cota promedio (km)	Area (km²)	Cota promedio x Área
122.365	361.01	44175.27	2069	48.58	100515.98
317.02	263.39	83499.67	2263.5	47.02	106431.31
511.155	216.09	110457.07	2457.5	43.26	106300.03
706	135.92	95958.93	2652.5	35.54	94272.56
901.45	103.59	93383.40	2846.5	32.23	91756.59
1095.45	93.12	102011.58	3042	31.78	96661.66
1289.95	72.00	92876.94	3236	31.32	101340.22
1484.5	64.01	95023.70	3431	29.30	100514.88
1679	59.60	100072.41	3625.5	26.27	95225.42
1874.5	56.76	106388.06	3821.5	3.21	12283.46
suma				1754.00	1858922.65
				HM=	1059.82

Fuente: Elaboración propia

Hmedia=1858922,65/1754,34=1059,61 m.s.n.m.

Teniendo los datos principales de la cuenca en estudio, se calculó el tiempo de concentración, utilizando el método de Kirpich, explicado en el marco teórico. Este método se utilizó por las características que presenta la cuenca, tales como pendientes entre 3% y 10 %. Se obtuvo como resultado un tc=632 minutos y se optó trabajar con un tc=630 minutos.

$$tc = 0,01947 * L^{0,77} * S^{-0,387}$$

Dónde: tc= tiempo de concentración de la precipitación

L= longitud del cauce principal, m.

S= pendiente de la cuenca m/m

METODO DE KIRPICH

L	125314	
S	0.03	
TC	632.61 minutos	
<hr/>		
TC=	630	minutos

4.1.4 Análisis de Precipitación

En el análisis, tratamiento y procesado de precipitaciones se hizo lo siguiente: primero se recolectó los de los datos pluviométricos por un periodo de 50 años. Estos datos fueron obtenidos de la entidad SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). Se observó que en la cuenca de estudio hay cinco pluviómetros que cuentan con registros históricos de precipitación: La estación Udima, el Espinal, Niepos, Oyotun y la estación Cayalti. Además, se tomó una estación cercana a la cuenca, la estación Lives.

Se muestra la ubicación de las estaciones ene estudio.

Tabla 7: Ubicación de las estaciones de estudio

NOMBRE	LONGITUD	LATITUD	FUENTE
UDIMA	-79,0916	-6,81130	ANA
EL ESPINAL	-79,1869	-6,82300	ANA
CAYALTI	-79,5594	-6,89830	ANA
LIVES	-79,0333	-7,08330	ANA
NIEPOS	-79.12917	-6.92528	ANA
OYOTUN	-79.32325	-6.86414	ANA

Fuente: elaboración propia

Luego se completó los datos faltantes por el método de regresión lineal. Seguidamente se procedió al uso de las distribuciones de probabilidad de Gumbel, Log Gumbel, Normal, Log Normal, Log PearsonIII. Para determinar el tipo de distribución a usar se realizó la prueba de bondad de ajuste con el método de Kolmogórov-Smirnov.

Nota: Se presentarán los Cálculos de distribución para la estación Udima, para las estaciones restantes se presenta su respectivo cálculo en anexos.

Se presentan los datos de precipitación de la estación Udima. La tabla con datos faltantes y la tabla completada.

Tabla 8: Precipitaciones con datos faltantes estación Udima

PRECIPITACIÓN MAX(24 HORAS) mm												
ESTACIÓN UDIMA												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1964	-	34.00	23.00	35.00	-	-	10.00	16.00	-	34.00	14.00	17.00
1965	15.00	10.00	16.80	48.80	9.40	0.00	0.00	0.00	23.20	20.30	12.30	12.10
1966	16.30	15.20	14.60	13.20	0.00	5.80	10.30	12.10	18.70	12.40	12.90	13.40
1967	14.30	16.00	19.70	17.10	9.70	13.10	13.10	9.70	13.70	-	-	0.00
1968	0.00	0.00	25.00	19.50	10.00	0.00	11.00	9.00	10.50	30.00	19.00	0.00
1969	23.00	20.00	32.00	21.00	23.00	23.00	5.00	10.00	2.00	9.50	20.00	15.00
1970	25.00	20.00	34.00	19.00	26.00	13.00	16.00	-	10.00	15.00	12.00	18.00
1971	17.00	18.00	27.00	19.00	60.00	11.00	11.00	34.00	25.50	30.00	11.00	18.00
1972	25.00	26.00	90.00	43.00	16.00	9.00	0.00	0.00	6.00	9.00	9.00	23.00
1973	17.00	51.00	41.00	36.00	16.00	10.00	15.00	17.00	10.00	9.00	29.00	11.00
1974	9.00	15.00	16.00	21.00	13.00	10.00	12.00	9.00	12.00	10.00	11.00	11.00
1975	20.00	22.00	18.00	18.00	16.00	9.00	15.00	19.00	24.00	10.00	5.00	10.00
1976	30.00	15.00	12.00	14.00	9.00	30.00	0.00	7.00	4.00	10.00	5.00	37.00
1977	10.00	46.00	49.00	27.00	9.00	9.00	10.00	0.00	27.00	21.00	16.00	14.00
1978	24.00	26.00	40.00	86.00	23.00	0.00	5.00	4.50	32.00	0.00	14.00	29.00
1979	17.00	26.00	36.00	31.00	20.00	0.00	3.00	11.00	9.00	9.00	14.00	3.00
1980	5.00	10.00	29.00	17.00	8.00	16.00	8.00	3.00	0.00	23.00	14.00	16.00
1981	22.00	22.00	43.00	30.00	29.00	18.00	14.00	15.00	12.00	23.00	12.00	14.00
1982	13.00	17.00	36.00	29.00	19.00	2.00	6.00	2.00	20.00	14.00	26.00	32.00
1983	48.10	40.30	42.10	37.10	25.00	46.00	0.00	0.00	12.00	31.00	0.00	20.00
1984	17.00	29.00	28.00	22.00	21.00	23.00	31.00	13.00	23.00	25.00	5.00	17.00
1985	14.00	20.00	27.00	15.00	14.00	3.00	4.00	8.00	13.00	12.00	7.00	20.00
1986	20.00	11.00	36.00	31.50	13.00	0.00	4.50	21.00	4.50	10.50	28.00	22.00
1987	23.00	40.00	19.00	25.00	6.50	0.00	7.50	18.00	23.50	13.00	4.00	9.00
1988	12.00	17.00	5.00	29.00	29.00	15.00	17.00	45.00	7.00	29.00	19.00	8.00
1989	21.00	44.00	28.00	13.00	13.00	20.50	0.00	13.50	6.00	46.00	13.00	0.00
1990	5.00	12.00	17.00	32.00	7.00	10.00	3.50	0.00	2.00	20.00	13.00	7.50
1991	11.00	35.00	26.00	43.00	25.00	2.00	4.00	5.00	0.00	19.00	30.00	15.00
1992	17.50	5.50	28.00	19.00	14.50	7.00	5.00	4.00	12.00	24.00	28.00	5.50
1993	19.00	27.00	43.50	43.50	31.50	27.00	6.00	12.00	31.00	24.50	20.00	11.00
1994	22.00	27.50	37.50	43.50	23.00	8.00	2.00	2.50	15.50	15.00	14.00	30.00
1995	42.00	22.00	27.00	23.00	27.00	1.00	17.00	18.00	15.00	20.00	36.00	14.00
1996	14.00	22.00	35.00	26.00	17.00	7.00	0.00	6.50	6.00	46.00	4.00	11.00
1997	8.00	30.00	20.00	24.00	17.00	8.50	0.00	0.00	9.00	6.00	24.00	25.00
1998	43.50	29.00	112.50	34.50	28.00	18.50	4.50	4.00	10.00	18.50	3.50	23.50
1999	34.50	39.00	22.00	48.00	24.00	21.50	17.00	9.00	11.00	33.00	7.00	17.50
2000	20.50	125.00	540.00	43.00	21.00	16.00	0.00	9.00	9.80	2.20	8.20	27.60
2001	20.50	19.50	74.00	38.00	10.40	19.00	9.80	0.00	15.80	6.10	8.40	21.00
2002	4.60	100.50	28.50	63.50	9.90	6.20	0.50	0.00	4.30	13.00	13.80	18.00
2003	18.70	35.50	13.00	25.00	21.60	14.80	4.00	0.70	8.80	3.50	15.80	36.30
2004	12.00	35.10	24.00	37.90	11.60	1.40	10.00	0.00	16.70	52.50	10.40	26.30
2005	6.60	17.30	37.20	14.50	3.90	15.10	1.20	4.50	4.10	34.00	17.80	11.70
2006	31.50	26.80	49.00	15.70	25.00	9.20	8.60	2.30	17.50	6.30	28.00	26.80
2007	11.10	11.20	43.90	23.30	16.60	3.90	4.30	6.40	1.40	11.50	37.20	7.00
2008	19.00	53.80	59.40	75.90	15.20	6.20	11.90	16.80	14.30	31.00	32.10	1.30
2009	51.30	29.60	33.50	43.90	12.20	11.30	3.80	3.00	18.20	6.70	8.60	22.40
2010	7.00	57.00	20.90	40.70	16.30	32.60	10.00	11.90	11.40	11.20	11.70	10.50
2011	24.00	32.00	23.90	31.10	10.70	4.90	20.30	2.20	13.20	13.00	13.80	13.80
2012	30.10	42.20	42.80	32.70	12.10	21.20	1.90	6.20	6.90	20.00	9.40	15.50
2013	14.20	27.10	33.40	22.20	22.40	6.80	2.20	3.30	3.40	32.30	2.10	8.30
2014	-	14.00	18.90	18.10	21.80	7.90	3.00	3.30	3.40	32.30	2.10	8.30

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del SENAMHI

Tabla 9: Datos completos de precipitación de la estación Udima

PRECIPITACIÓN MAX(24 HORAS) mm													
ESTACIÓN UDIMA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1964	30.98	34.00	23.00	35.00	17.81	7.37	10.00	16.00	13.36	34.00	14.00	17.00	252.52
1965	15.00	10.00	16.80	48.80	9.40	0.00	0.00	0.00	23.20	20.30	12.30	12.10	167.90
1966	16.30	15.20	14.60	13.20	0.00	5.80	10.30	12.10	18.70	12.40	12.90	13.40	144.90
1967	14.30	16.00	19.70	17.10	9.70	13.10	13.10	9.70	13.70	19.85	16.72	0.00	162.97
1968	0.00	0.00	25.00	19.50	10.00	0.00	11.00	9.00	10.50	30.00	19.00	14.60	148.60
1969	23.00	20.00	32.00	21.00	23.00	23.00	5.00	10.00	2.00	9.50	20.00	15.00	203.50
1970	25.00	20.00	34.00	19.00	26.00	13.00	16.00	13.91	10.00	15.00	12.00	18.00	221.91
1971	17.00	18.00	27.00	19.00	60.00	11.00	11.00	34.00	25.50	30.00	11.00	18.00	281.50
1972	25.00	26.00	90.00	43.00	16.00	9.00	0.00	0.00	6.00	9.00	9.00	23.00	256.00
1973	17.00	51.00	41.00	36.00	16.00	10.00	15.00	17.00	10.00	9.00	29.00	11.00	262.00
1974	9.00	15.00	16.00	21.00	13.00	10.00	12.00	9.00	12.00	10.00	11.00	11.00	149.00
1975	20.00	22.00	18.00	18.00	16.00	9.00	15.00	19.00	24.00	10.00	5.00	10.00	186.00
1976	30.00	15.00	12.00	14.00	9.00	30.00	0.00	7.00	4.00	10.00	5.00	37.00	173.00
1977	10.00	46.00	49.00	27.00	9.00	9.00	10.00	0.00	27.00	21.00	16.00	14.00	238.00
1978	24.00	26.00	40.00	86.00	23.00	0.00	5.00	4.50	32.00	0.00	14.00	29.00	283.50
1979	17.00	26.00	36.00	31.00	20.00	0.00	3.00	11.00	9.00	9.00	14.00	3.00	179.00
1980	5.00	10.00	29.00	17.00	8.00	16.00	8.00	3.00	0.00	23.00	14.00	16.00	149.00
1981	22.00	22.00	43.00	30.00	29.00	18.00	14.00	15.00	12.00	23.00	12.00	14.00	254.00
1982	13.00	17.00	36.00	29.00	19.00	2.00	6.00	2.00	20.00	14.00	26.00	32.00	216.00
1983	48.10	40.30	42.10	37.10	25.00	46.00	0.00	0.00	12.00	31.00	0.00	20.00	301.60
1984	17.00	29.00	28.00	22.00	21.00	23.00	31.00	13.00	23.00	25.00	5.00	17.00	254.00
1985	14.00	20.00	27.00	15.00	14.00	3.00	4.00	8.00	13.00	12.00	7.00	20.00	157.00
1986	20.00	11.00	36.00	31.50	13.00	0.00	4.50	21.00	4.50	10.50	28.00	22.00	202.00
1987	23.00	40.00	19.00	25.00	6.50	0.00	7.50	18.00	23.50	13.00	4.00	9.00	188.50
1988	12.00	17.00	5.00	29.00	29.00	15.00	17.00	45.00	7.00	29.00	19.00	8.00	232.00
1989	21.00	44.00	28.00	13.00	13.00	20.50	0.00	13.50	6.00	46.00	13.00	0.00	218.00
1990	5.00	12.00	17.00	32.00	7.00	10.00	3.50	0.00	2.00	20.00	13.00	7.50	129.00
1991	11.00	35.00	26.00	43.00	25.00	2.00	4.00	5.00	0.00	19.00	30.00	15.00	215.00
1992	17.50	5.50	28.00	19.00	14.50	7.00	5.00	4.00	12.00	24.00	28.00	5.50	170.00
1993	19.00	27.00	43.50	43.50	31.50	27.00	6.00	12.00	31.00	24.50	20.00	11.00	296.00
1994	22.00	27.50	37.50	43.50	23.00	8.00	2.00	2.50	15.50	15.00	14.00	30.00	240.50
1995	42.00	22.00	27.00	23.00	27.00	1.00	17.00	18.00	15.00	20.00	36.00	14.00	262.00
1996	14.00	22.00	35.00	26.00	17.00	7.00	0.00	6.50	6.00	46.00	4.00	11.00	194.50
1997	8.00	30.00	20.00	24.00	17.00	8.50	0.00	0.00	9.00	6.00	24.00	25.00	171.50
1998	43.50	29.00	112.50	34.50	28.00	18.50	4.50	4.00	10.00	18.50	3.50	23.50	330.00
1999	34.50	39.00	22.00	48.00	24.00	21.50	17.00	9.00	11.00	33.00	7.00	17.50	283.50
2000	20.50	125.00	140.00	43.00	21.00	16.00	0.00	9.00	9.80	2.20	8.20	27.60	422.30
2001	20.50	19.50	178.00	38.00	10.40	19.00	9.80	0.00	15.80	6.10	8.40	21.00	346.50
2002	4.60	100.50	28.50	63.50	9.90	6.20	0.50	0.00	4.30	13.00	13.80	18.00	262.80
2003	18.70	35.50	13.00	25.00	21.60	14.80	4.00	0.70	8.80	3.50	15.80	36.30	197.70
2004	12.00	35.10	24.00	37.90	11.60	1.40	10.00	0.00	16.70	52.50	10.40	26.30	237.90
2005	6.60	17.30	37.20	14.50	3.90	15.10	1.20	4.50	4.10	34.00	17.80	11.70	167.90
2006	31.50	26.80	49.00	15.70	25.00	9.20	8.60	2.30	17.50	6.30	28.00	26.80	246.70
2007	11.10	11.20	43.90	23.30	16.60	3.90	4.30	6.40	1.40	11.50	37.20	7.00	177.80
2008	19.00	53.80	59.40	75.90	15.20	6.20	11.90	16.80	14.30	31.00	32.10	1.30	336.90
2009	51.30	29.60	33.50	43.90	12.20	11.30	3.80	3.00	18.20	6.70	8.60	22.40	244.50
2010	7.00	57.00	20.90	40.70	16.30	32.60	10.00	11.90	11.40	11.20	11.70	10.50	241.20
2011	24.00	32.00	23.90	31.10	10.70	4.90	20.30	2.20	13.20	13.00	13.80	13.80	202.90
2012	30.10	42.20	42.80	32.70	12.10	21.20	1.90	6.20	6.90	20.00	9.40	15.50	241.00
2013	14.20	27.10	33.40	22.20	22.40	6.80	2.20	3.30	3.40	32.30	2.10	8.30	177.70
2014	28.76	14.00	18.90	18.10	21.80	7.90	3.00	3.30	3.40	32.30	2.10	8.30	161.86
MEDIA	19.7	29.1	37.3	31.0	17.6	11.4	7.4	8.7	12.2	19.2	14.7	16.1	224.3

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del SENAMHI

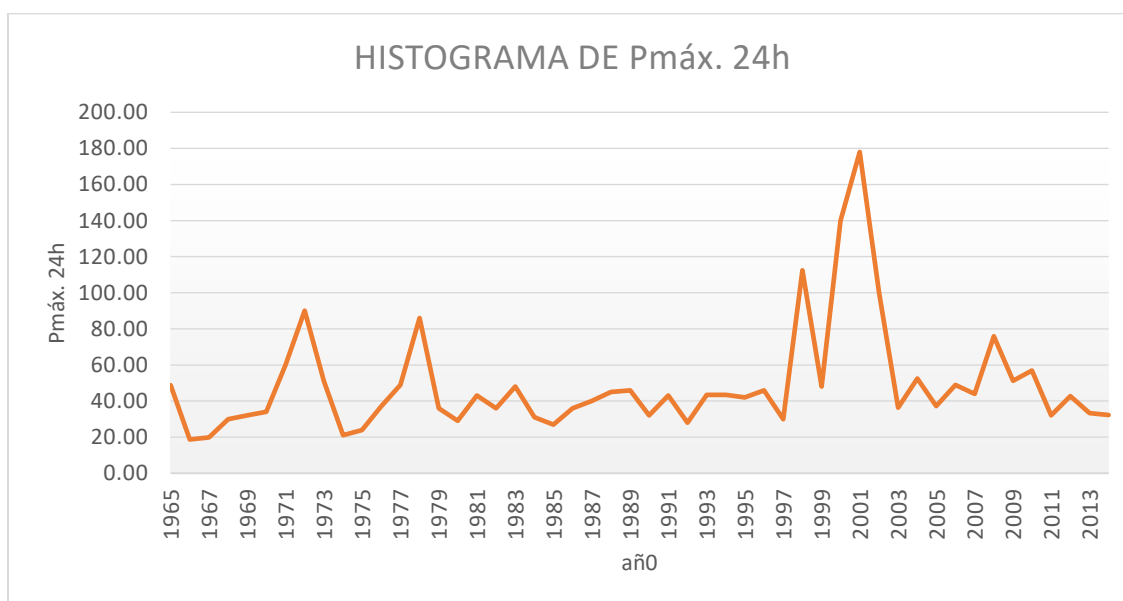
Tabla 10: Precipitaciones máximas de la estación Udima

PRECIPITACIÓN MAX(24 HORAS) mm					
AÑO	Pmáx. 24H	AÑO	Pmáx. 24H	AÑO	Pmáx. 24H
1965	48.80	1982	36.00	1999	48.00
1966	18.70	1983	48.10	2000	140.00
1967	19.85	1984	31.00	2001	178.00
1968	30.00	1985	27.00	2002	100.50
1969	32.00	1986	36.00	2003	36.30
1970	34.00	1987	40.00	2004	52.50
1971	60.00	1988	45.00	2005	37.20
1972	90.00	1989	46.00	2006	49.00
1973	51.00	1990	32.00	2007	43.90
1974	21.00	1991	43.00	2008	75.90
1975	24.00	1992	28.00	2009	51.30
1976	37.00	1993	43.50	2010	57.00
1977	49.00	1994	43.50	2011	32.00
1978	86.00	1995	42.00	2012	42.80
1979	36.00	1996	46.00	2013	33.40
1980	29.00	1997	30.00	2014	32.30
1981	43.00	1998	112.50		

Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra el histograma histórico de precipitaciones máximas en 24 hora, que comprenden desde el año 1964 hasta el año 2014.

Ilustración 24: Histograma histórico de precipitaciones Estación Udima



Fuente: elaboración propia

Tabla 11: Prueba de bondad de ajuste, estación Udima

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV													
DISTRIBUCIONES													
m	Pmáx. 24 H	Fo	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL		LOG-PERSON III		
			F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	
1	18.00	0.020	0.053	0.086	0.001	0.019	0.089	0.120	0.021	0.006	0.001	0.019	
2	19.00	0.039	0.062	0.077	0.003	0.037	0.097	0.108	0.028	0.006	0.003	0.036	
3	21.00	0.059	0.084	0.083	0.012	0.047	0.113	0.106	0.047	0.005	0.016	0.043	
4	24.00	0.078	0.123	0.105	0.050	0.028	0.142	0.116	0.087	0.018	0.060	0.016	
5	27.00	0.098	0.170	0.131	0.120	0.022	0.175	0.128	0.140	0.052	0.130	0.038	
6	28.00	0.118	0.187	0.127	0.149	0.031	0.187	0.119	0.160	0.053	0.158	0.046	
7	29.00	0.137	0.205	0.124	0.179	0.041	0.199	0.111	0.181	0.054	0.186	0.056	
8	30.00	0.157	0.224	0.121	0.210	0.053	0.212	0.104	0.203	0.056	0.216	0.066	
9	30.00	0.177	0.224	0.102	0.210	0.034	0.212	0.084	0.203	0.036	0.216	0.046	
10	31.00	0.196	0.243	0.099	0.242	0.046	0.226	0.076	0.225	0.039	0.245	0.057	
11	32.00	0.216	0.262	0.096	0.275	0.059	0.240	0.069	0.249	0.042	0.275	0.067	
12	32.00	0.235	0.262	0.077	0.275	0.039	0.240	0.049	0.249	0.023	0.275	0.047	
13	32.00	0.255	0.262	0.057	0.275	0.020	0.240	0.030	0.249	0.003	0.275	0.028	
14	32.00	0.275	0.262	0.038	0.275	0.000	0.240	0.010	0.249	0.017	0.275	0.008	
15	33.00	0.294	0.282	0.035	0.307	0.013	0.254	0.003	0.272	0.013	0.305	0.018	
16	34.00	0.314	0.302	0.033	0.339	0.025	0.269	0.004	0.296	0.010	0.334	0.028	
17	36.00	0.333	0.343	0.048	0.400	0.066	0.300	0.003	0.345	0.018	0.391	0.064	
18	36.00	0.353	0.343	0.028	0.400	0.047	0.300	0.016	0.345	0.002	0.391	0.045	
19	36.00	0.373	0.343	0.009	0.400	0.027	0.300	0.036	0.345	0.022	0.391	0.025	
20	36.00	0.392	0.343	0.011	0.400	0.008	0.300	0.056	0.345	0.041	0.391	0.005	
21	37.00	0.412	0.364	0.013	0.429	0.017	0.316	0.062	0.369	0.037	0.419	0.013	
22	37.00	0.431	0.364	0.033	0.429	0.003	0.316	0.081	0.369	0.057	0.419	0.007	
23	40.00	0.451	0.426	0.001	0.509	0.058	0.366	0.059	0.441	0.008	0.495	0.049	
24	42.00	0.471	0.466	0.013	0.557	0.096	0.401	0.050	0.487	0.017	0.541	0.074	
25	42.00	0.490	0.466	0.007	0.557	0.067	0.401	0.070	0.487	0.003	0.541	0.054	
26	43.00	0.510	0.486	0.010	0.579	0.069	0.419	0.075	0.509	0.001	0.563	0.056	
27	43.00	0.529	0.486	0.030	0.579	0.050	0.419	0.095	0.509	0.021	0.563	0.036	
28	43.00	0.549	0.486	0.049	0.579	0.030	0.419	0.114	0.509	0.041	0.563	0.017	
29	43.00	0.569	0.486	0.069	0.579	0.010	0.419	0.134	0.509	0.060	0.563	0.003	
30	43.00	0.588	0.486	0.088	0.579	0.009	0.419	0.154	0.509	0.080	0.563	0.023	
31	45.00	0.608	0.525	0.076	0.620	0.012	0.455	0.144	0.552	0.058	0.603	0.003	
32	46.00	0.628	0.543	0.080	0.638	0.011	0.473	0.149	0.572	0.058	0.622	0.004	
33	46.00	0.647	0.543	0.099	0.638	0.009	0.473	0.169	0.572	0.078	0.622	0.024	
34	48.00	0.667	0.580	0.089	0.673	0.006	0.510	0.159	0.611	0.060	0.656	0.010	
35	48.00	0.686	0.580	0.108	0.673	0.014	0.510	0.179	0.611	0.080	0.656	0.029	
36	48.00	0.706	0.580	0.128	0.673	0.033	0.510	0.198	0.611	0.099	0.656	0.049	
37	49.00	0.726	0.597	0.133	0.688	0.037	0.528	0.203	0.630	0.101	0.672	0.053	
38	49.00	0.745	0.597	0.152	0.688	0.057	0.528	0.223	0.630	0.120	0.672	0.073	
39	51.00	0.765	0.631	0.143	0.717	0.048	0.564	0.213	0.665	0.106	0.702	0.063	
40	51.00	0.784	0.631	0.163	0.717	0.067	0.564	0.233	0.665	0.126	0.702	0.083	
41	52.00	0.804	0.647	0.169	0.730	0.074	0.582	0.238	0.682	0.129	0.716	0.089	
42	57.00	0.824	0.720	0.125	0.786	0.037	0.668	0.187	0.755	0.078	0.775	0.051	
43	60.00	0.843	0.757	0.111	0.813	0.030	0.716	0.166	0.792	0.061	0.804	0.042	
44	74.00	0.863	0.881	0.011	0.894	0.031	0.887	0.028	0.905	0.032	0.893	0.026	
45	75.00	0.882	0.887	0.025	0.898	0.015	0.896	0.038	0.910	0.018	0.897	0.011	
46	86.00	0.902	0.937	0.011	0.930	0.028	0.961	0.020	0.952	0.043	0.933	0.027	
47	90.00	0.922	0.950	0.006	0.939	0.017	0.974	0.019	0.962	0.034	0.942	0.017	
48	100.00	0.941	0.971	0.013	0.954	0.013	0.992	0.032	0.979	0.033	0.959	0.015	
49	112.00	0.961	0.985	0.013	0.967	0.006	0.998	0.030	0.989	0.025	0.972	0.009	
50	178.00	0.980	1.000	0.018	0.991	0.011	1.000	0.020	1.000	0.019	0.995	0.014	
D=máx F-Fo 			0.169		0.096		0.238		0.129		0.089		
			OK		OK		NO		OK		OK		

NIVEL DE SIGNIFICANCIA 0.050
 NUMERO DE DATOS 50.000
 NIVEL DE SIGNIFICACION 0.192

Fuente: elaboración propia

De la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kologomorov se observa que para la estación Udimá el máximo valor de D o variación, pertenece a la Normal con un valor de 0.238, siendo mayor al nivel de significación aceptada que es 0.192 para 50 datos analizados; por lo tanto, la distribución Normal no es adecuada para este análisis; y el mínimo valor de D pertenece a la distribución de log- Gumbel con un valor de 0,086 el mismo que es menor que 0,192 y es la desviación más pequeña haciendo que la distribución Log-Gumbel sea la más adecuada para la distribución óptima.

Para las estaciones restantes, la distribución de probabilidad y la prueba de bondad se encuentran en los anexos.

Con la distribución que mejor se ajusta de acuerdo a la prueba de bondad realizada, se encontró las precipitaciones para los diferentes tiempos de retorno considerados en el presente estudio de las seis estaciones

Tabla 12: Precipitación máx. 24h Vs Tr.

ESTACIÓN	TIEMPO DE RETORNO (años)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
OYOTUN	34.06	48.96	59.2	72.49	82.61	92.92	103.48	117.89
UDIMA	40.02	59.87	76.76	103.11	126.89	154.67	187.08	238.14
LIVES	36.24	50.3	59.71	71.69	80.68	89.72	98.87	111.23
CAYALTI	9.45	21.03	33	54.72	76.93	105.45	141.7	204.26
NIEPOS	31.45	50.36	62.89	78.72	90.46	102.11	113.72	129.04
EL ESPINAL	12.28	26.08	38.69	58.91	77.28	98.65	123.34	161.69

Fuente: elaboración propia

4.1.5 precipitación de diseño

Debido a la escasa cantidad de estaciones registradoras de precipitación en la cuenca Zaña, para obtener valores más reales se trabaja con la precipitación media de la cuenca. Para ello se encontró la precipitación media por los métodos explicados en el marco teórico, que son los siguientes

4.1.5.1 Polígono de Thiessen

Para este método se obtiene los resultados siguientes, tanto para un periodo de retorno de 100, 200 y 500 años.

Tabla 13: Precipitación media TR=100 años

NOMBRE	AREA	TR_100	AXP	PD TR100
CAYALTI	488.98	105.45	51563.17	
NIEPOS	429.62	102.11	43868.94	
UDIMA	207.98	154.67	32169.00	106.14
OYOTUN	470.34	92.92	43704.22	
LIVES	70.48	89.72	6323.69	
ESPINAL	87.30	98.65	8611.75	
AREA TOTAL	1754.71	SUMA	186240.76	

Fuente: elaboración propia

Tabla 14: Precipitación media TR=200 años

NOMBRE	AREA	TR_200	AXP	PD TR100
CAYALTI	488.98	141.70	69288.77	
NIEPOS	429.62	113.72	48856.88	
UDIMA	207.98	187.08	38909.78	127.35
OYOTUN	470.34	103.48	48671.03	
LIVES	70.48	98.87	6968.61	
ESPINAL	87.30	123.34	10767.08	
AREA TOTAL	1754.71	SUMA	223462.16	

Fuente: elaboración propia

Tabla 15: Precipitación media TR=500 años

NOMBRE	AREA	TR_500	AXP	PD TR100
CAYALTI	488.98	204.26	99879.49	
NIEPOS	429.62	129.04	55438.73	
UDIMA	207.98	238.14	49529.48	160.85
OYOTUN	470.34	117.89	55448.67	
LIVES	70.48	111.23	7839.77	
ESPINAL	87.30	161.69	14114.88	
AREA TOTAL	1754.71	SUMA	282251.02	

Fuente: elaboración propia

4.1.5.2 Método de las isoyetas

Para este método se obtiene los resultados siguientes, tanto para un periodo de retorno de 100, 200 y 500 años.

Tabla 16: Precipitación media TR=100 años

Value	MIN	MAX	PROMEDIO	ÁREA	AXP	PM TR=100
1	64.860413	76.691277	70.775845	187.30597	13256.738	104.54654
2	76.692574	93.222153	84.957364	450.00283	38231.054	
3	93.222794	109.74888	101.48584	666.27956	67617.938	
4	109.75505	126.28313	118.01909	106.15439	12528.245	
5	126.28485	142.81578	134.55032	121.97835	16412.226	
6	142.82053	159.34169	151.08111	124.58381	18822.26	
7	159.35153	175.87189	167.61171	90.928013	15240.6	
8	175.9019	181.4351	178.6685	7.5295279	1345.2895	
				1754.7625	183454.35	

Fuente: elaboración propia

Tabla 17: Precipitación media TR=200 años

Value	MIN	MAX	PROMEDIO	AREA	AXP	PM TR=200
1	58.975533	74.758423	66.866978	131.20501	8773.2826	123.60059
2	74.759857	96.903961	85.831909	390.81835	33544.685	
3	96.904938	119.04973	107.97733	357.90356	38645.472	
4	119.05153	141.19415	130.12284	273.83578	35632.29	
5	141.19501	163.33691	152.26596	339.06779	51628.482	
6	163.34033	185.48282	174.41158	137.61109	24000.966	
7	185.49104	207.62996	196.5605	110.05062	21631.606	
8	207.65836	217.40697	212.53266	14.270248	3032.8938	
				1754.7625	216889.68	

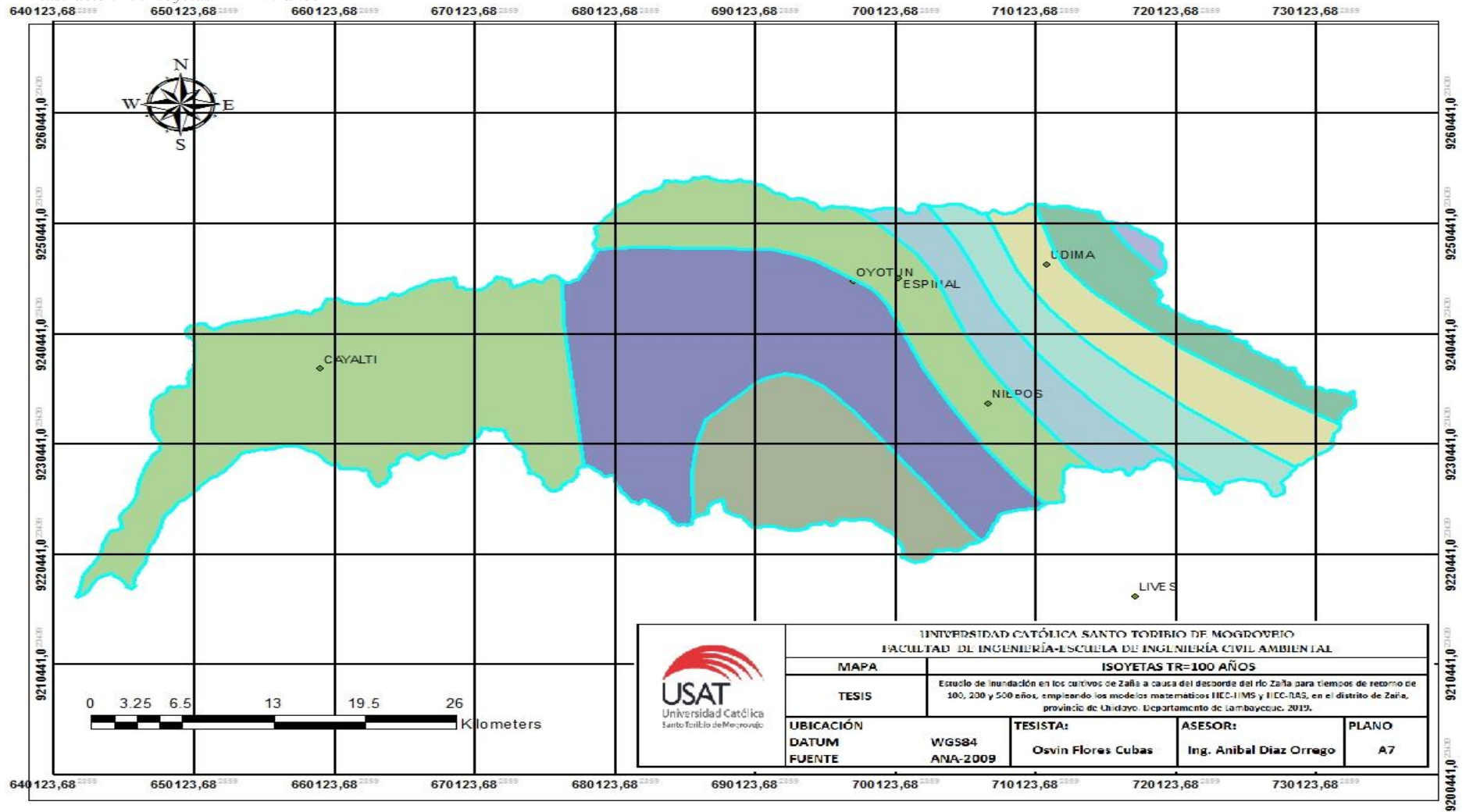
Fuente: elaboración propia

Tabla 18: Precipitación media TR=500 años

Value	MIN	MAX	PROMEDIO	AREA	AXP	PM TR=500
1	45.293961	67.867142	56.580552	109.40524	6190.2086	150.55435
2	67.868866	99.502815	83.685841	343.89625	28779.246	
3	99.50882	131.14728	115.32805	310.00142	35751.859	
4	131.15198	162.7903	146.97114	217.37628	31948.039	
5	162.81252	194.41777	178.61514	210.77897	37648.317	
6	194.43379	226.07193	210.25286	409.84535	86171.157	
7	226.07416	257.69778	241.88597	129.72301	31378.176	
8	257.71982	274.81592	266.26787	23.73594	6320.1182	
				1754.7625	264187.12	

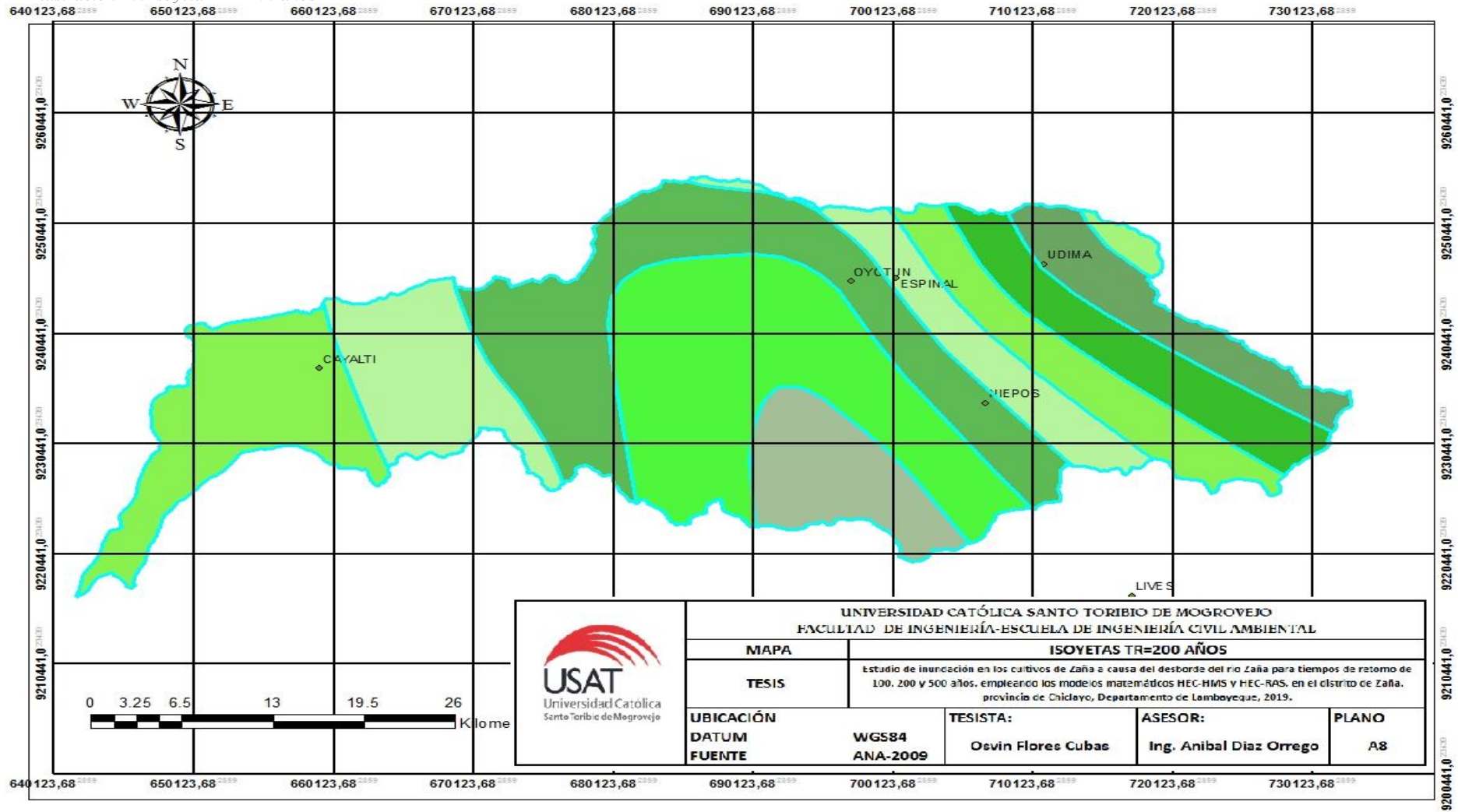
Fuente: elaboración propia

Ilustración 25: Isoyetas TR=100 años



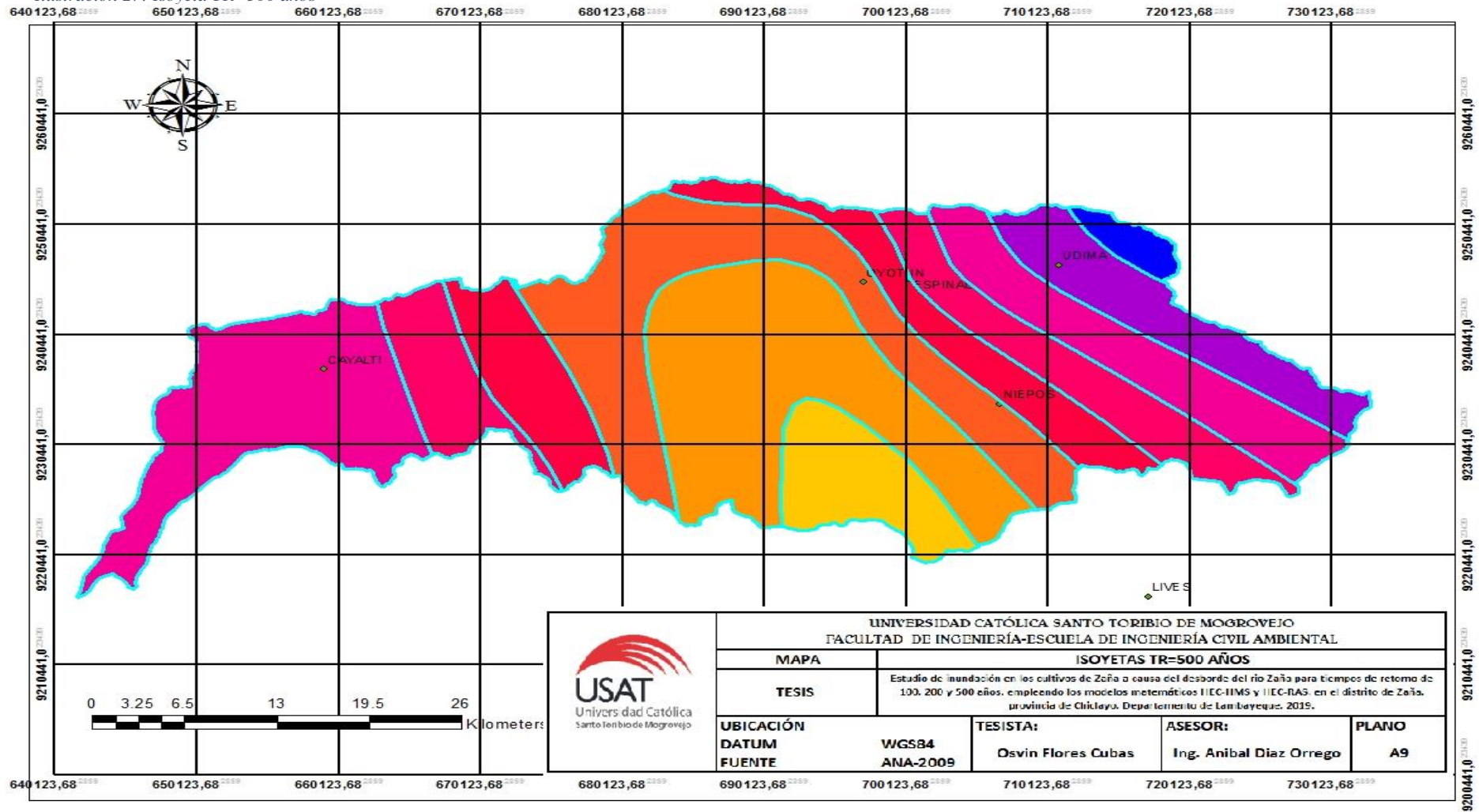
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26: Isoyeta TR= 200 años

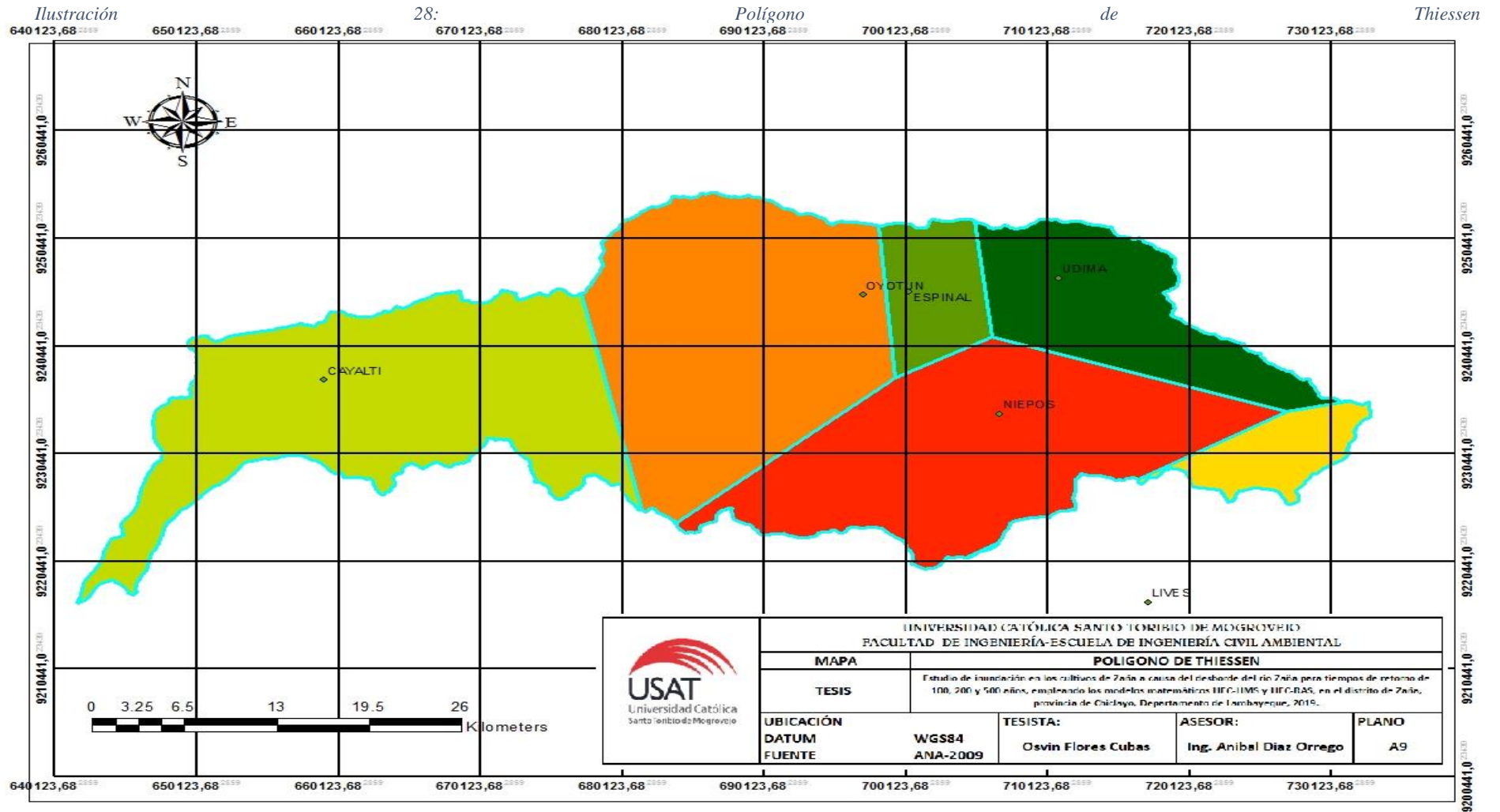


Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27: Isoyeta TR=500 años



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado ambos métodos, se optó por trabajar con las precipitaciones medias obtenidas por el método de isoyetas.

Tabla 19: Presipitación media

TR	100	200	500
PRECIP. MEDIA	104.55	123.60	150.55

Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Curvas IDF

Para la elaboración de las curvas IDF (intensidad, duración y frecuencia), se hizo uso de los coeficientes de duración dados por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC (2008).

Tabla 20: Coeficientes de duración

DURACION EN HORAS									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.25	0.31	0.38	0.44	0.50	0.56	0.64	0.79	0.90	1.00

Fuente: “Manual de hidrología, hidráulica y drenaje”, por MTC,2008.

De acuerdo a la tabla mostrada, se calculó la precipitación máxima para tiempos de duración 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 y 24 horas con sus respectivos coeficientes.

Tabla 21: Precipitación media de la cuenca

Tiempo de duración	Coeficiente	PERIODO DE RETORNO		
		100	200	500
Hora				
24h	100 %	104.55	123.60	150.55
18h	90 %	94.09	111.24	135.50
12h	79 %	82.59	97.64	118.94
8h	64 %	66.91	79.10	96.35
6h	56 %	58.55	69.22	84.31
5h	50 %	52.27	61.80	75.28
4h	44 %	46.00	54.38	66.24
3h	38 %	39.73	46.97	57.21
2h	31 %	32.41	38.32	46.67
1h	25 %	26.14	30.90	37.64

Fuente: elaboración propia

Como paso siguiente, se calculó la intensidad de lluvia según el periodo de retorno con la ecuación.

$$I = P/T \quad (4.2)$$

Donde:

I = Intensidad mm/hr

P= Precipitación mm

T = Tiempo hr

Los resultados se muestran en las siguiente

Tabla 22: Intensidad media de la cuenca Zaña

Tiempo de duración		Intensidad de lluvia (mm/hr)		
Hora	PR	100	200	500
24		4.36	5.15	6.27
18		5.23	6.18	7.53
12		6.88	8.14	9.91
8		8.36	9.89	12.04
6		9.76	11.54	14.05
5		10.45	12.36	15.06
4		11.50	13.60	16.56
3		13.24	15.66	19.07
2		16.20	19.16	23.34
1		26.14	30.90	37.64

Fuente: elaboración propia

Obtención de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).

Para la obtención de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), se usó la ecuación recomendada por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC (2008).

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

I = Intensidad (mm/hr)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

K, m, n = Parámetros de ajuste

Los parámetros de ajuste se calculan realizando una regresión Múltiple con los datos de intensidad máxima. De esto se obtuvo los siguientes parámetros de ajuste para los datos de precipitación media.

Tabla 23: Ecuación de regresión lineal para las precipitaciones medias

$$I = \frac{60.7219 * T + 0.302968}{0.53752 t}$$

Máximo Villón, establece que para que se produzca el máximo caudal en el cauce principal de una cuenca, el tiempo que tarda es muy similar a la duración de la tormenta que lo origina. De esta manera el tiempo de duración de tormenta para la cuenca del río Zaña es 630 minutos, el mismo que fue calculado en el tiempo de concentración de la cuenca. [14]

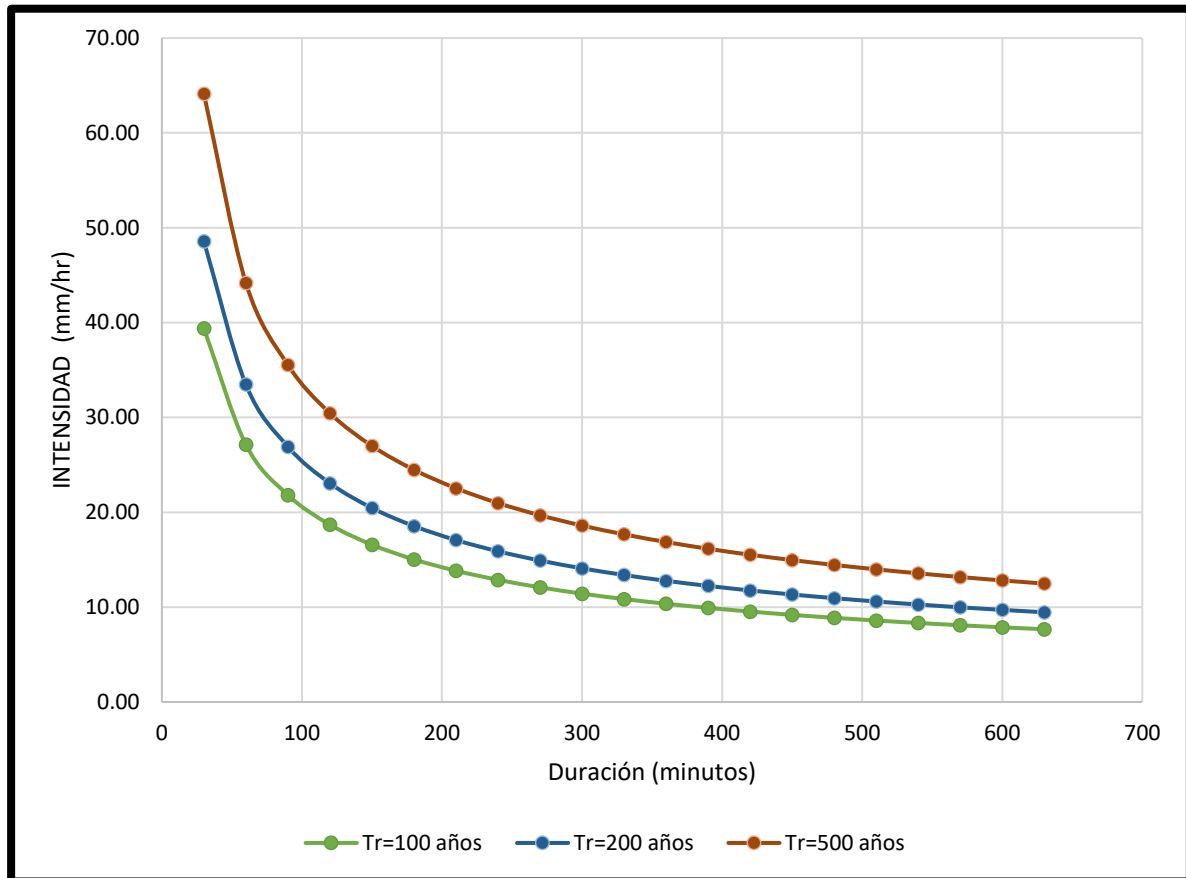
En la siguiente tabla se muestran los valores de intensidad para cada una de las estaciones y su respectivo gráfico de curva IDF.

Tabla 24: Tabla de intensidad Media-Tiempo de duración-Periodo de retorno

Duración de tormenta minutos	100	200	500
30	39.38	48.58	64.13
60	27.13	33.47	44.18
90	21.82	26.92	35.53
120	18.69	23.06	30.44
150	16.58	20.45	27.00
180	15.03	18.54	24.48
210	13.84	17.07	22.53
240	12.88	15.89	20.97
270	12.09	14.91	19.69
300	11.42	14.09	18.60
330	10.85	13.39	17.67
360	10.36	12.78	16.86
390	9.92	12.24	16.15
420	9.53	11.76	15.52
450	9.19	11.33	14.96
480	8.87	10.95	14.45
510	8.59	10.60	13.99
540	8.33	10.27	13.56
570	8.09	9.98	13.17
600	7.87	9.71	12.82
630	7.67	9.46	12.48

Fuente: elaboración propia

Ilustración 29: Curva IDF



Fuente: elaboración propia

4.1.6 Hietograma de diseño

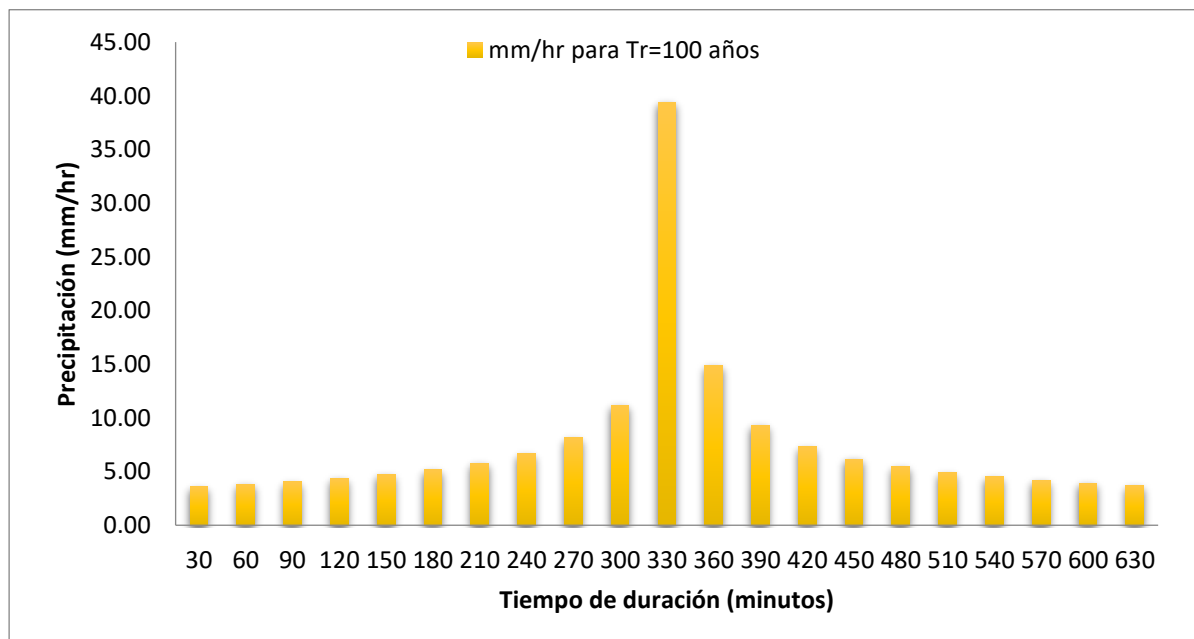
Para obtener el hietograma de diseño existen muchos métodos; pero para este estudio se usa el método de bloques alternos, recomendado por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC [11]. Este es método permite construir el hietograma de diseño a partir de las curvas IDF. La duración de la tormenta de 630 min.

Se presenta las tablas y hietogramas para las precipitaciones medias de la cuenca y en anexos para cada una de las estaciones estudiadas.

Tabla 25: Hietograma de intensidades $Tr=100$

TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	39.38	39.38	3.59	3.59
60	27.13	14.88	3.80	3.80
90	21.82	11.19	4.04	4.04
120	18.69	9.31	4.33	4.33
150	16.58	8.13	4.69	4.69
180	15.03	7.29	5.15	5.15
210	13.84	6.66	5.77	5.77
240	12.88	6.17	6.66	6.66
270	12.09	5.77	8.13	8.13
300	11.42	5.43	11.19	11.19
330	10.85	5.15	39.38	39.38
360	10.36	4.90	14.88	14.88
390	9.92	4.69	9.31	9.31
420	9.53	4.50	7.29	7.29
450	9.19	4.33	6.17	6.17
480	8.87	4.17	5.43	5.43
510	8.59	4.04	4.90	4.90
540	8.33	3.91	4.50	4.50
570	8.09	3.80	4.17	4.17
600	7.87	3.69	3.91	3.91
630	7.67	3.59	3.69	3.69

Fuente: elaboración propia

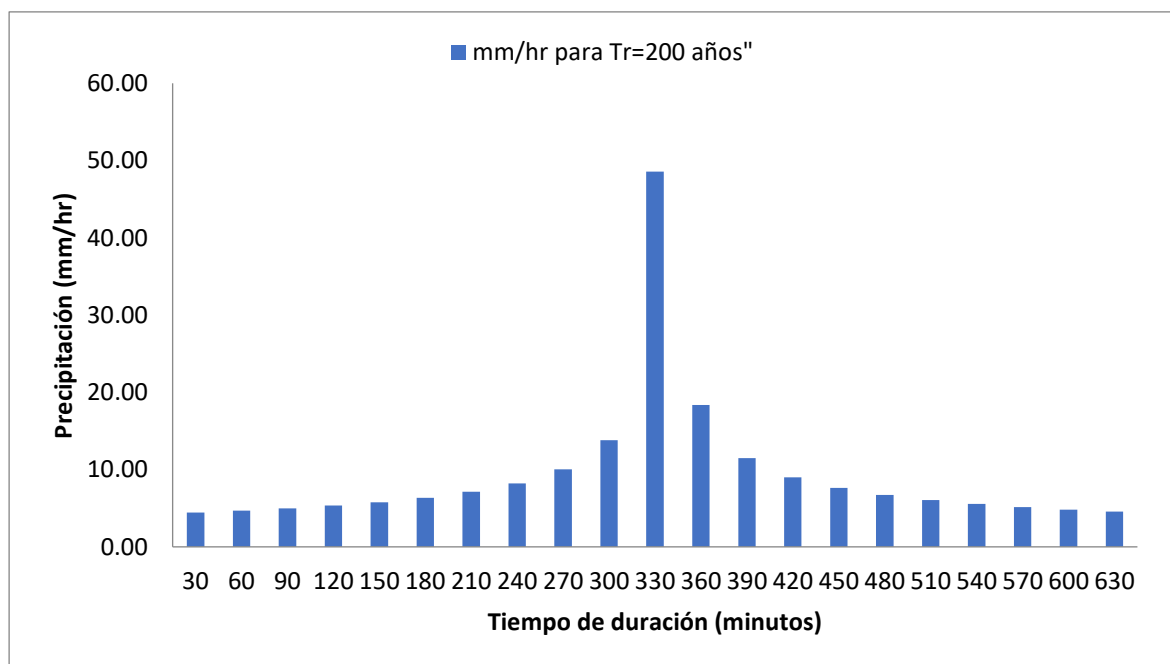
Ilustración 30: Gráfico de Hietograma de intensidades $Tr=100$ 

Fuente: elaboración propia

Tabla 26: Hietograma de intensidades $Tr=200$ años

TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	48.58	48.58	4.43	4.43
60	33.47	18.36	4.68	4.68
90	26.92	13.81	4.98	4.98
120	23.06	11.49	5.34	5.34
150	20.45	10.03	5.78	5.78
180	18.54	9.00	6.35	6.35
210	17.07	8.22	7.12	7.12
240	15.89	7.61	8.22	8.22
270	14.91	7.12	10.03	10.03
300	14.09	6.70	13.81	13.81
330	13.39	6.35	48.58	48.58
360	12.78	6.05	18.36	18.36
390	12.24	5.78	11.49	11.49
420	11.76	5.55	9.00	9.00
450	11.33	5.34	7.61	7.61
480	10.95	5.15	6.70	6.70
510	10.60	4.98	6.05	6.05
540	10.27	4.82	5.55	5.55
570	9.98	4.68	5.15	5.15
600	9.71	4.55	4.82	4.82
630	9.46	4.43	4.55	4.55

Fuente: elaboración propia

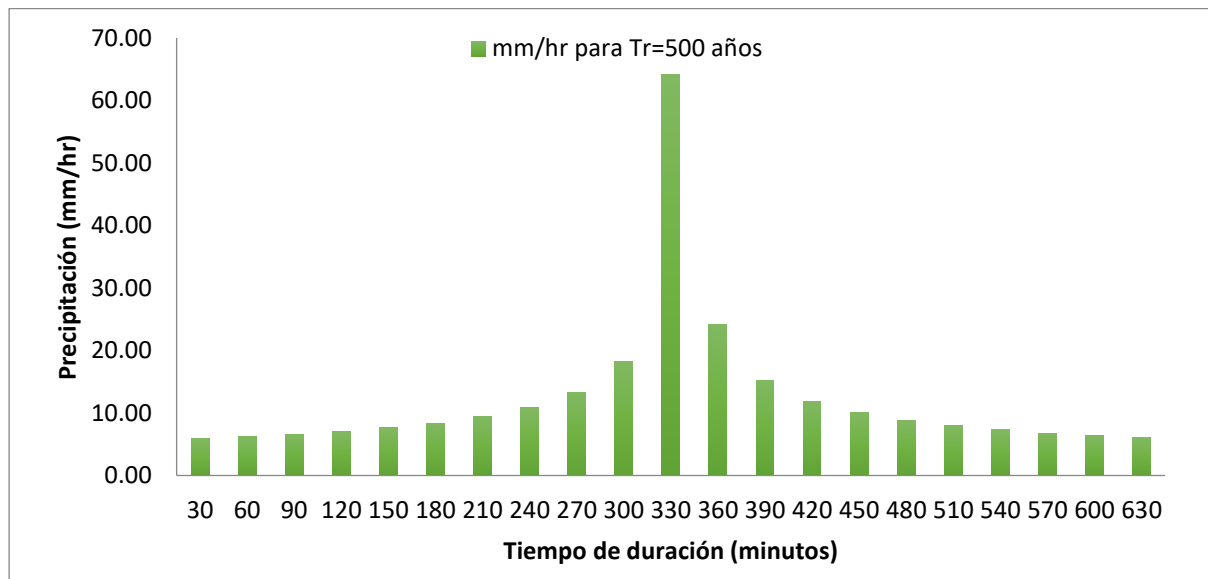
Ilustración 31: Gráfico de Hietograma $Tr=200$ años, estación Udima

Fuente: elaboración propia

Tabla 27: Hietograma de intensidades $Tr=500$ años

TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	64.13	64.13	5.85	5.85
60	44.18	24.24	6.18	6.18
90	35.53	18.23	6.57	6.57
120	30.44	15.17	7.05	7.05
150	27.00	13.24	7.63	7.63
180	24.48	11.88	8.38	8.38
210	22.53	10.85	9.39	9.39
240	20.97	10.05	10.85	10.85
270	19.69	9.39	13.24	13.24
300	18.60	8.85	18.23	18.23
330	17.67	8.38	64.13	64.13
360	16.86	7.98	24.24	24.24
390	16.15	7.63	15.17	15.17
420	15.52	7.32	11.88	11.88
450	14.96	7.05	10.05	10.05
480	14.45	6.80	8.85	8.85
510	13.99	6.57	7.98	7.98
540	13.56	6.37	7.32	7.32
570	13.17	6.18	6.80	6.80
600	12.82	6.01	6.37	6.37
630	12.48	5.85	6.01	6.01

Fuente: elaboración propia

Ilustración 32: Gráfico de Hietograma de intensidades $Tr=500$ años,

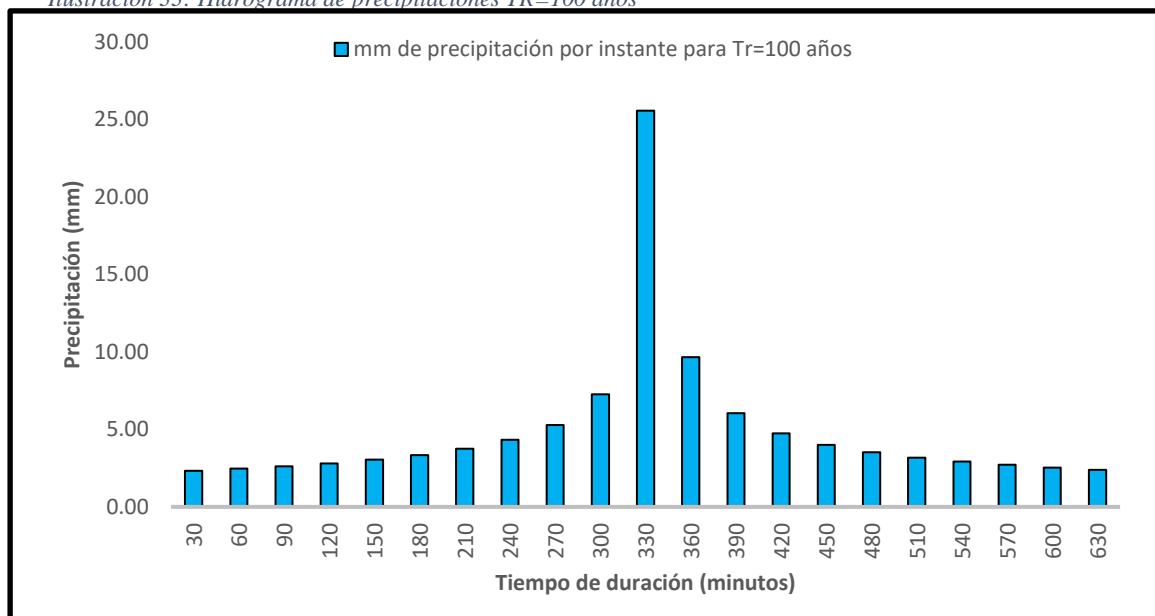
Fuente: elaboración propia

Tabla 28: Hidrograma de precipitaciones TR=100 años

TR=	100	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	39.38	19.69	19.69	1.80	2.33
60	27.13	27.13	7.44	1.90	2.46
90	21.82	32.73	5.60	2.02	2.62
120	18.69	37.39	4.66	2.16	2.81
150	16.58	41.45	4.06	2.34	3.04
180	15.03	45.10	3.65	2.57	3.34
210	13.84	48.43	3.33	2.88	3.75
240	12.88	51.51	3.09	3.33	4.33
270	12.09	54.40	2.88	4.06	5.28
300	11.42	57.11	2.72	5.60	7.27
330	10.85	59.69	2.57	19.69	25.57
360	10.36	62.14	2.45	7.44	9.66
390	9.92	64.48	2.34	4.66	6.05
420	9.53	66.73	2.25	3.65	4.74
450	9.19	68.89	2.16	3.09	4.01
480	8.87	70.98	2.09	2.72	3.53
510	8.59	73.00	2.02	2.45	3.18
540	8.33	74.96	1.96	2.25	2.92
570	8.09	76.85	1.90	2.09	2.71
600	7.87	78.70	1.84	1.96	2.54
630	7.67	80.49	1.80	1.84	2.40
		SUMA	80.49		104.55
		PRECIPITACIÓN DE DISEÑO	104.55		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 33: Hidrograma de precipitaciones TR=100 años



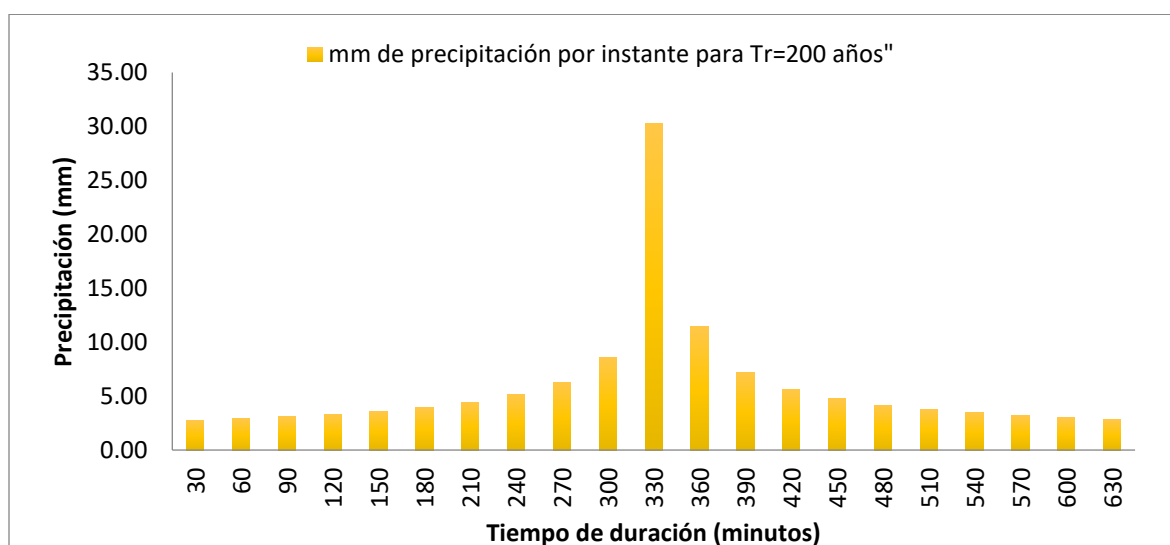
Fuente: elaboración propia

Tabla 29: Hidrograma de precipitaciones TR=200 años

TR=	200	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITA- CIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZA- DO
30	48.58	24.29	24.29	2.22	2.76
60	33.47	33.47	9.18	2.34	2.91
90	26.92	40.38	6.90	2.49	3.10
120	23.06	46.12	5.75	2.67	3.32
150	20.45	51.14	5.01	2.89	3.60
180	18.54	55.63	4.50	3.18	3.95
210	17.07	59.75	4.11	3.56	4.43
240	15.89	63.55	3.81	4.11	5.12
270	14.91	67.11	3.56	5.01	6.24
300	14.09	70.46	3.35	6.90	8.59
330	13.39	73.64	3.18	24.29	30.24
360	12.78	76.66	3.02	9.18	11.43
390	12.24	79.55	2.89	5.75	7.15
420	11.76	82.32	2.77	4.50	5.60
450	11.33	84.99	2.67	3.81	4.74
480	10.95	87.57	2.58	3.35	4.17
510	10.60	90.06	2.49	3.02	3.76
540	10.27	92.47	2.41	2.77	3.45
570	9.98	94.81	2.34	2.58	3.21
600	9.71	97.09	2.28	2.41	3.00
630	9.46	99.30	2.22	2.28	2.83
		SUMA	99.30		123.60
		PRECIPITACIÓN DE DISEÑO	123.60		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 34: Hidrograma de precipitaciones TR=200 años



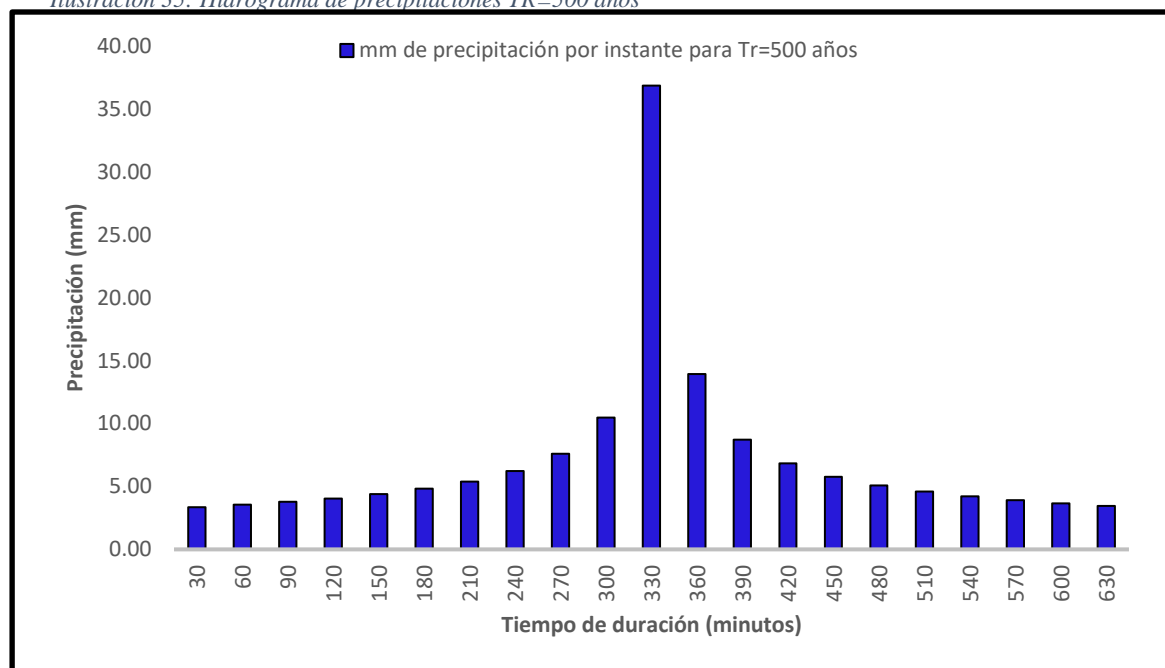
Fuente: elaboración propia

Tabla 30: Hidrograma de precipitaciones TR=500 años

TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	64.13	32.07	32.07	2.92	3.36
60	44.18	44.18	12.12	3.09	3.55
90	35.53	53.30	9.11	3.29	3.78
120	30.44	60.88	7.58	3.52	4.05
150	27.00	67.50	6.62	3.82	4.38
180	24.48	73.44	5.94	4.19	4.81
210	22.53	78.86	5.43	4.70	5.39
240	20.97	83.89	5.02	5.43	6.23
270	19.69	88.58	4.70	6.62	7.60
300	18.60	93.01	4.42	9.11	10.47
330	17.67	97.20	4.19	32.07	36.83
360	16.86	101.19	3.99	12.12	13.92
390	16.15	105.00	3.82	7.58	8.71
420	15.52	108.67	3.66	5.94	6.82
450	14.96	112.19	3.52	5.02	5.77
480	14.45	115.59	3.40	4.42	5.08
510	13.99	118.87	3.29	3.99	4.58
540	13.56	122.06	3.18	3.66	4.21
570	13.17	125.15	3.09	3.40	3.90
600	12.82	128.15	3.00	3.18	3.66
630	12.48	131.08	2.92	3.00	3.45
SUMA			131.08		150.55
PRECIPITACIÓN DE DISEÑO			150.55		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 35: Hidrograma de precipitaciones TR=500 años



Fuente: elaboración propia

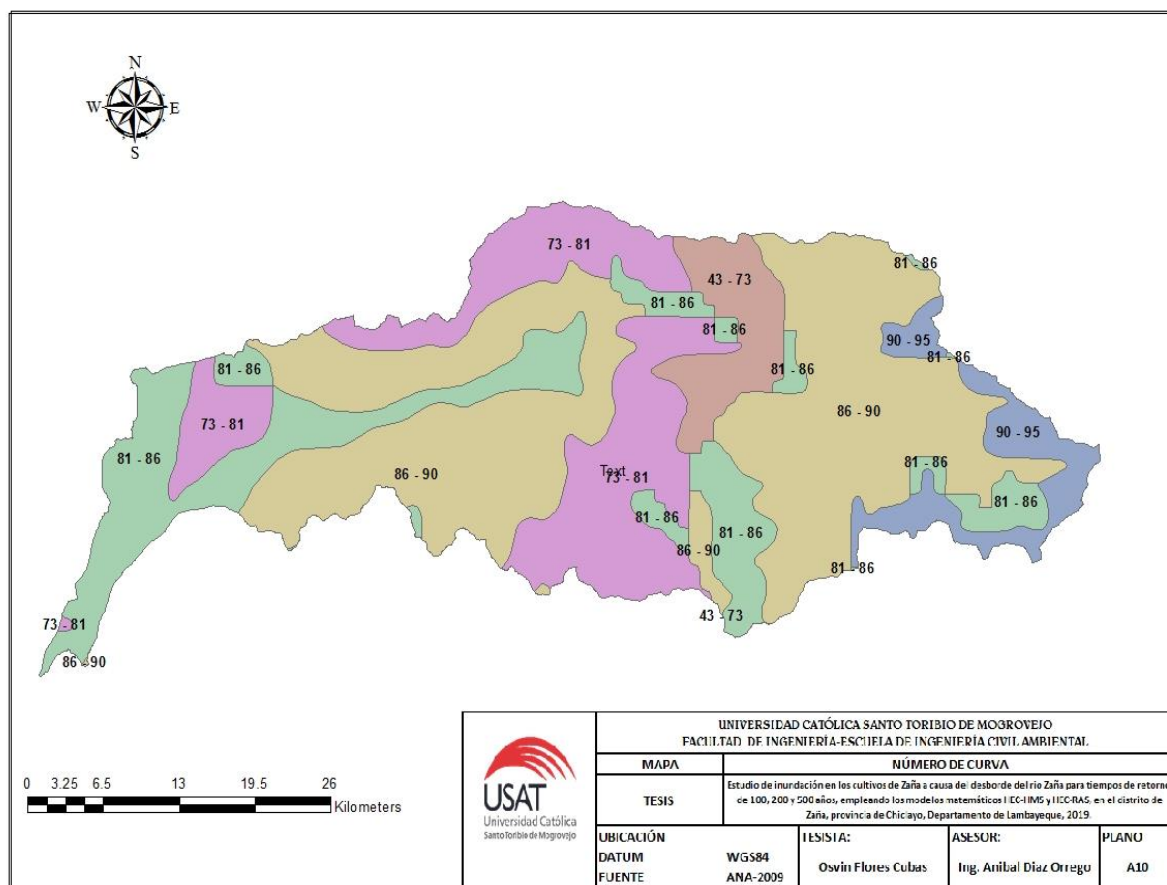
4.1.7 Modelado en Hec-Hms

Para iniciar con el modelamiento hidrológico en el software Hec-Hms, se tiene que calcular ciertos parámetros que son necesarios para el funcionamiento del programa, y estos son:

Número de Curva (CN)

Los números de curva se obtuvieron para las diferentes subcuencas en estudio y se estimó en función del SIG nacional de número de curva, como se muestra a continuación.

Ilustración 36: Número de Curva de la Cuenca Zaña



Fuente: elaboración propia a partir del CN nacional

De acuerdo al mapa generado para el número de curva se tiene los valores siguientes para cada una de las subcuencas pertenecientes a la cuenca del Zaña.

Tabla 31: Número de Curva de las Subcuencas del río Zaña

SUBCUENCA	AREA (Km²)	LONG. DE CAUCE PRINCIPAL (Km)	CN PROMEDIO
ALTO ZAÑA	187.33	24.59	81.00
LAS ARGOLLAS	50.83	11.52	81.00
MEDIO ALTO ZAÑA	182.16	19.43	81.00
RIO UDIMA	124.20	27.21	81.00
RIO NANCHOC	371.45	42.24	73.00
MEDIO ZAÑA	193.92	21.79	81.00
MEDIO BAJO ZAÑA	139.25	11.06	73.00
QDA. EL EXAMEN	96.51	23.03	73.00

Fuente: elaboración propia a partir del CN nacional

Seguidamente se procede a calcular la abstracción inicial-

Abstracción Inicial

Para estimar la abstracción inicial, usamos la ecuación dada por el ingeniero Máximo Villón [14] así que se muestra.

$$AI=5080/CN-50.8 \text{ (mm)}$$

De esa manera, reemplazando los valores de CN obtenidos (Ver Tabla 31) se obtiene lo siguiente.

Tabla 32: Abstracción inicial

SUBCUENCA	AREA (Km²)	CN	AI (mm)
ALTO ZAÑA	187.33	81.00	11.92
LAS ARGOLLAS	50.83	81.00	11.92
MEDIO ALTO ZAÑA	182.16	81.00	11.92
RIO UDIMA	124.20	81.00	11.92
RIO NANCHOC	371.45	73.00	18.79
MEDIO ZAÑA	193.92	81.00	11.92
MEDIO BAJO ZAÑA	139.25	73.00	18.79
QDA. EL EXAMEN	96.51	73.00	18.79

Fuente: elaboración propia

En función de las características fisiográficas de las subcuencas, se calcula el tiempo de concentración de cada subcuenca.

Tiempo de Concentración

Por las características que presenta la cuenca, el método que más se adapta a tales características es el método de Kirpich y es con ese método que se calcula los tiempos de concentración que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 33: Tiempo de Concentración de las Subcuencas

SUBCUENCA	AREA (Km²)	LONG. DE CAUCE PRINCIPAL (Km)	PENDIENTE MEDIA DE CAUCE PRINCIPAL (m/m)	TC
BAJO ZAÑA	409.07	48.45	0.00	555.43
QDA. EL EXAMEN	96.51	23.03	0.03	138.33
MEDIO BAJO				
ZAÑA	139.25	11.06	0.00	156.97
RIO NANCHOC	371.45	42.24	0.08	168.54
MEDIO ZAÑA	193.92	21.79	0.01	228.99
RIO UDIMA	124.20	27.21	0.11	106.96
MEDIO ALTO				
ZAÑA	182.16	19.43	0.06	99.79
LAS ARGOLLAS	50.83	11.52	0.15	49.21
ALTO ZAÑA	187.33	24.59	0.08	108.87

Fuente: elaboración propia

Tiempo de retardo o Lag-Time

El Lag-time es el tiempo que demora en escurrir toda la lluvia desde el punto más alto al punto más bajo de una cuenca o subcuenca. El tiempo de retardo sirve para transformar la precipitación neta a escorrentía directa.

Para este modelo, se usó el método de servicio de conservación de suelos (SCS), este método indica que el tiempo de retardo es como se muestra

$$\text{Lag-time} = 0.6 \text{ TC}$$

Remplazando los valores obtenidos de TC (ver Tabla 33) se obtiene lo siguiente:

Tabla 34: Lag-Time, Subcuencas

SUBCUENCA	PENDIENTE MEDIA DE CAUCE PRINCIPAL (m/m)	TC	LAG TIME
BAJO ZAÑA	0.00	555.43	333.26
QDA. EL EXAMEN	0.03	138.33	83.00
MEDIO BAJO ZAÑA	0.00	156.97	94.18
RIO NANCHOC	0.08	168.54	101.13
MEDIO ZAÑA	0.01	228.99	137.40
RIO UDIMA	0.11	106.96	64.18
MEDIO ALTO ZAÑA	0.06	99.79	59.88
LAS ARGOLLAS	0.15	49.21	29.53
ALTO ZAÑA	0.08	108.87	65.32

Fuente: elaboración propia

Una vez obtenido los parámetros necesarios, se ingresan en los respectivos campos del software Hec-Hms.

Ilustración 37: Esquema de modelo en Hec-Hms



Fuente: elaboración propia

4.1.7.1 Resultados del Modelo Hec-Hms

Una vez modelado, se obtiene como resultado un caudal de 746.8 m³/s, en el punto de análisis para un Tr= 100 años, un caudal de 982.6 m³/s y para un Tr= 500 años se obtiene un caudal de 1332.4 m³/s. Para la confiabilidad de los resultados se hace una comparación con los caudales observados en la estación Batan, que se encuentra aguas arriba de la punto de análisis, en esta estación tiene un aforo de aproximadamente el 70% del área de análisis.

A continuación se muestra los caudales observados y proyectados a diferentes tiempos de retorno como se muestra en la tabla.

Tabla 35: Caudales proyectados a diferentes periodos de retorno

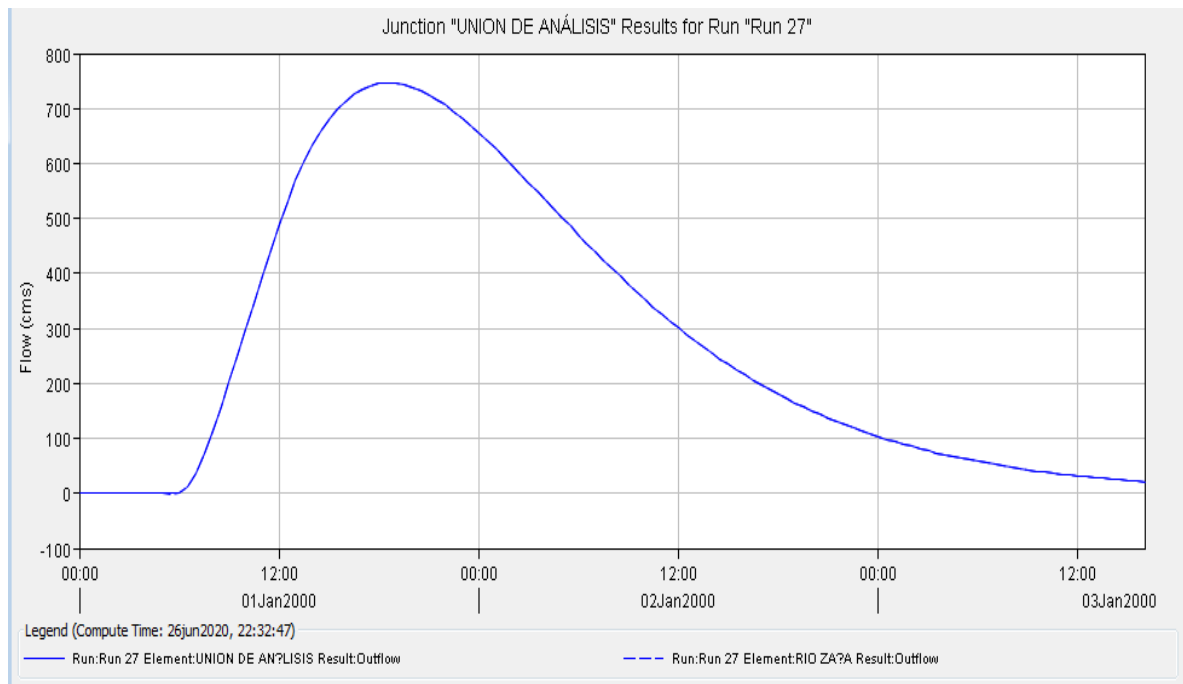
<i>tr</i>	<i>caudal (m3/s)</i>
2	157.41
5	253.21
10	324.7
25	423.28
50	502.33
100	585.95
200	674.62
500	800.23

Fuente: elaboración propia

De este modo se puede decir que el caudal simulado es correcto ya que al estar aguas arriba los caudales registrados, es lógico que aguas abajo el caudal sea mayor, ya que el área de escurrimiento es mayor. Además de acuerdo al estudio del ingeniero Arturo Rocha, Zaña puede recibir descargas de hasta 800 m³/s [2], y al tratarse de un estudio de estimación empírica y con un valor muy similar al calculado, se determina que el modelo es correcto.

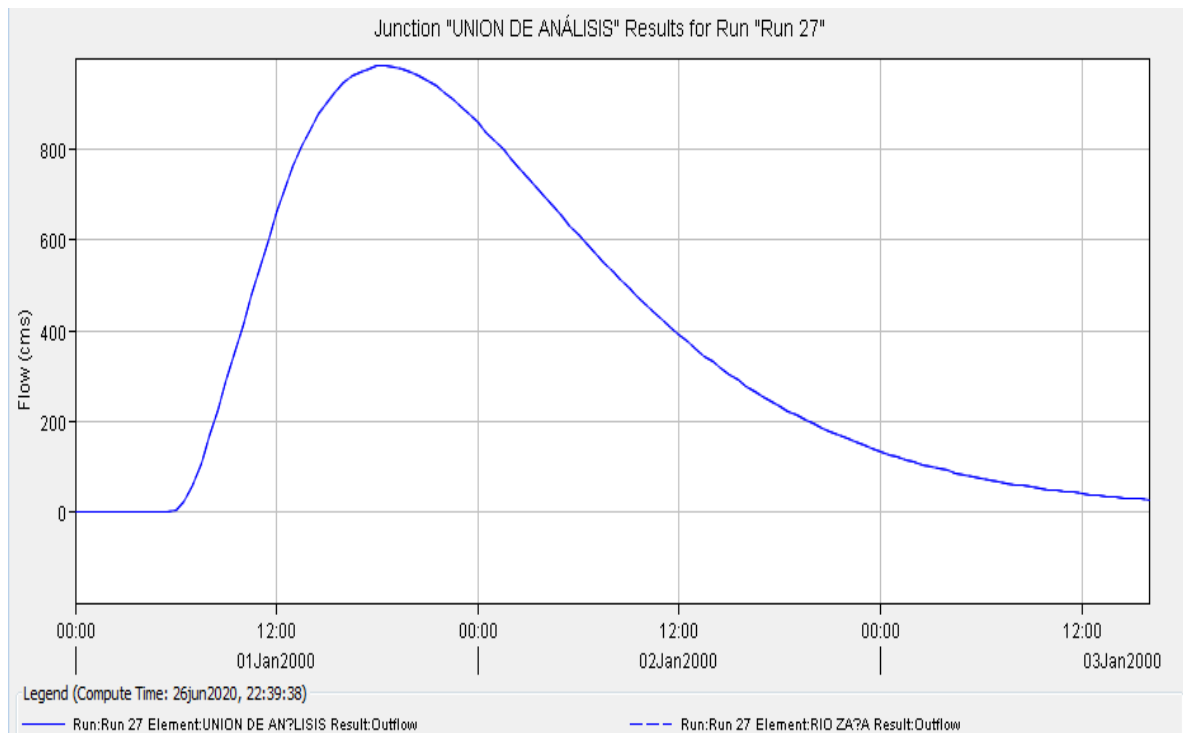
A continuación, se muestran los hidrogramas de crecida de caudales, obtenidos en el software en el punto de análisis para los tiempos de retorno de 100, 200 y 500 años.

Ilustración 38: Hidrograma de crecida $Tr=100$ años



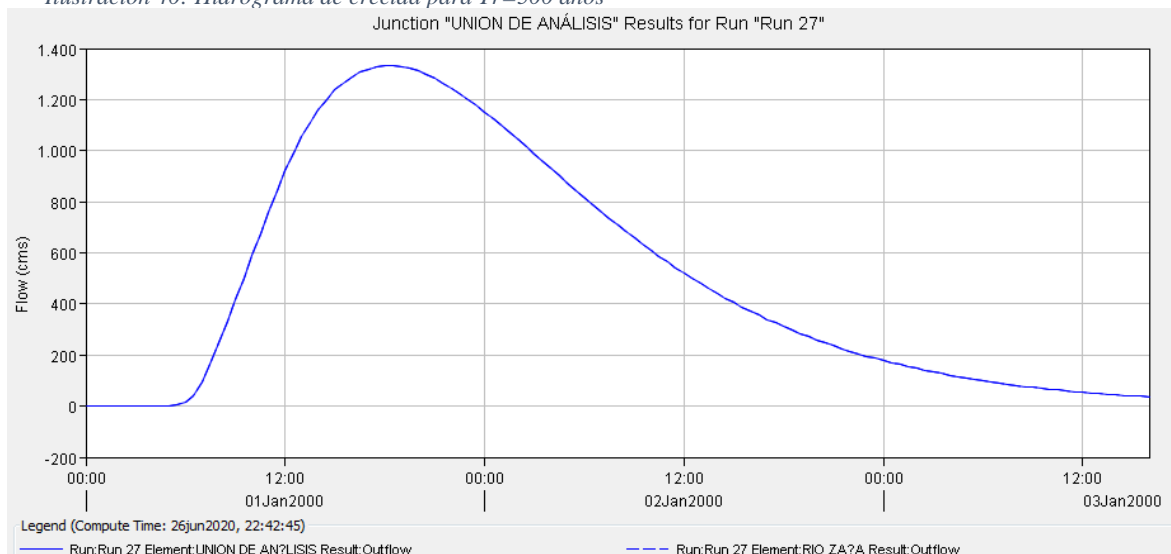
Fuente: elaboración propia en Hec-Hms

Ilustración 39: Hidrograma de crecida para $Tr=200$ años



Fuente: elaboración propia en Hec-Hms

Ilustración 40: Hidrograma de crecida para $Tr=500$ años



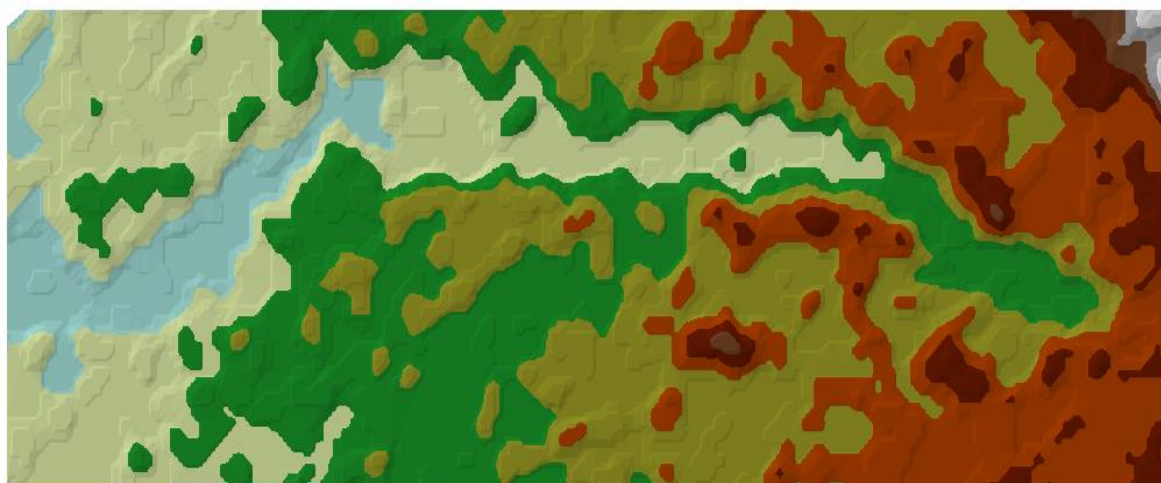
Fuente: elaboración propia en Hec-Hms

4.2 Modelamiento Hidráulico

Para el modelamiento Hidráulico, es necesario conocer la geometría de las secciones a lo largo del tramo en estudio del río, para esto trabajamos con el DEM obtenido de la NASA, el cual procesándolo en el ARCGIS, se obtiene las curvas de nivel, con las que se procede a elaborar el TIN el cual representará el modelo de terreno (MDT).

El modelo se está georreferenciada en el sistema WGS 1984-UTM - Zona 17 sur, en la siguiente ilustración se presenta el TIN que viene a ser el modelo de terreno.

Ilustración 41: Modelo digital del terreno en la zona de estudio



Fuente: elaboración propia

4.2.1 Hec-GeoRas

Usando la extensión Hec-GeoRas, que es parte del ArcGis, se procede determinar los parámetros geométricos del MDT, primero definiendo el cauce principal, guiándose de una imagen satelital de la zona, esta imagen es obtenida del sistema SASPLANET, este programa permite la descarga de imágenes satelitales en alta resolución, lo que permite el adecuado trazo del río principal, usando la herramienta Stream Centerline; una vez definida la línea de cauce principal se procede a definir las Bank Lines, mediante el comando Ras Geometry Layer, los bank lines son los márgenes del río en condiciones normales de flujo; ya con los bank lines definidos se tiene que proceder a indicar la dirección de flujo mediante la deifinición de los Flow Pats Centerline, esto se realiza mediante el Comando Ras Geoemtry layer- Flow Pats Centerline.

Una vez realizada la primera fase del modelamiento, se obtiene lo siguiente:

Ilustración 42: Primera fase de la definición geométrica



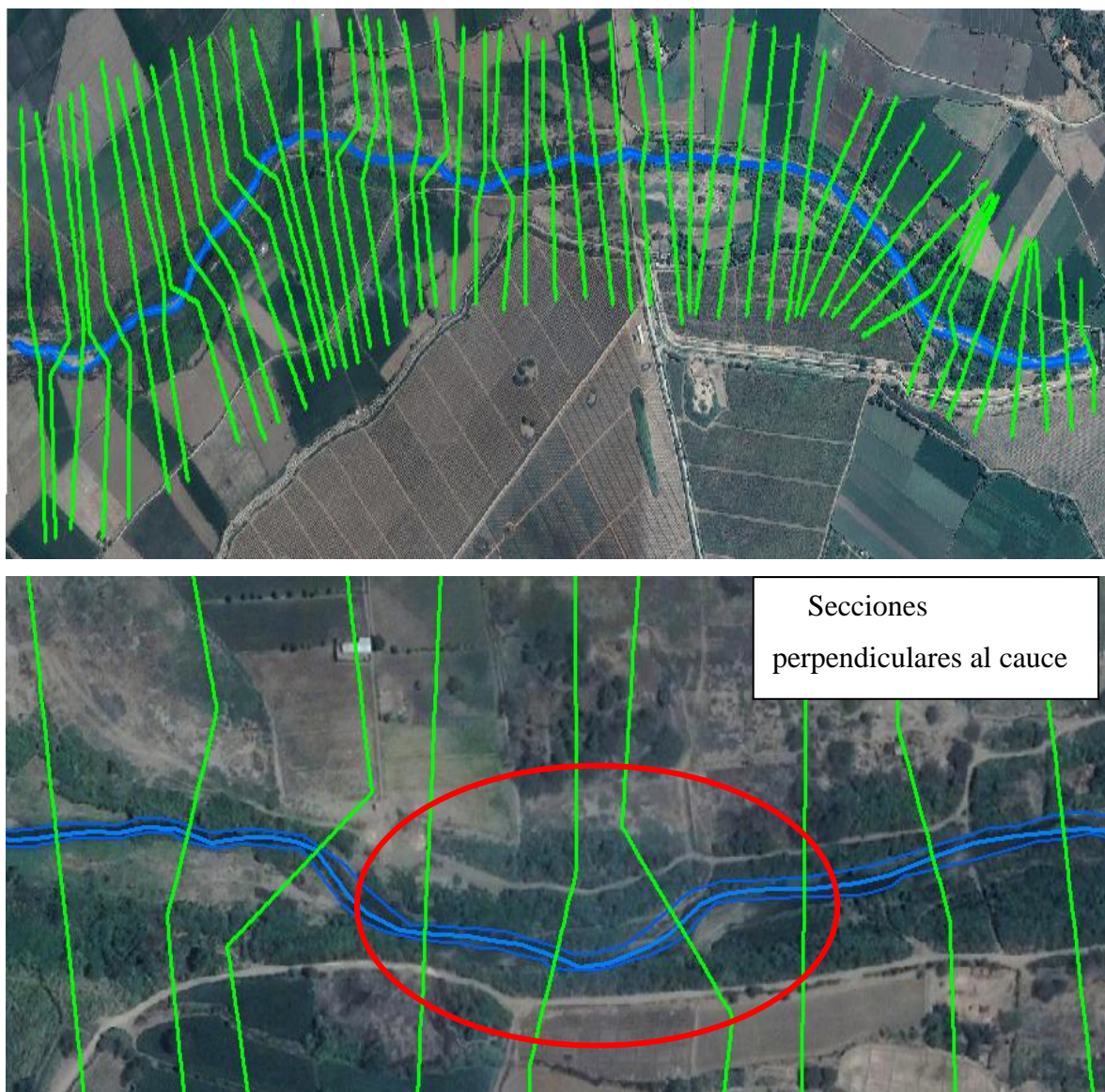
Fuente: elaboración propia

Continuando con el modelamiento, se procede a definir las secciones transversales de nuestra zona en estudio. Este paso se realiza usando el comando Ras Geometry layer-XS Cut Lines, definiendo el intervalo de las secciones cada 75 m, ya que se trata de una zona donde las características geométricas de la sección transversales no tienen grandes variaciones.

Una de las características principales es que la sección de corte debe ser perpendicular al cauce principal, al menos en el punto donde se intersecta con el cauce principal.

Una vez definido y modificado las secciones de manera que no se intersecten entre ellas, se obtiene lo siguiente.

Ilustración 43: Definición de secciones transversales



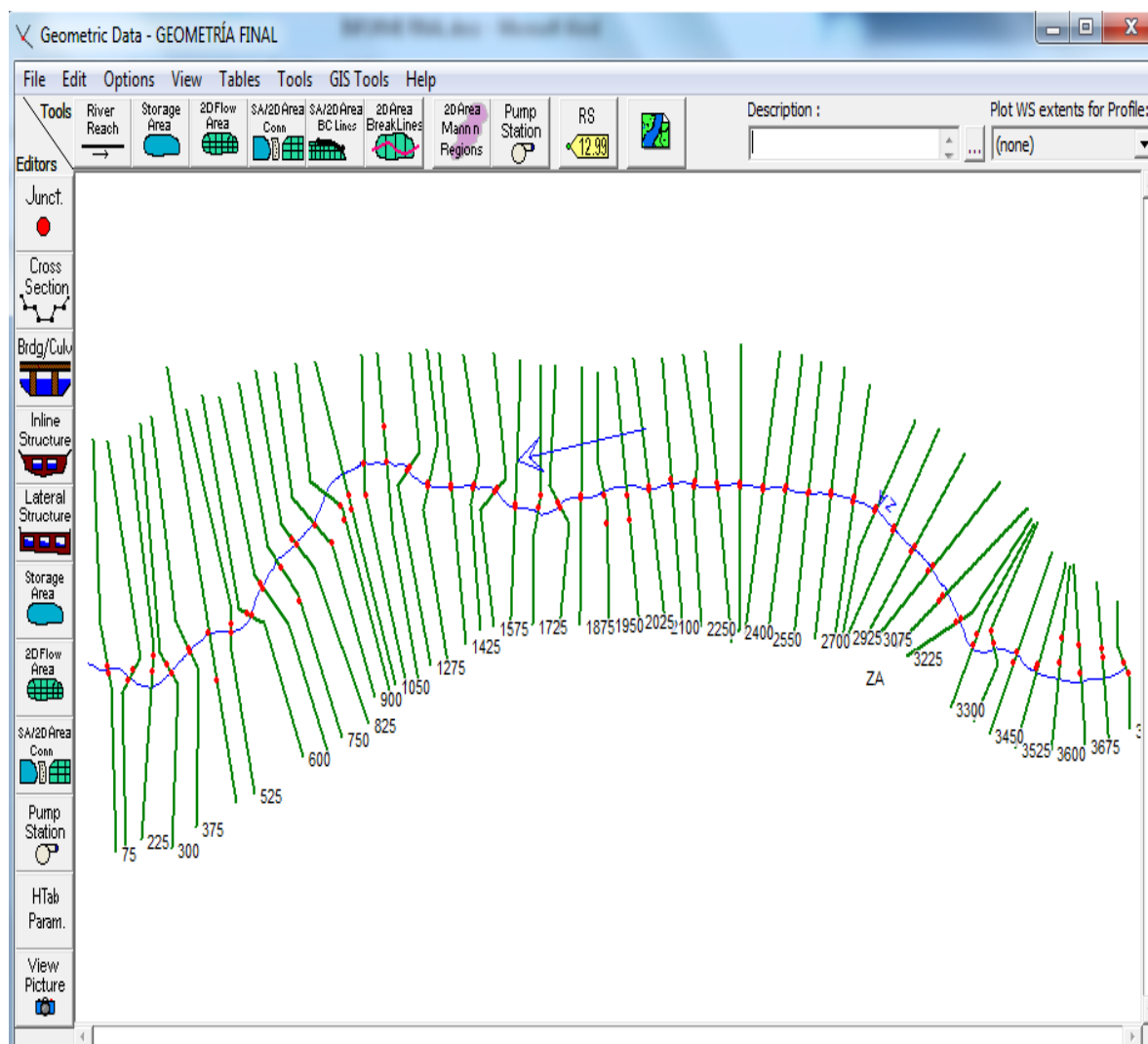
Fuente: elaboración propia

4.2.2 Hec-Ras

Una vez definida la geometría en el Hec-GeoRas, se procede a la exportación de datos para ser trabajados en el software Hec-Ras.

Se inicia creando un nuevo proyecto con el nombre deseado. Seguidamente en la opción de secciones se procede a importar los datos obtenidos en el Hec-GeoRas, de esta forma obteniendo la geometría de la zona de estudio, así como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 44: Geometría importada en Hec-Ras



Fuente: elaboración propia

Una vez importado la geometría se procede a definir los coeficientes de rugosidad de Mannig. El software clasifica en 3 zonas con características diferentes, así como margen izquierdo de inundación, margen derecho de inundación y cauce principal. Cada uno de ellos

tiene una coeficiente de Mannig (n1, margen izquierdo; n2 margen central y n3 margen derecho) y de acuerdo a la tabla 2, de coeficientes de Manning, se determinó que n1 y n3 tendrán el valor de 0.035 ya que se trata de zonas de cultivo y n2 con un valor de 0.03, ya que se trata de una zona de pasto corto.

Una vez ingresado los coeficientes de Mannig, se procede a ingresar los caudales de diseño que se obtuvieron en el análisis hidrológico y el modelamiento en Hec-Hms, así como se muestra.

Ilustración 45: Ingreso de Caudales en Hec-Ras

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	TR 100	TR 200	TR 500
1 ZA	ZA	3825	746.8	982.6	1332.4

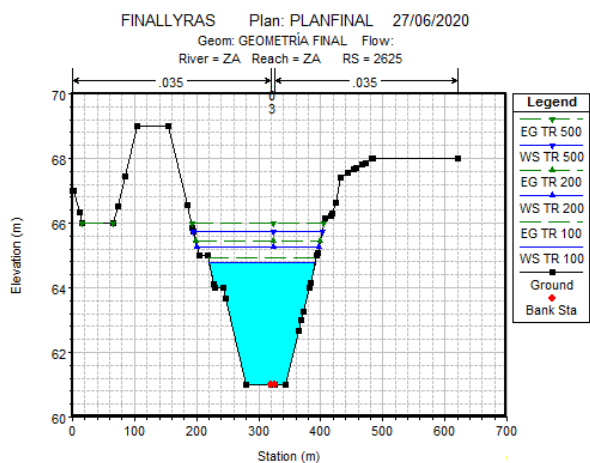
Fuente: elaboración propia

Una vez ingresado los caudales se procede a crear el Plan de simulación obteniendo el nivel de agua en las diferentes secciones y perfil del río Zaña, así como se muestra en las siguientes ilustraciones.

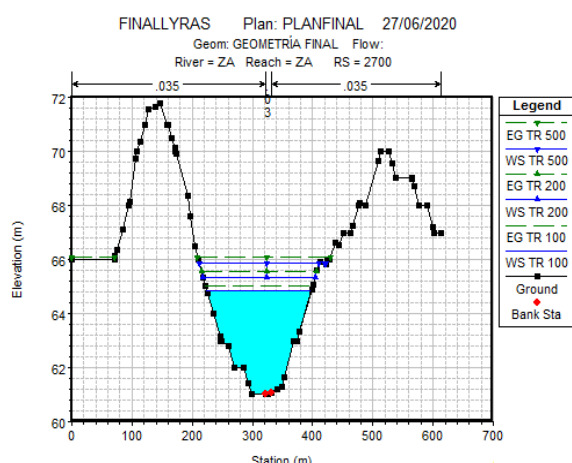
Los datos corresponden a las secciones, de las progresivas 2+625, 2+700, 2+775, 2+850, 2+925, 3+000. Estas secciones están medidas en kilómetros.

Nota: los resultados de las demás secciones están en la sección de anexos.

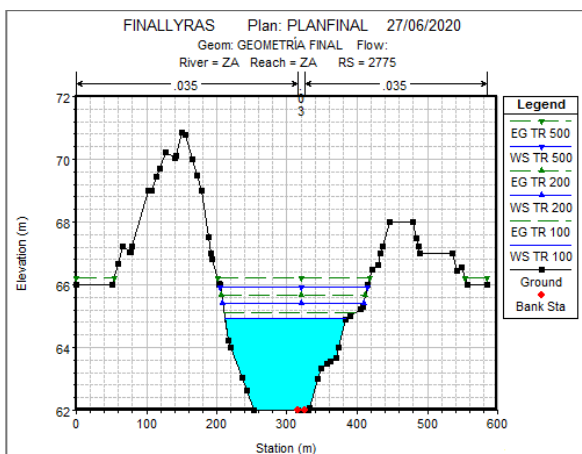
Ilustración 46: Vista de sección transversal del río Zaña



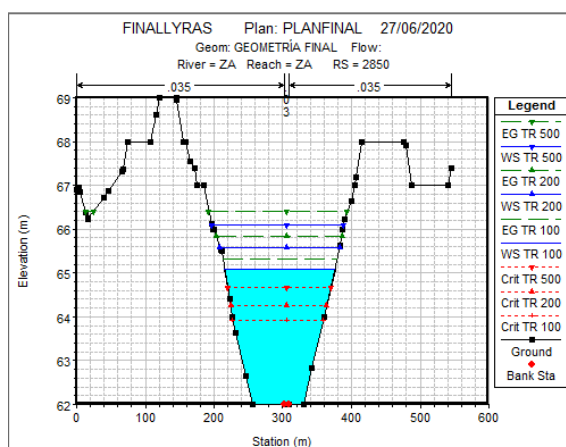
2+625



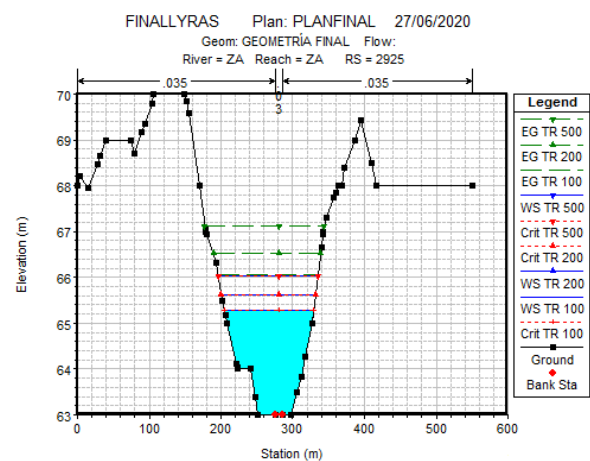
2+700



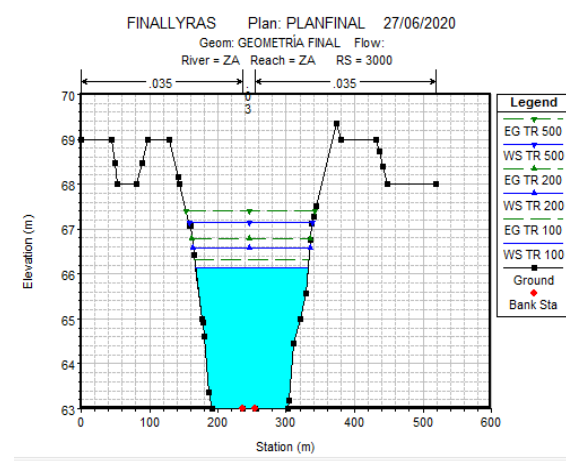
2+775



2+850



2+925

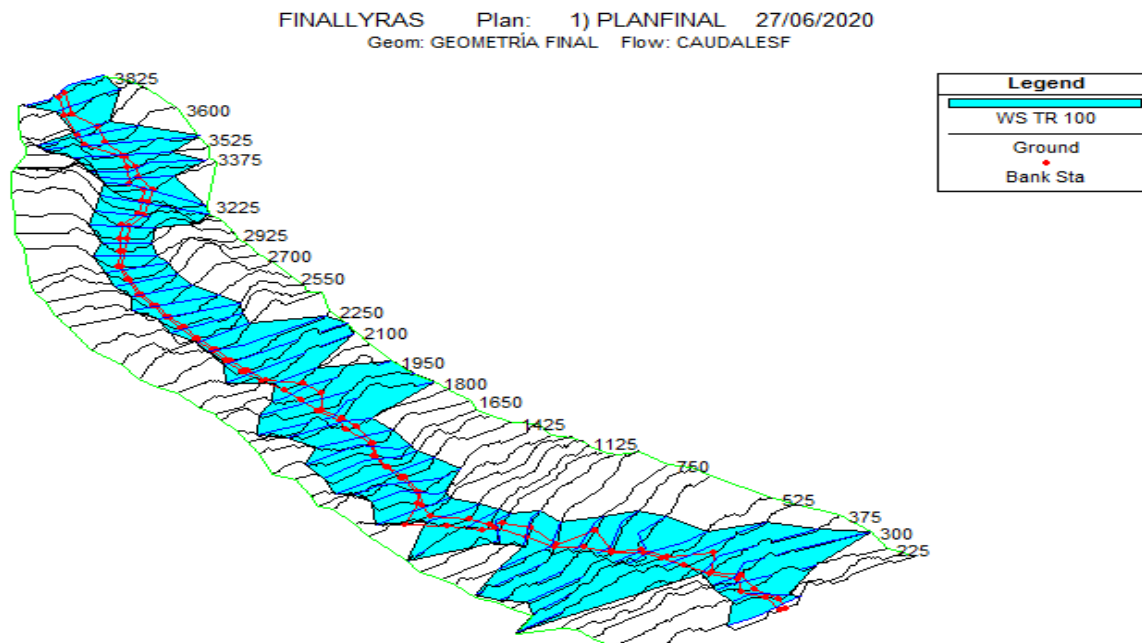


3+000

Fuente: elaboración propia

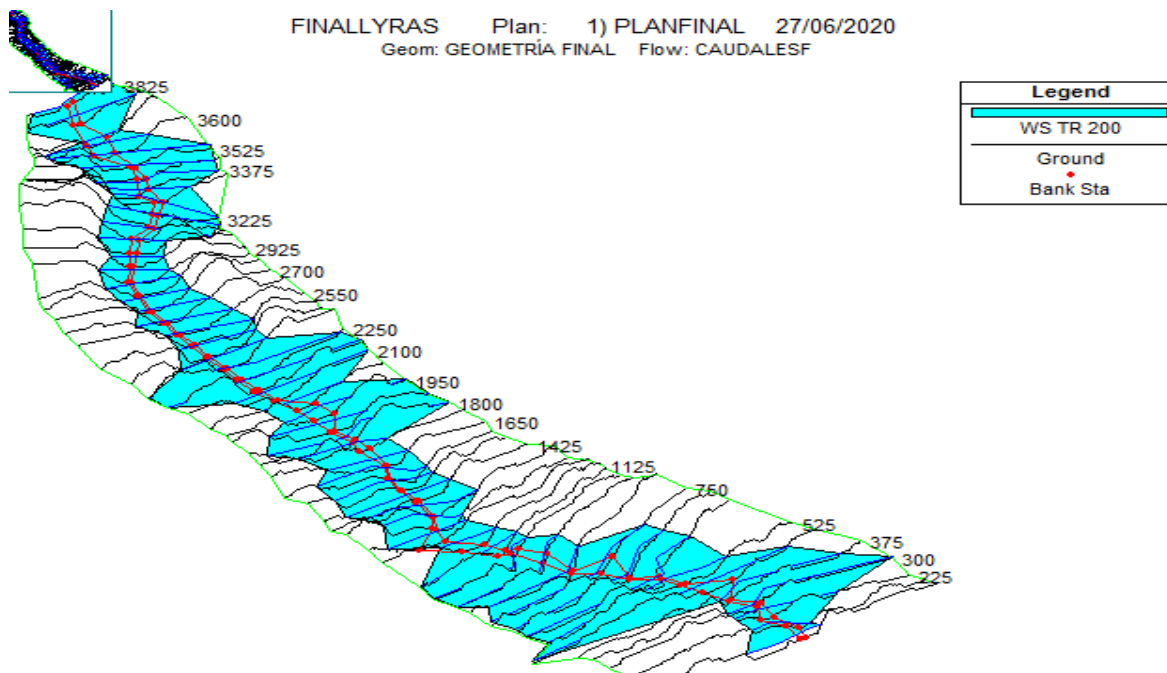
En las siguientes imágenes se muestran las vistas 3D del río Zaña para los 3 periodos de retorno en estudio.

Ilustración 47: Vista 3D del río Zaña para un TR 100 años



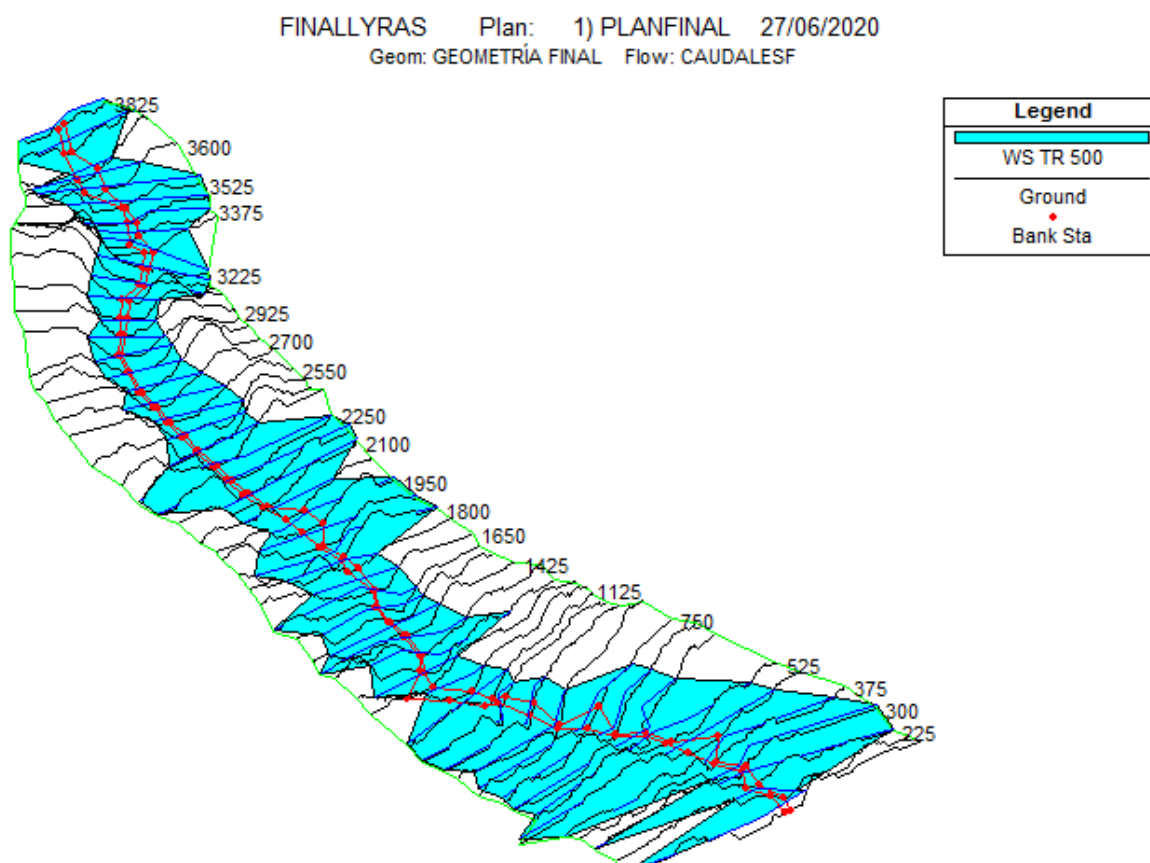
Fuente: elaboración propia

Ilustración 48: Vista 3D del río Zaña para un TR 200 años



Fuente: elaboración propia

Ilustración 49: Vista 3D del río Zaña para un TR 500 años



Fuente: elaboración propia

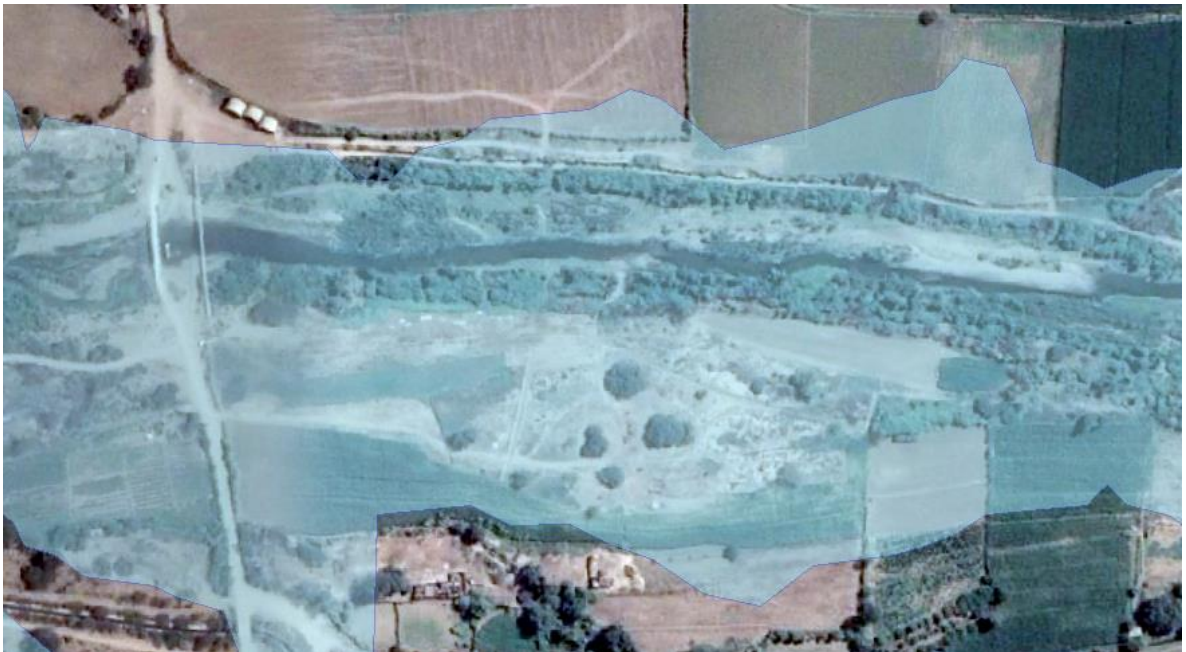
4.2.3 Resultados de la simulación de inundación

Una vez realizado el modelamiento hidráulico en Hec-Ras, se procede a exportar los datos a un formato SIG, para que se pueda trabajar en el entorno ArcGis con la extensión Hec-GeoRas.

Estando en ArcGis, se importan los datos generados con el Hec-Ras y se procede a elaborar los mapas de inundaciones, representados por polígonos.

A continuación, se presentan, las áreas inundables para tiempos de retorno de 100, 200 y 500 años en el río Zaña, tramo Zaña.

Ilustración 50: Área inundable para un TR 100 años



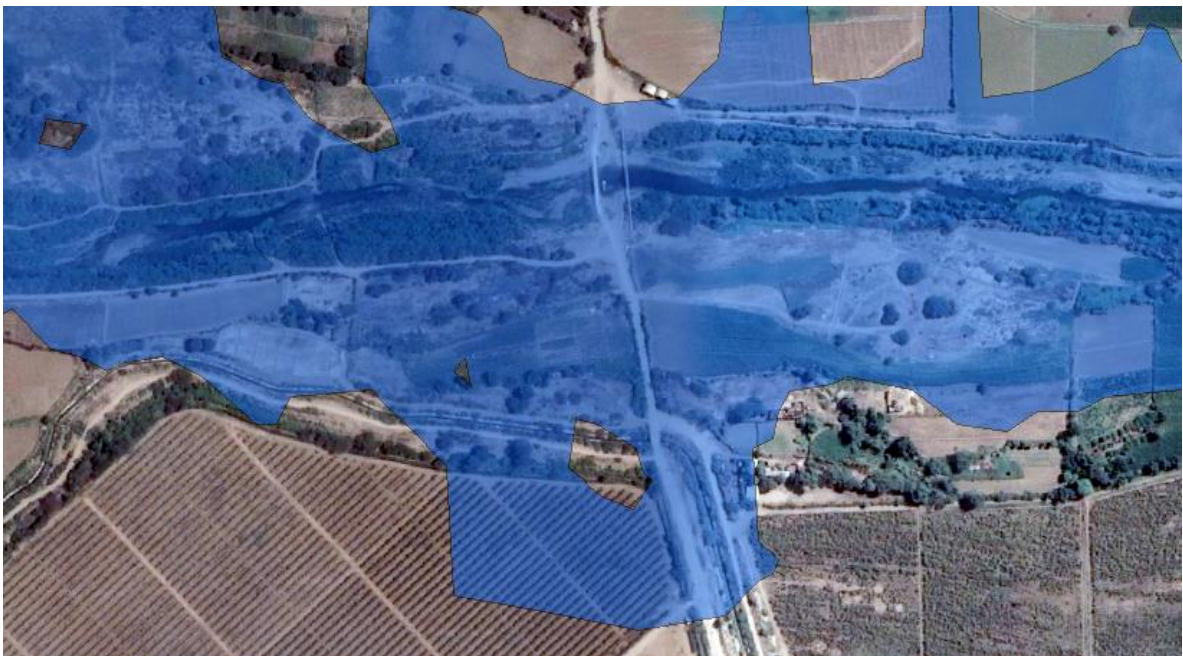
Fuente: elaboración propia

Ilustración 51: Área inundable para un TR 200 años



Fuente: elaboración propia

Ilustración 52: Área inundable para un TR 500 años



Fuente: elaboración propia

Para determinar el área de inundación, se tendría que restar el área del polígono formado por las fajas marginales del río Zaña en el tramo Zaña. Por lo que el área afectada por la inundación quedará expresada de la siguiente manera:

$$A_i = A_t - A_r$$

Dónde:

A_i : Área afectada por la inundación

A_t : Área total del polígono inundación

A_r : Área del polígono del río

Ilustración 53: Faja marginal del río Zaña



Fuente: elaboración propia

De se obtiene lo siguiente:

Tabla 36: Cuadro resumen de áreas inundables

TR (Años)	Área del polígono inundación		Área de la faja marginal (ha)	Area de inundación (ha)
	(ha)			
100	85.59		8.76	76.83
200	104.54		8.76	95.78
500	115.06		8.76	106.30

Fuente: elaboración propia

Finalmente después de realizar la simulación de inundación, se obtuvo 76.83 ha inundadas para un periodo de retorno de 100 años y un caudal de $746.8 \text{ m}^3/\text{s}$, y un área de 95.78 ha inundadas para un periodo de retorno de 200 años con un caudal de $982.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y por último un área de 106.3 ha para un periodo de retorno de 500 años y un caudal de $1332.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con la simulación se puede notar que las áreas inundadas son grandes extensiones, y teniendo en cuenta que el área afectada es de uso para la agricultura, en la que se cultiva en su mayoría maíz, arroz, algodón, caña, etc. La inundación afecta directamente a los propietarios de estas parcelas y por ende a la economía de la zona.

Ilustración 54: Cultivos en Zaña



Fuente: propia

4.2.4 Determinación de sección hidráulica estable

Para ello se procedió a determinar el ancho estable del río, mediante el METODO BLENCH-ALTUNIN, así mismo el tirante hidráulico usando el METODO MANNING-STRICKLER ($B > 30$ metros) y las demás características de la sección hidráulica estable para el río Zaña. A continuación, se muestra los resultados:

DETERMINACIÓN DE SECCIÓN HIDRÁULICA PARA EVITAR EL DESBORDE DEL RÍO ZAÑA

1 CALCULO DEL ANCHO ESTABLE (B) PARA TR= 100 AÑOS

METODO BLENCH-ALTUNIN

$$B = 1.81 \left(Q \frac{F_b}{F_s} \right)^{0.5}$$

Donde:

Q (m³/s) caudal de diseño

F_b Factor de fondo de cauce del Rio (tabla)

F_s factor de orilla de cauce del Rio (tabla)

$$Q.Ddiseño=746.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$F_b=1.20$$

$$F_s=0.20$$

Con los datos obtenemos

$$B=121.16 \text{ metros}$$

Se asume

$$B=120.00 \text{ metros}$$

Factor de Fondo	Fb
Material Fino	0.80
Material Grueso	1.20
Factor de Orilla	Fs
Materiales sueltos (Barro y arena)	0.10
Materiales ligeramente cohesivos (barro arc. Fang.)	0.20
Materiales cohesivos	0.30

2 CALCULO DEL TIRANTE HIDRAULICO (Y) y VELOCIDAD (Vm)

METODO MANNING-STRICKLER (B>30 metros)

TIRANTE HIDRAULICO

$$Y = \left[\frac{Q \cdot \text{diseño}}{K_s \cdot B \cdot S^{0.5}} \right]^{3/5}$$

Donde:

Y Tirante Hidraulico (m)

Q .diseño Caudal de diseño (m³/s)

K_s Coeficiente de Rugosidad (Tabla)

B Ancho Estable del Rio (m)

S Pendiente del tramo (m/m)

$$Q.Ddiseño=746.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$K_s=34$$

$$F_s=0.20$$

$$B=120 \text{ metros}$$

$$S=0.005$$

Con los datos obtenemos

$$Y=1.76 \text{ metros}$$

Se asume

$$Y=1.80 \text{ metros}$$

Valores para Ks para Cauces Naturales	Ks
Cauce con fondo solido sin irregularidades	40
Cauces de rio con acarreo irregular	33 – 35
Cauces de Rios con Vegetacion	30 – 35
Cauces naturales con derrubio e irregularidades	30
Cauces de Rio con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza	25 – 28
Torrentes con derrubio grueso y acarreo movil	19 – 22

METODO MANNING-STRICKLER (B>30 metros)

VELOCIDAD

$$V_m = K_s \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Donde

$Z=1$ Talud Exesivo

K_s Coeficiente de Rugocidad (Inversa de Manning)

$Y=1.6$ Tirante Hidraulico Maximo (m)

T Espejo del rio

P Perimetro Mojado (m)

A Area (m²)

R Radio Hidraulico (m)

$S=0.005$ Pendiente (Manning)

$B=120$ Ancho Estable del Rio (m)

V_m Velocidad Media (m/s)

$$T = B + 2 \cdot ZY$$

$$T = 123.6 \text{ metros}$$

$$A = \frac{(B + T)}{2} \cdot Y$$

$$A = 219.24 \text{ m}^2$$

$$P = B + 2 \sqrt{(Z \cdot Y)^2 + Y^2}$$

$$P = 125.09 \text{ metros}$$

$$R = A/P$$

$$R = 1.75 \text{ metros}$$

Reemplazamos en la ecuacion y obtenemos

$$V_m = K_s \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$V_m = 3.49 \text{ m/s}$$

3 DETERMINACION DEL REGIMEN DE FLUJO DEL RIO

NUMERO DE FROUDE
$F = \frac{V}{(g * \frac{A}{T})^{0.5}}$
$F=0.84$

El Flujo es Subcritico

Donde:
 V=3.49 Velocidad (m/s)
 g Aceleracion de la Gravedad
 A=219.24 Area Hidraulica (m2)
 T=125.09 Ancho del Cauce (m)
 F Numero de Froude

4 DETERMINACION LA ALTURA MAXIMA DE ENCAUZAMIENTO (Hm)

ALTURA MAXIMA (Hm)
$Hm = BL + Y$

DONDE:
 BL Bordo Libre
 Y Tirante Hidraulico

BORDO LIBRE (BL)
$BL = \phi * (\frac{V^2}{2g})$

DONDE:
 φ Coeficiente que depende el Q.max
 V velocidad del Agua
 g Aceleracion de la gravedad

Para efectuar los calculos tenemos

V (m/s)	3.49
φ	1.2
g (m/s ²)	9.81
Y (m)	1.8

Q. maximo (m3/s)	φ
3000 - 4000	2
2000 - 3000	1.7
1000 - 2000	1.4
500 - 1000	1.2
100 - 500	1.1

LUEGO	BL=	0.7
	Hm=	2.5
ASUMIMOS	Hm=	2.5 METROS

5 DETERMINACION DE ANCHO DE LA CORONA (Ac)

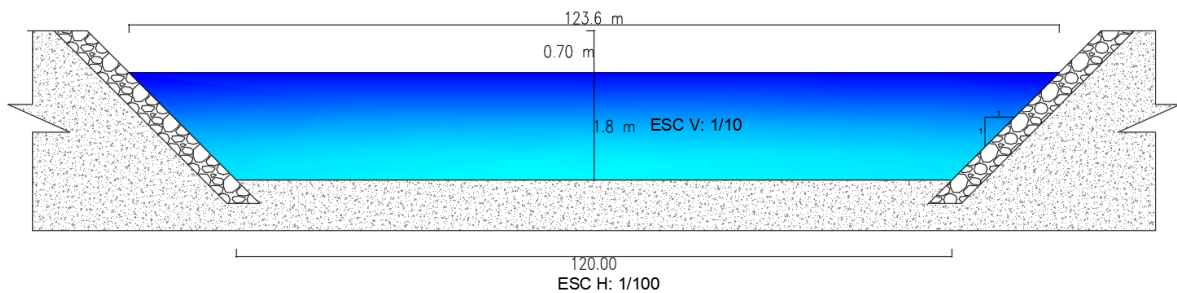
SE ESTIMA EN FUNCION DEL CAUDAL DE DISEÑO

Descarga de Diseño (m ³ /s)	Ancho de Corona (m)
Menos de 500	3
500 – 2000	4

dado que Q=746.8 m3/s

Ac = 3.5 metros

Ilustración 55: Sección hidráulica estable



Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

1. Con el procesamiento del DEM obtenido de la NASA en el entorno ArcGis, se logró obtener los parámetros geomorfológicos de la cuenca Zaña, siendo las principales características las siguientes: el área de la cuenca es 1754.73 km^2 y un perímetro de 276.14 km ; la longitud del cauce principal es 125.31 km y la pendiente media de 0.03 ; el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius de la cuenca es de 1.85 , indicando que se trata de una cuenca alargada y por ende no existirá gran concentración de masas de lluvia; el factor de forma F_f de la cuenca es de 0.11 lo que indica que se trata de una cuenca muy alargada.

2. Realizando el análisis de tormentas con los datos históricos de precipitación máx. en 24 horas, se determinó las precipitaciones de diseño de cada estación, luego por el método de las isoyetas se determinó una precipitación media para la cuenca, resultando: 104.55 mm para un tiempo de retorno de 100 años, 123.60 mm para un tiempo de retorno de 200 años y una precipitación de 150.55 mm para un tiempo de retorno de 500 años. Con los datos de precipitación obtenidos se determinó caudales de diseño de $746.8 \text{ m}^3/\text{s}$ para un tiempo de retorno de 100 años, un caudal de $982.6 \text{ m}^3/\text{s}$ para un tiempo de retorno de 200 años y un caudal de $1332.4 \text{ m}^3/\text{s}$ para un tiempo de retorno de 500 años.

3. Para el modelamiento hidráulico se tomó secciones cada 75 m , ya que se trata de una zona donde no se presenta gran variación a lo largo del cauce. Los coeficientes de Manning optados para el modelo son para los márgenes de inundación tanto izquierdo como derecho de 0.035 y para el lecho del río de 0.03 . Del modelamiento hidráulico se determinó que para un caudal de $746.8 \text{ m}^3/\text{s}$ el tirante máximo en el tramo de estudio es de 3.85 metros ; para un caudal de $982.6 \text{ m}^3/\text{s}$, el tirante máximo es de 4.35 metros y para un caudal de $1332.4 \text{ m}^3/\text{s}$, el tirante máximo es de 4.85 metros .

4. Se determinó que, si existe desborde del río Zaña para los caudales modelados y por ende conlleva a la inundación de planicies de cultivo, resultando que: para un caudal de $746.8 \text{ m}^3/\text{s}$, el área inundable es de 76.83 ha ; para un caudal de $982.6 \text{ m}^3/\text{s}$, el área inundable es de 95.78 ha y para un caudal de $1332.4 \text{ m}^3/\text{s}$ el área inundable es de 106.30 ha .

VI. RECOMENDACIONES

1. Para un adecuado estudio hidrológico e hidráulico de una determinada cuenca, se recomienda realizar una vasta exploración de campo, identificando las características de flora en los márgenes del río o cauce en análisis.
2. Trabajar con todas las estaciones registradoras de datos históricos de precipitación y para mayor precisión optar por trabajar con algunas estaciones de cuencas vecinas.
3. Si se cuenta con datos históricos de caudales, procesar la información y proyectar a los tiempos de retorno que se esté trabajando y corroborar con los resultados que se obtenga de la modelación hidrológica.
4. Para mayor precisión en la obtención de la geometría de la zona de estudio, se recomienda realizar un levantamiento topográfico usando la tecnología LIDAR, ya que esta tecnología brinda mayor precisión con respecto a los modelos digitales de elevación (DEM) proporcionados por la NASA.
5. Con los mapas de inundación obtenidos, se recomienda diseñar estructuras hidráulicas de mitigación frente a este fenómeno, se puede realizar: defensas ribereñas, encauzamientos y descolmatación de ríos.

VII. REFERENCIAS

- [1] Red Interoamericana De Mitigación De Desastres. RIMD. [Online]. HYPERLINK "http://www.rimd.org/" <http://www.rimd.org/>
- [2] Arturo Rocha Felices, "*El Meganiño De 1720: La inundación de Zaña,*" *Academia Peruana de Ingeniería*, pp. 22-25, 2015.
- [3] RM Pacheco Moya. (2012) scielo.sld.cu. [Online]. HYPERLINK "http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000100008" http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382012000100008
- [4] Ernesto Ruben, Uribe Hernandez, and Hector Barrios, "Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac," *scielo.org.mx*, 2017.
- [5] Orosco Quispe and Valeriano Salcedo, "*Modelación hidrológica-hidráulica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo*" Universidad Nacional de Arequipa, Arequipa, Perú, Tesis de Pregrado 2018.
- [6] James Zosimo Chagua Cierito, "*Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS,*" Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima, Tesis de Pregrado 2018.
- [7] Juan Carlos Puelles Maza, "*Estudio hidráulico e hidrológico de la Cuenca Alto Perú y el Porvenir en el asentamiento humano Las Mercedes Alto Perú, distrito de la Oroya, provincia de Yauli – Junín para la construcción futura de obras de arte ante amenazas de derrumbes provocado por ,*" Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas , Lima , Tesis de Pregrado 2015.
- [8] Hugo Guido Tarazona Roldan, "*Modelamiento hidrológico de la cuenca del Río Ica con fines de prevención de inundaciones en la ciudad de Ica,*" Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima , Tesis de Pregrado 2016.
- [9] A. F., & Jacobo Villa, M. A. Breña Puyol, *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. D.F. México: Tlapan, 2006.
- [10] V. T. Chow, *Hidrología Aplicada.*, 1994.
- [11] Ministerio de transporte y comunicaciones MTC, *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima, 2008.

- [12] SENAMHI. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. [Online]. HYPERLINK "*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*" [Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú](#)
- [13] (2015) *Manual de manejo de cuencas*. [Online]. HYPERLINK "<https://www.actswithscience.com/Descargas/manual%20de%20manejo%20de%20cuencas.pdf>" <https://www.actswithscience.com/Descargas/manual%20de%20manejo%20de%20cuencas.pdf>
- [14] M Villon Béjar, *Hidrología, segunda edición*. Cártago : Villón, 2002.
- [15] Ordoñez J., "*Análisis metereológico y aplicación del modelo de simulación IPH-MEN en la cuenca del río Pachitea* ," Lima-Perú, 2001.
- [16] W. M. Chereque, *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil.*, 1989.
- [17] Guillermo Perez. Precipitación - Ciclo hidrológico (del agua). [Online]. HYPERLINK "<https://www.ciclohidrologico.com>" <https://www.ciclohidrologico.com>
- [18] J. R. Témez, *Extended and improved Rational Method*. Madrid, 1991.
- [19] Edilberto Guevara, *Sistemas de conservación y rehabilitación de cuencas, consejos de desarrollo científico y humanístico de la universidad de caraabobo*. Valencia-Venezuela, 1991.
- [20] F. J. Aparicio, *Fundamentos de la hidrología de superficie*. D. F. México: Noriega, 1994.
- [21] Rocha Felices A., *Hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería , 2007.
- [22] A. Rocha Felices, *Introducción a la hidráulica fluvial*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería , 1998.
- [23] Rebeca Benayas Polo. (2016, agosto) GEASIG. [Online]. HYPERLINK "<https://www.geasig.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>" <https://www.geasig.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>
- [24] Villon Bejar M., *HEC-HMS ejemplos*. Cártago: Villón, 2016.
- [25] Ronald Puerta Tuesta, Juan Rengifo Trigozo, and Nilo Bravo Morales, "*ArcGis Básico*," Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Manual 2011.
- [26] V. T, Saldarriaga J.G. & Zuluaca A. Á Chow, *Hidráulica de canales abiertos*. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill, 1994.
- [27] Modelos Digitales de Elevación (MDE) – Descripción [ONLINE] HYPERLINK <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

- [28] ASTER Global DEM Validation [ONLINE] HYPERLINK
https://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/image/ASTERGDEM_ValidationSummaryReport_Ver1.pdf

VIII. ANEXOS

Anexo 1 Tablas de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones en estudio

PRECIPITACIÓN MAX(24 HORAS) mm													
ESTACIÓN UDIMA													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1964	30,98	34,00	23,00	35,00	17,81	7,37	10,00	16,00	13,36	34,00	14,00	17,00	252
1965	15,00	10,00	16,80	48,80	9,40	0,00	0,00	0,00	23,20	20,30	12,30	12,10	167
1966	16,30	15,20	14,60	13,20	0,00	5,80	10,30	12,10	18,70	12,40	12,90	13,40	144
1967	14,30	16,00	19,70	17,10	9,70	13,10	13,10	9,70	13,70	19,85	16,72	0,00	162
1968	0,00	0,00	25,00	19,50	10,00	0,00	11,00	9,00	10,50	30,00	19,00	14,60	148
1969	23,00	20,00	32,00	21,00	23,00	23,00	5,00	10,00	2,00	9,50	20,00	15,00	203
1970	25,00	20,00	34,00	19,00	26,00	13,00	16,00	13,91	10,00	15,00	12,00	18,00	221
1971	17,00	18,00	27,00	19,00	60,00	11,00	11,00	34,00	25,50	30,00	11,00	18,00	281
1972	25,00	26,00	90,00	43,00	16,00	9,00	0,00	0,00	6,00	9,00	9,00	23,00	256
1973	17,00	51,00	41,00	36,00	16,00	10,00	15,00	17,00	10,00	9,00	29,00	11,00	262
1974	9,00	15,00	16,00	21,00	13,00	10,00	12,00	9,00	12,00	10,00	11,00	11,00	149
1975	20,00	22,00	18,00	18,00	16,00	9,00	15,00	19,00	24,00	10,00	5,00	10,00	186
1976	30,00	15,00	12,00	14,00	9,00	30,00	0,00	7,00	4,00	10,00	5,00	37,00	173
1977	10,00	46,00	49,00	27,00	9,00	9,00	10,00	0,00	27,00	21,00	16,00	14,00	238
1978	24,00	26,00	40,00	86,00	23,00	0,00	5,00	4,50	32,00	0,00	14,00	29,00	283
1979	17,00	26,00	36,00	31,00	20,00	0,00	3,00	11,00	9,00	9,00	14,00	3,00	179
1980	5,00	10,00	29,00	17,00	8,00	16,00	8,00	3,00	0,00	23,00	14,00	16,00	149
1981	22,00	22,00	43,00	30,00	29,00	18,00	14,00	15,00	12,00	23,00	12,00	14,00	254
1982	13,00	17,00	36,00	29,00	19,00	2,00	6,00	2,00	20,00	14,00	26,00	32,00	216
1983	48,10	40,30	42,10	37,10	25,00	46,00	0,00	0,00	12,00	31,00	0,00	20,00	301
1984	17,00	29,00	28,00	22,00	21,00	23,00	31,00	13,00	23,00	25,00	5,00	17,00	254
1985	14,00	20,00	27,00	15,00	14,00	3,00	4,00	8,00	13,00	12,00	7,00	20,00	157
1986	20,00	11,00	36,00	31,50	13,00	0,00	4,50	21,00	4,50	10,50	28,00	22,00	202
1987	23,00	40,00	19,00	25,00	6,50	0,00	7,50	18,00	23,50	13,00	4,00	9,00	188
1988	12,00	17,00	5,00	29,00	29,00	15,00	17,00	45,00	7,00	29,00	19,00	8,00	232
1989	21,00	44,00	28,00	13,00	13,00	20,50	0,00	13,50	6,00	46,00	13,00	0,00	218
1990	5,00	12,00	17,00	32,00	7,00	10,00	3,50	0,00	2,00	20,00	13,00	7,50	129
1991	11,00	35,00	26,00	43,00	25,00	2,00	4,00	5,00	0,00	19,00	30,00	15,00	215
1992	17,50	5,50	28,00	19,00	14,50	7,00	28,00	4,00	12,00	24,00	28,00	5,50	170
1993	19,00	27,00	43,50	43,50	31,50	27,00	6,00	12,00	31,00	24,50	20,00	11,00	296
1994	22,00	27,50	37,50	43,50	23,00	8,00	2,00	2,50	15,50	15,00	14,00	30,00	240
1995	42,00	22,00	27,00	23,00	27,00	1,00	17,00	18,00	15,00	20,00	36,00	14,00	262
1996	14,00	22,00	35,00	26,00	17,00	7,00	0,00	6,50	6,00	46,00	4,00	11,00	194
1997	8,00	30,00	20,00	24,00	17,00	8,50	0,00	0,00	9,00	6,00	24,00	25,00	171
1998	43,50	29,00	112,50	34,50	28,00	18,50	4,50	4,00	10,00	18,50	3,50	23,50	330
1999	34,50	39,00	22,00	48,00	24,00	21,50	17,00	9,00	11,00	33,00	7,00	17,50	283
2000	20,50	125,00	140,00	43,00	21,00	16,00	0,00	9,00	9,80	2,20	8,20	27,60	422
2001	20,50	19,50	178,00	38,00	10,40	19,00	9,80	0,00	15,80	6,10	8,40	21,00	346
2002	4,60	100,50	28,50	63,50	9,90	6,20	0,50	0,00	4,30	13,00	13,80	18,00	262
2003	18,70	35,50	13,00	25,00	21,60	14,80	4,00	0,70	8,80	3,50	15,80	36,30	197
2004	12,00	35,10	24,00	37,90	11,60	1,40	10,00	0,00	16,70	52,50	10,40	26,30	237
2005	6,60	17,30	37,20	14,50	3,90	15,10	1,20	4,50	4,10	34,00	17,80	11,70	167
2006	31,50	26,80	49,00	15,70	25,00	9,20	8,60	2,30	17,50	6,30	28,00	26,80	246
2007	11,10	11,20	43,90	23,30	16,60	3,90	4,30	6,40	1,40	11,50	37,20	7,00	177
2008	19,00	53,80	59,40	75,90	15,20	6,20	11,90	16,80	14,30	31,00	32,10	1,30	336
2009	51,30	29,60	33,50	43,90	12,20	11,30	3,80	3,00	18,20	6,70	8,60	22,40	244
2010	7,00	57,00	20,90	40,70	16,30	32,60	10,00	11,90	11,40	11,20	11,70	10,50	241
2011	24,00	32,00	23,90	31,10	10,70	4,90	20,30	2,20	13,20	13,00	13,80	13,80	202
2012	30,10	42,20	42,80	32,70	12,10	21,20	1,90	6,20	6,90	20,00	9,40	15,50	241
2013	14,20	27,10	33,40	22,20	22,40	6,80	2,20	3,30	3,40	32,30	2,10	8,30	177
2014	28,76	14,00	18,90	18,10	21,80	7,90	3,00	3,30	3,40	32,30	2,10	8,30	161
MEDIA	19,7	29,1	37,3	31,0	17,6	11,4	7,4	8,7	12,2	19,2	14,7	16,1	22

PRECIPITACIÓN MEDIA (mm/mes)													
ESTACIÓN LIVES													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
1964	12.30	13.20	15.30	13.40	4.80	0.00	2.50	5.00	6.80	9.90	4.70	7.00	
1965	9.60	13.40	38.00	9.30	1.30	13.00	3.10	3.10	8.00	8.40	5.00	17.50	
1966	16.70	35.00	19.00	11.40	6.00	0.01	0.01	1.30	5.00	10.20	1.20	3.20	
1967	20.00	42.00	35.00	7.00	12.00	0.01	5.00	7.50	0.60	31.00	3.00	4.50	
1968	3.00	15.00	13.50	6.00	14.00	0.01	0.50	6.00	8.00	19.50	11.20	6.00	
1969	10.00	15.90	18.00	10.00	0.01	4.50	0.01	6.00	0.01	5.00	8.00	9.30	
1970	12.00	13.00	15.00	13.00	11.30	10.10	0.01	0.50	11.00	14.00	7.30	7.00	
1971	11.00	12.00	35.50	22.50	5.60	5.70	4.70	4.90	5.90	5.80	10.00	10.80	
1972	17.00	29.70	63.00	18.00	8.00	0.00	0.01	0.80	7.00	3.00	21.00	12.00	
1973	17.20	30.90	16.00	28.00	4.00	6.80	2.70	2.50	9.20	5.20	7.50	7.60	
1974	16.00	27.00	7.10	9.00	0.40	6.40	6.00	7.60	6.50	16.50	9.20	4.80	
1975	36.30	58.70	41.00	30.00	8.50	8.50	8.70	5.80	6.80	9.70	13.50	0.00	
1976	29.00	24.00	23.00	36.50	8.50	8.50	8.70	3.00	0.01	4.20	2.50	3.00	
1977	27.00	39.50	38.00	22.00	6.50	0.01	0.01	0.01	12.00	4.20	22.50	12.50	
1978	7.00	27.00	27.00	3.60	15.70	0.01	0.01	0.00	10.80	3.00	6.00	13.20	
1979	14.00	18.00	29.00	9.50	0.00	0.00	2.80	4.50	3.20	0.00	0.01	14.00	
1980	3.20	13.00	11.70	10.40	5.50	0.01	0.01	0.01	0.00	27.00	10.10	15.80	
1981	21.30	23.50	41.20	11.50	2.20	0.01	1.50	3.00	0.01	13.60	12.00	12.00	
1982	12.00	14.50	12.00	10.00	9.90	6.50	2.20	0.01	12.00	6.60	21.20	30.00	
1983	27.00	21.50	39.20	39.70	6.20	4.90	0.00	2.20	11.50	12.50	7.20	32.20	
1984	35.00	40.50	47.50	18.00	10.10	8.50	6.50	3.20	3.00	11.10	27.00	9.00	
1985	7.80	11.00	44.50	10.50	7.00	8.50	0.00	0.00	13.00	4.50	0.01	9.00	
1986	22.50	13.70	8.90	23.40	0.00	0.00	0.01	9.20	0.01	2.20	15.10	11.70	
1987	42.60	37.00	16.00	0.01	0.00	0.01	3.60	1.60	6.00	2.60	16.40	2.00	
1988	24.30	25.20	9.50	13.00	1.80	0.01	0.00	0.00	9.60	3.50	12.40	4.30	
1989	26.10	37.00	22.60	17.10	4.60	1.50	0.01	2.50	3.90	14.30	3.80	0.00	
1990	22.00	14.00	19.00	7.00	2.00	7.40	0.00	0.00	5.00	17.50	12.80	13.80	
1991	0.00	8.90	36.00	13.00	6.50	0.00	0.00	0.00	6.00	28.50	12.80	7.50	
1992	22.70	31.10	27.50	29.50	33.00	3.50	0.00	0.00	5.00	6.00	7.80	3.10	
1993	20.10	74.70	44.40	19.80	7.70	0.00	0.40	0.60	3.10	8.20	9.30	8.50	
1994	16.40	34.80	65.30	22.60	2.60	6.80	2.50	0.00	2.60	4.40	31.20	23.30	
1995	42.60	22.20	21.10	9.50	2.50	6.30	1.10	0.00	3.50	11.70	3.10	19.10	
1996	14.50	53.60	31.50	10.90	0.40	0.00	0.00	2.30	0.20	7.80	4.30	6.90	
1997	6.90	21.70	18.80	11.00	1.00	5.40	0.00	0.00	5.80	12.00	17.00	52.40	
1998	64.80	78.60	52.90	43.80	6.90	0.00	0.00	0.50	5.20	13.50	5.30	25.50	
1999	25.10	33.00	28.20	11.00	5.70	4.30	3.70	0.00	8.30	4.30	3.70	13.00	
2000	12.30	22.60	22.40	11.60	11.90	4.10	0.00	0.00	1.20	0.00	7.90	13.70	
2001	15.90	18.80	74.40	24.40	14.00	1.80	0.00	0.00	8.30	1.70	4.60	6.90	
2002	16.90	65.70	35.50	32.20	6.60	0.00	0.60	0.00	2.70	7.20	18.50	8.70	
2003	15.00	20.50	17.70	11.90	4.40	2.30	0.00	0.00	4.70	1.20	14.00	20.60	
2004	8.00	16.50	35.00	4.10	3.00	1.80	0.70	0.90	1.90	7.60	4.40	11.20	
2005	10.20	13.10	34.70	4.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.40	5.20	2.00	5.70	
2006	22.90	30.40	38.70	7.60	2.00	2.10	0.00	6.30	1.00	0.50	8.80	25.00	
2007	24.40	6.10	21.20	8.60	2.70	0.00	0.00	0.60	1.10	7.80	6.80	4.10	
2008	17.30	52.40	51.20	61.70	1.80	0.00	0.00	0.70	3.30	6.60	12.10	7.60	
2009	24.20	24.30	15.90	2.90	8.10	3.40	0.60	0.00	0.60	4.10	11.10	3.80	
2010	8.80	44.50	40.90	22.40	5.80	0.00	0.00	0.60	2.00	12.20	2.90	4.60	
2011	10.50	26.10	14.90	23.90	3.10	0.00	2.50	0.00	4.30	4.80	4.30	16.10	
2012	15.90	42.00	28.90	18.30	4.00	1.20	0.00	0.00	4.90	6.10	13.80	17.80	
2013	10.70	24.00	44.00	3.40	22.40	1.00	2.00	0.80	0.80	4.80	0.00	6.60	
2014	22.30	15.00	44.00	3.40	22.40	1.00	2.00	0.80	0.80	4.80	0.00	6.60	

ESTACIÓN EL ESPINAL													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1964	1.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	11.00
1965	7.00	9.00	38.00	26.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	5.00	0.00	89.00
1966	1.00	0.00	5.00	5.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	5.00	2.00	0.00	22.00
1967	0.00	0.00	9.00	6.00	2.00	0.00	0.00	4.00	3.00	6.00	0.00	0.00	30.00
1968	8.00	0.00	4.00	1.00	0.00	0.00	3.00	1.00	6.00	6.00	0.00	5.00	34.00
1969	5.00	20.00	16.00	11.00	2.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.00	2.00	66.00
1970	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1971	0.00	4.00	25.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	34.00
1972	0.00	22.00	76.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.00
1973	1.00	1.00	3.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	8.00
1974	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	3.00	0.00	15.00
1975	3.00	19.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	30.00
1976	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
1977	0.00	0.00	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00
1978	0.00	7.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.00
1979	0.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	16.00
1980	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	11.00	21.00
1981	1.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00
1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	4.00
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	3.00	0.00	0.00	7.00
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	7.00	0.00	13.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00
1987	0.00	5.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
1988	10.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	1.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	10.00
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	0.00	1.00	13.00	30.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	0.00	56.00
1994	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	22.00	34.00
1995	15.00	7.00	43.00	0.00	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	78.00
1996	0.00	4.00	7.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00
1997	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	8.00
1998	0.00	107.00	48.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	164.00
1999	3.00	3.00	0.00	5.00	10.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	4.00	29.00
2000	0.00	0.00	7.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00
2001	11.00	0.00	2.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	18.00
2002	0.00	6.00	0.00	12.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	21.00
2003	2.00	0.00	0.00	3.00	1.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	13.00
2004	0.00	0.00	10.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	4.00	20.00
2005	0.00	5.00	16.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00
2006	28.00	6.00	20.00	3.00	0.00	0.00	7.00	0.00	7.00	0.00	1.00	9.00	81.00
2007	0.00	0.00	5.00	11.00	47.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.00
2008	2.00	37.00	43.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	87.00
2009	11.00	9.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	1.00	42.00
2010	0.00	1.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	6.00
2011	7.00	0.00	6.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	1.00	27.00
2012	7.00	0.00	26.00	9.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	45.00
2013	1.00	2.00	18.00	8.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.00
2014	5.00	0.00	0.00	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00
MEDIA	2.7	6.0	10.3	3.5	1.5	0.3	0.6	0.3	0.7	1.2	0.8	1.5	29.4

PRECIPITACIÓN MAX(24 HORAS) mm

ESTACIÓN CAYALTI													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
1964	1.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	11.00
1965	2.00	1.00	10.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00	0.00	19.00
1966	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	8.00
1967	2.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
1968	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.00	3.00
1969	1.70	6.90	7.80	0.80	0.01	0.00	0.40	0.00	0.10	4.10	0.10	2.60	24.51
1970	0.40	0.00	3.90	5.30	2.20	2.00	0.00	0.50	0.00	1.60	2.20	0.00	18.10
1971	2.10	0.00	44.10	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	0.90	0.00	0.00	3.60	54.70
1972	1.20	6.20	78.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.10	0.80	1.60	89.30
1973	14.70	2.50	2.80	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.90
1974	0.00	2.50	0.00	5.80	1.40	1.00	0.90	0.00	0.01	1.30	0.00	0.70	13.61
1975	3.60	13.50	4.30	4.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.00
1976	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.40	0.10	20.10	22.40
1977	6.90	6.10	2.60	4.20	12.00	0.30	0.00	0.00	4.00	0.80	1.10	0.01	38.01
1978	0.50	10.50	7.40	0.10	2.20	0.10	0.10	0.10	0.80	0.60	0.10	0.70	23.20
1979	1.00	1.50	4.10	3.10	0.30	0.00	0.30	0.10	0.10	0.00	0.01	0.01	10.52
1980	0.01	2.90	2.20	0.30	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.00	4.30	0.01	10.74
1981	0.01	5.80	30.60	0.30	1.10	0.70	0.40	0.01	0.01	0.70	0.70	0.10	40.43
1982	0.01	0.00	0.01	0.90	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	1.90	3.00	2.10	7.94
1983	26.20	16.90	65.80	41.40	56.70	5.90	0.00	0.00	0.80	0.10	0.01	1.70	215.51
1984	1.60	8.00	8.20	0.01	15.00	3.50	4.30	0.00	0.20	4.10	0.01	4.20	49.12
1985	0.00	0.01	8.00	0.01	1.90	0.50	0.01	0.01	0.10	1.40	0.01	1.00	12.95
1986	4.50	0.10	1.60	4.20	0.30	0.00	0.10	1.40	0.00	0.30	2.10	1.50	16.10
1987	12.10	12.60	0.40	6.30	0.00	0.70	28.00	0.01	0.01	0.40	0.80	0.00	61.32
1988	4.90	7.20	0.20	2.20	1.50	0.00	0.00	0.01	0.01	0.60	0.50	0.70	17.82
1989	1.20	8.90	0.80	2.00	1.30	1.10	0.00	0.50	0.60	2.10	1.10	0.00	19.60
1990	1.00	1.10	3.70	1.00	1.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	12.50
1991	0.40	3.10	13.90	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.70	33.50	0.20	57.00
1992	2.00	7.90	8.30	9.10	1.00	0.01	0.00	0.00	0.80	0.70	0.01	0.50	30.32
1993	1.00	5.00	14.90	7.90	1.00	0.01	3.00	0.10	0.40	0.50	6.40	2.00	42.21
1994	4.60	9.70	15.60	3.40	0.01	4.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.30	17.00	54.64
1995	4.10	3.80	0.70	13.10	4.10	0.01	2.00	0.01	3.80	1.30	1.20	1.70	35.82
1996	2.20	5.50	3.20	2.50	1.00	1.10	0.00	1.20	1.20	1.60	0.20	1.20	20.90
1997	0.01	19.60	1.50	5.20	0.70	0.01	0.00	0.01	1.80	0.01	1.40	29.80	60.04
1998	22.80	77.30	60.70	11.70	0.01	1.20	0.00	0.01	0.01	1.90	0.00	0.01	175.64
1999	2.70	24.00	0.40	5.50	2.90	1.00	2.00	0.01	1.50	1.90	0.01	2.70	44.62
2000	0.90	0.50	4.30	11.00	1.40	1.50	0.00	1.80	2.80	0.01	0.90	5.40	30.51
2001	0.80	1.00	10.20	8.70	0.01	0.01	0.00	0.00	2.40	0.01	0.01	1.00	24.14
2002	0.01	7.50	6.00	3.90	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.60	3.20	4.50	25.75
2003	2.00	6.30	0.40	1.30	0.50	0.80	0.01	0.00	0.01	0.01	1.90	1.50	14.73
2004	30.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	366.00
2005	1.10	1.60	1.00	0.60	0.70	0.01	0.01	0.00	0.00	3.30	1.00	0.30	9.62
2006	2.10	0.80	5.90	2.80	0.01	0.60	1.00	0.00	1.00	0.00	1.50	4.40	20.11
2007	1.00	0.20	5.20	1.20	0.60	0.01	0.00	0.01	0.00	2.10	1.10	0.60	12.02
2008	4.00	6.50	7.20	1.90	0.01	1.30	1.20	1.10	1.30	1.40	0.60	0.01	26.52
2009	9.90	2.50	3.90	0.30	0.01	0.30	0.01	0.00	2.00	0.50	4.10	0.00	23.52
2010	0.50	7.20	11.90	1.90	0.40	0.01	0.01	0.70	0.20	4.60	3.20	0.01	30.63
2011	3.50	1.80	1.30	8.60	0.20	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.20	1.50	17.13
2012	2.00	8.80	12.70	4.80	0.01	0.10	0.00	0.01	0.01	2.70	1.70	1.60	34.43
2013	1.50	3.10	14.00	1.00	4.50	0.00	0.01	0.01	0.01	4.00	0.01	0.20	28.34
2014	0.00	0.00	2.60	1.10	2.60	0.01	0.00	0.00	9.90	0.00	0.40	3.70	20.31
MEDIA	3.7	6.9	10.3	4.5	2.9	1.2	1.5	0.9	1.4	1.7	2.3	3.0	40.3

ESTACIÓN NIEPOS	
PRECIPITACIÓN MAX(24 HORAS) mm	
AÑO	Pmáx. 24H
1963	30.5
1964	30
1965	48.9
1966	52.8
1967	36.3
1968	14
1969	38.6
1970	35.2
1971	20.7
1972	65.5
1973	35.1
1974	18.6
1975	30
1976	11.3
1977	6.8
1978	15
1979	6.4
1980	8.4
1981	6.3
1982	5.4
1983	8.5
1984	16.3
1985	9.3
1986	30.5
1987	80
1988	30.8
1989	26.4
1990	25.2
1991	22.2
1992	52
1993	45
1994	25
1995	24.5
1996	22.1
1997	25.8
1998	94
1999	39.6
2000	44
2001	52.4
2002	43
2003	24.6
2004	16.4
2005	55.5
2006	77.7
2007	26.5
2008	66.7
2009	63.2
2010	62
2011	33.5
2012	61.4
2013	27
2014	25
2015	34
2016	73.7
2017	62.2
MEDIA	35.31

ESTACIÓN OYOTÚN	
PRECIPITACIÓN MAX(24 HORAS) mm	
AÑO	Pmáx. 24H
1963	16.00
1964	30.00
1965	48.80
1966	18.70
1967	12.80
1968	30.00
1969	27.00
1970	31.00
1971	52.00
1972	59.00
1973	40.00
1974	15.00
1975	16.00
1976	37.00
1977	34.00
1978	86.00
1979	22.00
1980	23.00
1981	29.00
1982	23.00
1983	46.00
1984	25.00
1985	17.00
1986	34.00
1987	29.00
1988	45.00
1989	46.00
1990	27.00
1991	39.00
1992	25.00
1993	36.00
1994	43.50
1995	39.00
1996	46.00
1997	26.50
1998	60.50
1999	39.00
2000	380.00
2001	63.00
2002	76.50
2003	33.50
2004	40.90
2005	34.80
2006	40.30
2007	37.30
2008	71.70
2009	26.10
2010	40.30
2011	28.40
2012	38.40
2013	32.30
2014	20.50
2015	34.70
2016	39.80
2017	42.80
MEDIA	42.82

Anexo 2 Pruebas de bondad de ajuste de las estaciones en estudio

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV													
DISTRIBUCIONES UDIMA													
m	Pmáx. 24 H	Fo	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL		LOG-PERSON III		
			F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	
1	18.00	0.020	0.053	0.086	0.001	0.019	0.089	0.120	0.021	0.006	0.001	0.019	
2	19.00	0.039	0.062	0.077	0.003	0.037	0.097	0.108	0.028	0.006	0.003	0.036	
3	21.00	0.059	0.084	0.083	0.012	0.047	0.113	0.106	0.047	0.005	0.016	0.043	
4	24.00	0.078	0.123	0.105	0.050	0.028	0.142	0.116	0.087	0.018	0.060	0.016	
5	27.00	0.098	0.170	0.131	0.120	0.022	0.175	0.128	0.140	0.052	0.130	0.038	
6	28.00	0.118	0.187	0.127	0.149	0.031	0.187	0.119	0.160	0.053	0.158	0.046	
7	29.00	0.137	0.205	0.124	0.179	0.041	0.199	0.111	0.181	0.054	0.186	0.056	
8	30.00	0.157	0.224	0.121	0.210	0.053	0.212	0.104	0.203	0.056	0.216	0.066	
9	30.00	0.177	0.224	0.102	0.210	0.034	0.212	0.084	0.203	0.036	0.216	0.046	
10	31.00	0.196	0.243	0.099	0.242	0.046	0.226	0.076	0.225	0.039	0.245	0.057	
11	32.00	0.216	0.262	0.096	0.275	0.059	0.240	0.069	0.249	0.042	0.275	0.067	
12	32.00	0.235	0.262	0.077	0.275	0.039	0.240	0.049	0.249	0.023	0.275	0.047	
13	32.00	0.255	0.262	0.057	0.275	0.020	0.240	0.030	0.249	0.003	0.275	0.028	
14	32.00	0.275	0.262	0.038	0.275	0.000	0.240	0.010	0.249	0.017	0.275	0.008	
15	33.00	0.294	0.282	0.035	0.307	0.013	0.254	0.003	0.272	0.013	0.305	0.018	
16	34.00	0.314	0.302	0.033	0.339	0.025	0.269	0.004	0.296	0.010	0.334	0.028	
17	36.00	0.333	0.343	0.048	0.400	0.066	0.300	0.003	0.345	0.018	0.391	0.064	
18	36.00	0.353	0.343	0.028	0.400	0.047	0.300	0.016	0.345	0.002	0.391	0.045	
19	36.00	0.373	0.343	0.009	0.400	0.027	0.300	0.036	0.345	0.022	0.391	0.025	
20	36.00	0.392	0.343	0.011	0.400	0.008	0.300	0.056	0.345	0.041	0.391	0.005	
21	37.00	0.412	0.364	0.013	0.429	0.017	0.316	0.062	0.369	0.037	0.419	0.013	
22	37.00	0.431	0.364	0.033	0.429	0.003	0.316	0.081	0.369	0.057	0.419	0.007	
23	40.00	0.451	0.426	0.001	0.509	0.058	0.366	0.059	0.441	0.008	0.495	0.049	
24	42.00	0.471	0.466	0.013	0.557	0.096	0.401	0.050	0.487	0.017	0.541	0.074	
25	42.00	0.490	0.466	0.007	0.557	0.067	0.401	0.070	0.487	0.003	0.541	0.054	
26	43.00	0.510	0.486	0.010	0.579	0.069	0.419	0.075	0.509	0.001	0.563	0.056	
27	43.00	0.529	0.486	0.030	0.579	0.050	0.419	0.095	0.509	0.021	0.563	0.036	
28	43.00	0.549	0.486	0.049	0.579	0.030	0.419	0.114	0.509	0.041	0.563	0.017	
29	43.00	0.569	0.486	0.069	0.579	0.010	0.419	0.134	0.509	0.060	0.563	0.003	
30	43.00	0.588	0.486	0.088	0.579	0.009	0.419	0.154	0.509	0.080	0.563	0.023	
31	45.00	0.608	0.525	0.076	0.620	0.012	0.455	0.144	0.552	0.058	0.603	0.003	
32	46.00	0.628	0.543	0.080	0.638	0.011	0.473	0.149	0.572	0.058	0.622	0.004	
33	46.00	0.647	0.543	0.099	0.638	0.009	0.473	0.169	0.572	0.078	0.622	0.024	
34	48.00	0.667	0.580	0.089	0.673	0.006	0.510	0.159	0.611	0.060	0.656	0.010	
35	48.00	0.686	0.580	0.108	0.673	0.014	0.510	0.179	0.611	0.080	0.656	0.029	
36	48.00	0.706	0.580	0.128	0.673	0.033	0.510	0.198	0.611	0.099	0.656	0.049	
37	49.00	0.726	0.597	0.133	0.688	0.037	0.528	0.203	0.630	0.101	0.672	0.053	
38	49.00	0.745	0.597	0.152	0.688	0.057	0.528	0.223	0.630	0.120	0.672	0.073	
39	51.00	0.765	0.631	0.143	0.717	0.048	0.564	0.213	0.665	0.106	0.702	0.063	
40	51.00	0.784	0.631	0.163	0.717	0.067	0.564	0.233	0.665	0.126	0.702	0.083	
41	52.00	0.804	0.647	0.169	0.730	0.074	0.582	0.238	0.682	0.129	0.716	0.089	
42	57.00	0.824	0.720	0.125	0.786	0.037	0.668	0.187	0.755	0.078	0.775	0.051	
43	60.00	0.843	0.757	0.111	0.813	0.030	0.716	0.166	0.792	0.061	0.804	0.042	
44	74.00	0.863	0.881	0.011	0.894	0.031	0.887	0.028	0.905	0.032	0.893	0.026	
45	75.00	0.882	0.887	0.025	0.898	0.015	0.896	0.038	0.910	0.018	0.897	0.011	
46	86.00	0.902	0.937	0.011	0.930	0.028	0.961	0.020	0.952	0.043	0.933	0.027	
47	90.00	0.922	0.950	0.006	0.939	0.017	0.974	0.019	0.962	0.034	0.942	0.017	
48	100.00	0.941	0.971	0.013	0.954	0.013	0.992	0.032	0.979	0.033	0.959	0.015	
49	112.00	0.961	0.985	0.013	0.967	0.006	0.998	0.030	0.989	0.025	0.972	0.009	
50	178.00	0.980	1.000	0.018	0.991	0.011	1.000	0.020	1.000	0.019	0.995	0.014	
D=máx F-Fo 			0.169		0.096		0.238		0.129		0.089		
			OK		OK		NO		OK		OK		

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV

DISTRIBUCIONES LIVES

m	Pmáx. 24 H	Fo	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL		LOG-PERSON III	
			F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F
1	15.00	0.020	0.019	0.004	0.000	0.020	0.056	0.040	0.013	0.008	0.001	0.019
2	18.00	0.039	0.045	0.000	0.007	0.036	0.083	0.047	0.038	0.003	0.003	0.036
3	19.50	0.059	0.058	0.008	0.015	0.050	0.093	0.038	0.051	0.010	0.016	0.043
4	20.60	0.078	0.072	0.014	0.028	0.060	0.105	0.030	0.066	0.015	0.060	0.016
5	22.00	0.098	0.107	0.000	0.071	0.043	0.131	0.036	0.103	0.002	0.130	0.038
6	22.60	0.118	0.107	0.019	0.071	0.063	0.131	0.017	0.103	0.018	0.158	0.046
7	23.40	0.137	0.127	0.019	0.099	0.056	0.145	0.012	0.125	0.016	0.186	0.056
8	24.30	0.157	0.150	0.017	0.132	0.044	0.161	0.008	0.148	0.012	0.216	0.066
9	24.40	0.177	0.150	0.036	0.132	0.064	0.161	0.012	0.148	0.032	0.216	0.046
10	25.20	0.196	0.174	0.032	0.168	0.048	0.177	0.015	0.174	0.026	0.245	0.057
11	26.10	0.216	0.199	0.026	0.207	0.029	0.195	0.017	0.200	0.019	0.275	0.067
12	27.00	0.235	0.226	0.019	0.246	0.008	0.214	0.018	0.228	0.010	0.275	0.047
13	27.00	0.255	0.226	0.038	0.246	0.027	0.214	0.038	0.228	0.030	0.275	0.028
14	27.00	0.275	0.226	0.058	0.246	0.047	0.214	0.057	0.228	0.050	0.275	0.008
15	29.00	0.294	0.282	0.020	0.325	0.016	0.254	0.037	0.286	0.011	0.305	0.018
16	30.00	0.314	0.311	0.010	0.364	0.038	0.276	0.035	0.316	0.000	0.334	0.028
17	30.90	0.333	0.311	0.029	0.364	0.018	0.276	0.055	0.316	0.020	0.391	0.064
18	33.00	0.353	0.401	0.043	0.472	0.113	0.346	0.005	0.406	0.052	0.391	0.045
19	33.00	0.373	0.401	0.023	0.472	0.093	0.346	0.025	0.406	0.032	0.391	0.025
20	34.70	0.392	0.430	0.034	0.504	0.108	0.370	0.020	0.436	0.043	0.391	0.005
21	35.00	0.412	0.459	0.044	0.535	0.121	0.395	0.015	0.465	0.053	0.419	0.013
22	35.00	0.431	0.459	0.025	0.535	0.101	0.395	0.034	0.465	0.033	0.419	0.007
23	35.50	0.451	0.459	0.005	0.535	0.082	0.395	0.054	0.465	0.013	0.495	0.049
24	36.00	0.471	0.488	0.015	0.564	0.093	0.421	0.048	0.493	0.023	0.541	0.074
25	36.50	0.490	0.488	0.005	0.564	0.073	0.421	0.068	0.493	0.003	0.541	0.054
26	37.00	0.510	0.516	0.005	0.591	0.082	0.447	0.062	0.521	0.011	0.563	0.056
27	38.00	0.529	0.543	0.013	0.616	0.089	0.473	0.056	0.548	0.019	0.563	0.036
28	38.70	0.549	0.543	0.006	0.616	0.070	0.473	0.075	0.548	0.001	0.563	0.017
29	39.50	0.569	0.570	0.001	0.640	0.075	0.500	0.069	0.574	0.006	0.563	0.003
30	39.70	0.588	0.570	0.018	0.640	0.055	0.500	0.089	0.574	0.014	0.563	0.023
31	41.20	0.608	0.620	0.013	0.682	0.080	0.552	0.057	0.623	0.016	0.603	0.003
32	42.00	0.628	0.644	0.018	0.701	0.080	0.578	0.051	0.646	0.020	0.622	0.004
33	42.00	0.647	0.644	0.002	0.701	0.061	0.578	0.070	0.646	0.000	0.622	0.024
34	42.60	0.667	0.644	0.021	0.701	0.041	0.578	0.090	0.646	0.019	0.656	0.010
35	42.60	0.686	0.644	0.041	0.701	0.022	0.578	0.110	0.646	0.039	0.656	0.029
36	44.00	0.706	0.687	0.016	0.736	0.038	0.629	0.079	0.688	0.015	0.656	0.049
37	44.00	0.726	0.687	0.035	0.736	0.018	0.629	0.099	0.688	0.035	0.672	0.053
38	44.50	0.745	0.687	0.055	0.736	0.002	0.629	0.118	0.688	0.054	0.672	0.073
39	44.50	0.765	0.687	0.075	0.736	0.021	0.629	0.138	0.688	0.074	0.702	0.063
40	47.50	0.784	0.745	0.035	0.779	0.003	0.701	0.086	0.745	0.037	0.702	0.083
41	52.40	0.804	0.822	0.023	0.833	0.039	0.804	0.003	0.820	0.019	0.716	0.089
42	53.60	0.824	0.835	0.016	0.842	0.028	0.822	0.005	0.832	0.012	0.775	0.051
43	58.70	0.843	0.887	0.048	0.878	0.044	0.895	0.048	0.883	0.043	0.804	0.042
44	61.70	0.863	0.910	0.051	0.895	0.041	0.927	0.061	0.906	0.047	0.893	0.026
45	63.00	0.882	0.923	0.044	0.904	0.031	0.943	0.058	0.919	0.040	0.897	0.011
46	65.30	0.902	0.934	0.036	0.913	0.019	0.957	0.052	0.930	0.031	0.933	0.027
47	65.70	0.922	0.934	0.016	0.913	0.000	0.957	0.033	0.930	0.012	0.942	0.017
48	74.40	0.941	0.968	0.029	0.941	0.007	0.990	0.047	0.965	0.025	0.959	0.015
49	74.70	0.961	0.968	0.009	0.941	0.013	0.990	0.028	0.965	0.006	0.972	0.009
50	78.60	0.980	0.977	0.002	0.950	0.024	0.995	0.014	0.974	0.005	0.995	0.014
D=máx F-Fo 			0.075		0.121		0.138		0.074		0.089	

OK

OK

NO

OK

OK

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV
DISTRIBUCIONES EL ESPINAL

m	Pmáx. 24 H	Fo	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL	
			F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F
1	2.00	0.022	0.139	0.178	0.001	0.022	0.153	0.184	0.023	0.001
2	3.00	0.044	0.161	0.177	0.023	0.030	0.169	0.176	0.060	0.013
3	3.00	0.067	0.161	0.155	0.023	0.052	0.169	0.154	0.060	0.009
4	3.00	0.089	0.161	0.133	0.023	0.074	0.169	0.132	0.060	0.031
5	4.00	0.111	0.184	0.132	0.077	0.050	0.185	0.125	0.108	0.006
6	4.00	0.133	0.184	0.110	0.077	0.072	0.185	0.102	0.108	0.028
7	5.00	0.156	0.209	0.110	0.150	0.025	0.202	0.096	0.161	0.002
8	5.00	0.178	0.209	0.088	0.150	0.047	0.202	0.074	0.161	0.020
9	5.00	0.200	0.209	0.065	0.150	0.069	0.202	0.051	0.161	0.042
10	6.00	0.222	0.234	0.066	0.228	0.013	0.220	0.045	0.215	0.010
11	7.00	0.244	0.261	0.067	0.301	0.041	0.239	0.040	0.268	0.021
12	7.00	0.267	0.261	0.045	0.301	0.018	0.239	0.018	0.268	0.001
13	7.00	0.289	0.261	0.022	0.301	0.004	0.239	0.005	0.268	0.024
14	8.00	0.311	0.288	0.024	0.367	0.044	0.258	0.010	0.319	0.005
15	9.00	0.333	0.315	0.025	0.425	0.083	0.279	0.014	0.366	0.031
16	9.00	0.356	0.315	0.003	0.425	0.061	0.279	0.037	0.366	0.009
17	10.00	0.378	0.343	0.004	0.477	0.093	0.300	0.041	0.411	0.032
18	10.00	0.400	0.343	0.018	0.477	0.071	0.300	0.063	0.411	0.009
19	10.00	0.422	0.343	0.041	0.477	0.049	0.300	0.085	0.411	0.013
20	10.00	0.444	0.343	0.063	0.477	0.026	0.300	0.108	0.411	0.035
21	11.00	0.467	0.371	0.062	0.521	0.052	0.322	0.111	0.452	0.015
22	11.00	0.489	0.371	0.084	0.521	0.030	0.322	0.134	0.452	0.038
23	12.00	0.511	0.399	0.083	0.560	0.049	0.345	0.137	0.490	0.021
24	12.00	0.533	0.399	0.105	0.560	0.027	0.345	0.159	0.490	0.044
25	13.00	0.556	0.427	0.104	0.595	0.041	0.368	0.162	0.525	0.030
26	13.00	0.578	0.427	0.126	0.595	0.018	0.368	0.185	0.525	0.052
27	14.00	0.600	0.455	0.126	0.625	0.028	0.391	0.188	0.558	0.042
28	16.00	0.622	0.509	0.103	0.676	0.059	0.440	0.171	0.615	0.006
29	18.00	0.644	0.560	0.083	0.716	0.078	0.489	0.153	0.663	0.021
30	18.00	0.667	0.560	0.105	0.716	0.056	0.489	0.175	0.663	0.001
31	19.00	0.689	0.584	0.107	0.733	0.052	0.514	0.178	0.685	0.002
32	20.00	0.711	0.608	0.109	0.748	0.045	0.539	0.180	0.705	0.004
33	22.00	0.733	0.652	0.094	0.775	0.051	0.588	0.163	0.740	0.009
34	22.00	0.756	0.652	0.116	0.775	0.028	0.588	0.185	0.740	0.013
35	25.00	0.778	0.712	0.086	0.807	0.039	0.659	0.149	0.783	0.009
36	26.00	0.800	0.730	0.092	0.816	0.026	0.681	0.153	0.796	0.001
37	28.00	0.822	0.763	0.085	0.832	0.019	0.724	0.139	0.818	0.001
38	30.00	0.844	0.793	0.079	0.846	0.011	0.764	0.126	0.838	0.004
39	38.00	0.867	0.882	0.015	0.886	0.028	0.888	0.031	0.893	0.030
40	43.00	0.889	0.918	0.001	0.902	0.022	0.937	0.001	0.916	0.030
41	43.00	0.911	0.918	0.021	0.902	0.000	0.937	0.021	0.916	0.008
42	47.00	0.933	0.939	0.020	0.913	0.012	0.962	0.010	0.931	0.000
43	76.00	0.956	0.993	0.031	0.954	0.004	1.000	0.042	0.978	0.024
44	107.00	0.978	0.999	0.020	0.971	0.003	1.000	0.022	0.992	0.014
D=máx F-Fo 			0.178		0.093		0.188		0.052	
			OK		OK		OK		OK	

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV

DISTRIBUCIONES CAYALTI

m	Pmáx. 24 H	Fo	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL		LOG-PERSON III	
			F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F
1	2.00	0.020	0.159	0.202	0.008	0.015	0.167	0.201	0.039	0.019	0.024	0.006
2	2.00	0.039	0.159	0.183	0.008	0.035	0.167	0.182	0.039	0.001	0.024	0.014
3	2.00	0.059	0.159	0.163	0.008	0.055	0.167	0.162	0.039	0.021	0.024	0.033
4	3.00	0.078	0.186	0.168	0.059	0.032	0.186	0.160	0.094	0.014	0.082	0.004
5	3.30	0.098	0.186	0.149	0.059	0.052	0.186	0.140	0.094	0.005	0.082	0.016
6	3.70	0.118	0.186	0.129	0.059	0.071	0.186	0.121	0.094	0.025	0.082	0.035
7	4.10	0.137	0.215	0.135	0.146	0.008	0.206	0.119	0.158	0.019	0.157	0.018
8	4.30	0.157	0.215	0.116	0.146	0.028	0.206	0.099	0.158	0.000	0.157	0.002
9	4.50	0.177	0.215	0.096	0.146	0.047	0.206	0.080	0.158	0.020	0.157	0.022
10	5.20	0.196	0.244	0.103	0.240	0.029	0.227	0.079	0.224	0.027	0.234	0.034
11	5.30	0.216	0.244	0.083	0.240	0.009	0.227	0.059	0.224	0.007	0.234	0.014
12	5.50	0.235	0.244	0.063	0.240	0.011	0.227	0.040	0.224	0.013	0.234	0.005
13	5.80	0.255	0.244	0.044	0.240	0.030	0.227	0.020	0.224	0.032	0.234	0.025
14	5.90	0.275	0.244	0.024	0.240	0.050	0.227	0.001	0.224	0.052	0.234	0.045
15	6.30	0.294	0.275	0.031	0.328	0.021	0.249	0.000	0.288	0.007	0.307	0.007
16	7.20	0.314	0.307	0.039	0.404	0.081	0.272	0.001	0.348	0.034	0.373	0.053
17	7.20	0.333	0.307	0.019	0.404	0.062	0.272	0.019	0.348	0.014	0.373	0.034
18	7.50	0.353	0.307	0.001	0.404	0.042	0.272	0.038	0.348	0.006	0.373	0.014
19	7.80	0.373	0.307	0.020	0.404	0.023	0.272	0.058	0.348	0.025	0.373	0.006
20	8.00	0.392	0.339	0.013	0.469	0.071	0.297	0.057	0.404	0.011	0.432	0.034
21	8.60	0.412	0.339	0.033	0.469	0.052	0.297	0.077	0.404	0.009	0.432	0.014
22	8.90	0.431	0.339	0.052	0.469	0.032	0.297	0.096	0.404	0.028	0.432	0.006
23	9.10	0.451	0.371	0.045	0.524	0.070	0.322	0.095	0.454	0.003	0.484	0.027
24	9.90	0.471	0.371	0.064	0.524	0.051	0.322	0.114	0.454	0.017	0.484	0.008
25	9.90	0.490	0.371	0.084	0.524	0.031	0.322	0.134	0.454	0.036	0.484	0.012
26	10.00	0.510	0.404	0.077	0.571	0.061	0.348	0.132	0.500	0.010	0.531	0.015
27	10.20	0.529	0.404	0.096	0.571	0.041	0.348	0.152	0.500	0.029	0.531	0.005
28	10.50	0.549	0.404	0.116	0.571	0.022	0.348	0.171	0.500	0.049	0.531	0.024
29	11.00	0.569	0.436	0.109	0.610	0.044	0.375	0.169	0.542	0.027	0.571	0.003
30	11.90	0.588	0.436	0.129	0.610	0.024	0.375	0.189	0.542	0.046	0.571	0.022
31	12.00	0.608	0.468	0.122	0.645	0.040	0.403	0.186	0.579	0.028	0.607	0.005
32	12.70	0.628	0.468	0.142	0.645	0.021	0.403	0.206	0.579	0.048	0.607	0.025
33	13.10	0.647	0.499	0.136	0.674	0.032	0.431	0.203	0.613	0.033	0.639	0.012
34	13.50	0.667	0.499	0.156	0.674	0.012	0.431	0.222	0.613	0.053	0.639	0.031
35	14.00	0.686	0.529	0.151	0.700	0.019	0.459	0.219	0.644	0.042	0.667	0.022
36	14.70	0.706	0.529	0.170	0.700	0.001	0.459	0.239	0.644	0.061	0.667	0.042
37	14.90	0.726	0.529	0.190	0.700	0.020	0.459	0.258	0.644	0.081	0.667	0.061
38	15.00	0.745	0.558	0.185	0.722	0.017	0.487	0.255	0.672	0.073	0.693	0.055
39	17.00	0.765	0.613	0.159	0.760	0.002	0.545	0.229	0.720	0.044	0.736	0.030
40	20.10	0.784	0.687	0.115	0.802	0.026	0.628	0.181	0.776	0.007	0.785	0.001
41	24.00	0.804	0.768	0.063	0.841	0.046	0.731	0.116	0.831	0.029	0.833	0.031
42	28.00	0.824	0.831	0.024	0.869	0.054	0.816	0.060	0.870	0.048	0.867	0.046
43	29.80	0.843	0.844	0.031	0.875	0.040	0.835	0.062	0.878	0.036	0.874	0.033
44	30.60	0.863	0.856	0.038	0.880	0.025	0.852	0.065	0.886	0.024	0.880	0.020
45	31.00	0.882	0.867	0.046	0.885	0.010	0.868	0.069	0.892	0.011	0.886	0.007
46	33.50	0.902	0.888	0.045	0.894	0.001	0.896	0.059	0.905	0.004	0.897	0.002
47	44.10	0.922	0.956	0.012	0.926	0.012	0.980	0.027	0.948	0.027	0.936	0.018
48	65.80	0.941	0.993	0.044	0.956	0.020	1.000	0.057	0.980	0.039	0.969	0.030
49	77.30	0.961	0.998	0.033	0.965	0.008	1.000	0.039	0.987	0.027	0.977	0.019
50	78.20	0.980	0.998	0.014	0.965	0.011	1.000	0.019	0.988	0.008	0.978	0.000
D=máx F-Fo 			0.202		0.081		0.258		0.081		0.061	
			NO		OK		NO		OK		OK	

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV
DISTRIBUCIONES NIEPOS

m	Pmáx. 24 H	Fo	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL	
			F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F
1	5.40	0.018	0.043	0.016	0.000	0.018	0.080	0.063	0.009	0.009
2	6.30	0.036	0.051	0.006	0.001	0.036	0.087	0.052	0.017	0.018
3	6.40	0.054	0.051	0.012	0.001	0.053	0.087	0.035	0.017	0.036
4	6.80	0.071	0.051	0.030	0.001	0.071	0.087	0.017	0.017	0.054
5	8.40	0.089	0.071	0.030	0.010	0.083	0.103	0.015	0.043	0.046
6	8.50	0.107	0.071	0.048	0.010	0.101	0.103	0.003	0.043	0.064
7	9.30	0.125	0.082	0.055	0.022	0.109	0.112	0.012	0.059	0.065
8	11.30	0.143	0.107	0.048	0.066	0.087	0.131	0.011	0.099	0.042
9	14.00	0.161	0.153	0.022	0.164	0.010	0.163	0.003	0.170	0.011
10	15.00	0.179	0.170	0.022	0.200	0.008	0.175	0.003	0.195	0.018
11	16.30	0.196	0.188	0.023	0.236	0.027	0.187	0.009	0.221	0.026
12	16.40	0.214	0.188	0.040	0.236	0.009	0.187	0.026	0.221	0.008
13	18.60	0.232	0.225	0.020	0.306	0.063	0.213	0.018	0.272	0.041
14	20.70	0.250	0.265	0.003	0.371	0.113	0.242	0.008	0.322	0.073
15	22.10	0.268	0.306	0.027	0.430	0.156	0.272	0.005	0.370	0.103
16	22.20	0.286	0.306	0.009	0.430	0.139	0.272	0.013	0.370	0.085
17	24.50	0.304	0.348	0.035	0.483	0.175	0.304	0.001	0.416	0.113
18	24.60	0.321	0.348	0.017	0.483	0.158	0.304	0.017	0.416	0.095
19	25.00	0.339	0.369	0.021	0.507	0.165	0.320	0.019	0.438	0.099
20	25.00	0.357	0.369	0.004	0.507	0.147	0.320	0.036	0.438	0.081
21	25.20	0.375	0.369	0.014	0.507	0.129	0.320	0.054	0.438	0.063
22	25.80	0.393	0.369	0.032	0.507	0.111	0.320	0.072	0.438	0.045
23	26.40	0.411	0.390	0.028	0.529	0.117	0.337	0.073	0.459	0.049
24	26.50	0.429	0.390	0.046	0.529	0.099	0.337	0.091	0.459	0.031
25	27.00	0.446	0.411	0.042	0.550	0.103	0.355	0.092	0.480	0.034
26	30.00	0.464	0.474	0.005	0.607	0.144	0.408	0.056	0.538	0.073
27	30.00	0.482	0.474	0.013	0.607	0.126	0.408	0.074	0.538	0.055
28	30.50	0.500	0.474	0.030	0.607	0.108	0.408	0.092	0.538	0.038
29	30.50	0.518	0.474	0.048	0.607	0.090	0.408	0.110	0.538	0.020
30	30.80	0.536	0.474	0.066	0.607	0.072	0.408	0.127	0.538	0.002
31	33.50	0.554	0.533	0.022	0.653	0.103	0.463	0.090	0.589	0.035
32	34.00	0.571	0.552	0.020	0.667	0.099	0.482	0.089	0.605	0.033
33	35.10	0.589	0.571	0.018	0.680	0.095	0.501	0.089	0.620	0.031
34	35.20	0.607	0.571	0.036	0.680	0.077	0.501	0.107	0.620	0.013
35	36.30	0.625	0.589	0.035	0.693	0.072	0.519	0.106	0.635	0.009
36	38.60	0.643	0.624	0.017	0.715	0.077	0.557	0.087	0.663	0.019
37	39.60	0.661	0.641	0.017	0.726	0.070	0.575	0.086	0.676	0.014
38	43.00	0.679	0.702	0.028	0.762	0.089	0.647	0.032	0.722	0.043
39	44.00	0.696	0.716	0.025	0.770	0.079	0.664	0.033	0.733	0.035
40	45.00	0.714	0.730	0.021	0.777	0.069	0.681	0.034	0.743	0.027
41	48.90	0.732	0.767	0.041	0.798	0.072	0.729	0.003	0.771	0.037
42	52.00	0.750	0.810	0.067	0.821	0.077	0.788	0.037	0.803	0.051
43	52.40	0.768	0.810	0.049	0.821	0.059	0.788	0.019	0.803	0.034
44	52.80	0.786	0.810	0.031	0.821	0.042	0.788	0.001	0.803	0.016
45	55.50	0.804	0.838	0.041	0.836	0.039	0.826	0.022	0.823	0.019
46	61.40	0.821	0.882	0.067	0.860	0.045	0.889	0.067	0.858	0.035
47	62.00	0.839	0.888	0.056	0.864	0.031	0.898	0.057	0.863	0.022
48	62.20	0.857	0.888	0.038	0.864	0.013	0.898	0.040	0.863	0.004
49	63.20	0.875	0.894	0.026	0.867	0.002	0.906	0.030	0.868	0.009
50	65.50	0.893	0.905	0.019	0.873	0.013	0.920	0.027	0.877	0.018
51	66.70	0.911	0.910	0.006	0.876	0.028	0.927	0.016	0.881	0.031
52	73.70	0.929	0.939	0.016	0.895	0.028	0.963	0.034	0.906	0.024
53	77.70	0.946	0.951	0.009	0.903	0.037	0.976	0.029	0.918	0.030
54	80.00	0.964	0.959	0.001	0.909	0.050	0.983	0.018	0.926	0.040
55	94.00	0.982	0.981	0.002	0.930	0.047	0.997	0.015	0.952	0.031
D=máx F-Fo 			0.067		0.175		0.127		0.113	
			OK		OK		OK		OK	

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV-KOLGOMOROV
DISTRIBUCIONES OYOTUN

m	Pmáx. 24 H	Fo	GUMBEL		LOG-GUMBEL		NORMAL		LOG-NORMAL		
			F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	F(xm)	Fo-F	
1	12.80	0.02	0.017	0.002	0.000	0.018	0.054	0.046	0.008	0.010	
2	15.00	0.04	0.041	0.008	0.003	0.034	0.078	0.054	0.028	0.007	
3	16.00	0.05	0.052	0.002	0.008	0.049	0.088	0.047	0.039	0.014	
4	16.00	0.07	0.052	0.016	0.008	0.067	0.088	0.029	0.039	0.032	
5	17.00	0.09	0.065	0.021	0.017	0.077	0.098	0.022	0.053	0.036	
6	18.70	0.11	0.079	0.024	0.031	0.083	0.110	0.016	0.069	0.038	
7	20.50	0.13	0.114	0.006	0.077	0.060	0.136	0.024	0.108	0.016	
8	22.00	0.14	0.157	0.018	0.141	0.015	0.165	0.036	0.155	0.013	
9	23.00	0.16	0.180	0.024	0.178	0.004	0.182	0.034	0.181	0.021	
10	23.00	0.18	0.180	0.006	0.178	0.014	0.182	0.017	0.181	0.003	
11	25.00	0.20	0.231	0.039	0.257	0.048	0.217	0.034	0.236	0.040	
12	25.00	0.21	0.231	0.021	0.257	0.030	0.217	0.016	0.236	0.023	
13	26.10	0.23	0.258	0.029	0.297	0.054	0.236	0.017	0.265	0.034	
14	26.50	0.25	0.258	0.012	0.297	0.036	0.236	0.001	0.265	0.016	
15	27.00	0.27	0.285	0.021	0.336	0.059	0.256	0.000	0.295	0.027	
16	27.00	0.29	0.285	0.003	0.336	0.041	0.256	0.018	0.295	0.010	
17	28.40	0.30	0.313	0.013	0.374	0.062	0.277	0.015	0.324	0.021	
18	29.00	0.32	0.342	0.024	0.411	0.083	0.299	0.012	0.354	0.033	
19	29.00	0.34	0.342	0.006	0.411	0.065	0.299	0.030	0.354	0.015	
20	30.00	0.36	0.371	0.016	0.446	0.084	0.321	0.027	0.384	0.027	
21	30.00	0.38	0.371	0.002	0.446	0.066	0.321	0.044	0.384	0.009	
22	31.00	0.39	0.399	0.009	0.480	0.083	0.345	0.040	0.413	0.021	
23	32.30	0.41	0.428	0.019	0.511	0.098	0.368	0.036	0.442	0.032	
24	33.50	0.43	0.456	0.029	0.541	0.111	0.392	0.030	0.471	0.042	
25	34.00	0.45	0.484	0.039	0.569	0.122	0.417	0.025	0.498	0.052	
26	34.00	0.46	0.484	0.021	0.569	0.105	0.417	0.043	0.498	0.034	
27	34.70	0.48	0.484	0.003	0.569	0.087	0.417	0.061	0.498	0.016	
28	34.80	0.50	0.484	0.015	0.569	0.069	0.417	0.078	0.498	0.002	
29	36.00	0.52	0.537	0.020	0.619	0.103	0.467	0.049	0.551	0.033	
30	37.00	0.54	0.563	0.027	0.642	0.109	0.493	0.043	0.576	0.041	
31	37.30	0.55	0.563	0.010	0.642	0.091	0.493	0.061	0.576	0.023	
32	38.40	0.57	0.588	0.016	0.663	0.095	0.518	0.054	0.601	0.029	
33	39.00	0.59	0.612	0.022	0.683	0.098	0.543	0.048	0.624	0.034	
34	39.00	0.61	0.612	0.004	0.683	0.080	0.543	0.066	0.624	0.016	
35	39.00	0.63	0.612	0.014	0.683	0.062	0.543	0.084	0.624	0.002	
36	39.80	0.64	0.612	0.032	0.683	0.044	0.543	0.102	0.624	0.020	
37	40.00	0.66	0.635	0.027	0.702	0.045	0.568	0.096	0.646	0.015	
38	40.30	0.68	0.635	0.045	0.702	0.028	0.568	0.114	0.646	0.033	
39	40.30	0.70	0.635	0.062	0.702	0.010	0.568	0.132	0.646	0.051	
40	40.90	0.71	0.635	0.080	0.702	0.008	0.568	0.150	0.646	0.069	
41	42.80	0.73	0.678	0.055	0.735	0.008	0.618	0.121	0.687	0.046	
42	43.50	0.75	0.698	0.053	0.750	0.005	0.642	0.116	0.706	0.044	
43	45.00	0.77	0.735	0.034	0.776	0.015	0.688	0.089	0.742	0.027	
44	46.00	0.79	0.753	0.035	0.788	0.009	0.710	0.086	0.758	0.029	
45	46.00	0.80	0.753	0.053	0.788	0.009	0.710	0.104	0.758	0.047	
46	46.00	0.82	0.753	0.071	0.788	0.027	0.710	0.122	0.758	0.064	
47	48.80	0.84	0.784	0.057	0.810	0.023	0.752	0.099	0.788	0.052	
48	52.00	0.86	0.837	0.022	0.846	0.005	0.825	0.045	0.838	0.020	
49	59.00	0.88	0.902	0.025	0.890	0.021	0.916	0.029	0.899	0.024	
50	60.50	0.89	0.909	0.014	0.895	0.008	0.926	0.021	0.906	0.013	
51	63.00	0.91	0.928	0.015	0.908	0.003	0.949	0.028	0.924	0.012	
52	71.70	0.93	0.961	0.031	0.934	0.010	0.984	0.050	0.956	0.027	
53	76.50	0.95	0.973	0.026	0.945	0.003	0.993	0.044	0.969	0.022	
54	86.00	0.96	0.988	0.023	0.961	0.001	0.999	0.034	0.984	0.020	
55	88.00	0.98	0.989	0.007	0.963	0.015	0.999	0.017	0.986	0.004	
D=máx F-Fo 			0.080		0.122		0.150		0.069		
			OK	OK	NO	OK					

Anexo 3 Tablas de precipitación máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno

Tabla 37: Precipitación máxima para la estación Lives

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN LIVES									
Tiempo de duración	Coeficiente	Precipitación máxima Pd(mm)							
		2	5	10	25	50	100	200	500
Hora									
24h	100%	36.24	50.30	59.71	71.69	80.68	89.72	98.87	111.23
18h	90%	32.62	45.27	53.74	64.52	72.61	80.75	88.98	100.11
12h	79%	28.63	39.74	47.17	56.64	63.74	70.88	78.11	87.87
8h	64%	23.19	32.19	38.21	45.88	51.64	57.42	63.28	71.19
6h	56%	20.29	28.17	33.44	40.15	45.18	50.24	55.37	62.29
5h	50%	18.12	25.15	29.86	35.85	40.34	44.86	49.44	55.62
4h	44%	15.95	22.13	26.27	31.54	35.50	39.48	43.50	48.94
3h	38%	13.77	19.11	22.69	27.24	30.66	34.09	37.57	42.27
2h	31%	11.23	15.59	18.51	22.22	25.01	27.81	30.65	34.48
1h	25%	9.06	12.58	14.93	17.92	20.17	22.43	24.72	27.81

Fuente: elaboración propia

Tabla 38: Precipitación máxima para la estación Cayalti

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN CAYALTI									
Tiempo de duración	Coeficiente	Precipitación máxima Pd(mm)							
		2	5	10	25	50	100	200	500
Hora									
24h	100%	9.45	21.03	33.00	54.72	76.93	105.45	141.70	204.26
18h	90%	8.51	18.93	29.70	49.25	69.24	94.91	127.53	183.83
12h	79%	7.47	16.61	26.07	43.23	60.77	83.31	111.94	161.37
8h	64%	6.05	13.46	21.12	35.02	49.24	67.49	90.69	130.73
6h	56%	5.29	11.78	18.48	30.64	43.08	59.05	79.35	114.39
5h	50%	4.73	10.52	16.50	27.36	38.47	52.73	70.85	102.13
4h	44%	4.16	9.25	14.52	24.08	33.85	46.40	62.35	89.87
3h	38%	3.59	7.99	12.54	20.79	29.23	40.07	53.85	77.62
2h	31%	2.93	6.52	10.23	16.96	23.85	32.69	43.93	63.32
1h	25%	2.36	5.26	8.25	13.68	19.23	26.36	35.43	51.07

Fuente: elaboración propia

Tabla 39: Precipitación máxima para la estación El Espinal

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN EL ESPINAL										
Hora	Tiempo de duración	Coficiente	Precipitación máxima Pd(mm)							
			2	5	10	25	50	100	200	500
24h		100 %	12.28	26.08	38.69	58.91	77.28	98.65	123.34	161.69
18h		90 %	11.05	23.47	34.82	53.02	69.55	88.79	111.01	145.52
12h		79 %	9.70	20.60	30.57	46.54	61.05	77.93	97.44	127.74
8h		64 %	7.86	16.69	24.76	37.70	49.46	63.14	78.94	103.48
6h		56 %	6.88	14.60	21.67	32.99	43.28	55.24	69.07	90.55
5h		50 %	6.14	13.04	19.35	29.46	38.64	49.33	61.67	80.85
4h		44 %	5.40	11.48	17.02	25.92	34.00	43.41	54.27	71.14
3h		38 %	4.67	9.91	14.70	22.39	29.37	37.49	46.87	61.44
2h		31 %	3.81	8.08	11.99	18.26	23.96	30.58	38.24	50.12
1h		25 %	3.07	6.52	9.67	14.73	19.32	24.66	30.84	40.42

Fuente: elaboración propia

Tabla 40: Precipitación máxima para la estación Niepos

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN NIEPOS										
Hora	Tiempo de duración	Coficiente	Precipitación máxima Pd(mm)							
			2	5	10	25	50	100	200	500
24h		100 %	31.45	50.36	62.89	78.72	90.46	102.11	113.72	129.04
18h		90 %	28.31	45.32	56.60	70.85	81.41	91.90	102.35	116.14
12h		79 %	24.85	39.78	49.68	62.19	71.46	80.67	89.84	101.94
8h		64 %	20.13	32.23	40.25	50.38	57.89	65.35	72.78	82.59
6h		56 %	17.61	28.20	35.22	44.08	50.66	57.18	63.68	72.26
5h		50 %	15.73	25.18	31.45	39.36	45.23	51.06	56.86	64.52
4h		44 %	13.84	22.16	27.67	34.64	39.80	44.93	50.04	56.78
3h		38 %	11.95	19.14	23.90	29.91	34.37	38.80	43.21	49.04
2h		31 %	9.75	15.61	19.50	24.40	28.04	31.65	35.25	40.00
1h		25 %	7.86	12.59	15.72	19.68	22.62	25.53	28.43	32.26

Fuente: elaboración propia

Tabla 41: Precipitación máxima para la estación Oyotun

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN OYOTUN									
Tiempo de duración	Coficiente	Precipitación máxima Pd(mm)							
Hora		2	5	10	25	50	100	200	500
24h	100%	34.06	48.96	59.20	72.49	82.61	92.92	103.48	117.89
18h	90%	30.65	44.06	53.28	65.24	74.35	83.63	93.13	106.10
12h	79%	26.91	38.68	46.77	57.27	65.26	73.41	81.75	93.13
8h	64%	21.80	31.33	37.89	46.39	52.87	59.47	66.23	75.45
6h	56%	19.07	27.42	33.15	40.59	46.26	52.04	57.95	66.02
5h	50%	17.03	24.48	29.60	36.25	41.31	46.46	51.74	58.95
4h	44%	14.99	21.54	26.05	31.90	36.35	40.88	45.53	51.87
3h	38%	12.94	18.60	22.50	27.55	31.39	35.31	39.32	44.80
2h	31%	10.56	15.18	18.35	22.47	25.61	28.81	32.08	36.55
1h	25%	8.52	12.24	14.80	18.12	20.65	23.23	25.87	29.47

Fuente: elaboración propia

Anexo 4 Tablas de intensidad máxima de las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno

Tabla 42: Intensidad máxima para la estación Lives

INTENSIDAD MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN LIVES									
Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)								
Hora	2	5	10	25	50	100	200	500	
24	1.51	2.10	2.49	2.99	3.36	3.74	4.12	4.63	
18	1.81	2.52	2.99	3.58	4.03	4.49	4.94	5.56	
12	2.39	3.31	3.93	4.72	5.31	5.91	6.51	7.32	
8	2.90	4.02	4.78	5.74	6.45	7.18	7.91	8.90	
6	3.38	4.69	5.57	6.69	7.53	8.37	9.23	10.38	
5	3.62	5.03	5.97	7.17	8.07	8.97	9.89	11.12	
4	3.99	5.53	6.57	7.89	8.87	9.87	10.88	12.24	
3	4.59	6.37	7.56	9.08	10.22	11.36	12.52	14.09	
2	5.62	7.80	9.26	11.11	12.51	13.91	15.32	17.24	
1	9.06	12.58	14.93	17.92	20.17	22.43	24.72	27.81	

Fuente: elaboración propia

Tabla 43: Intensidad máxima para la estación Cayalti

INTENSIDAD MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN CAYALTI

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Hora								
24	0.39	0.88	1.38	2.28	3.21	4.39	5.90	8.51
18	0.47	1.05	1.65	2.74	3.85	5.27	7.09	10.21
12	0.62	1.38	2.17	3.60	5.06	6.94	9.33	13.45
8	0.76	1.68	2.64	4.38	6.15	8.44	11.34	16.34
6	0.88	1.96	3.08	5.11	7.18	9.84	13.23	19.06
5	0.95	2.10	3.30	5.47	7.69	10.55	14.17	20.43
4	1.04	2.31	3.63	6.02	8.46	11.60	15.59	22.47
3	1.20	2.66	4.18	6.93	9.74	13.36	17.95	25.87
2	1.46	3.26	5.12	8.48	11.92	16.34	21.96	31.66
1	2.36	5.26	8.25	13.68	19.23	26.36	35.43	51.07

Fuente: elaboración propia

Tabla 44: Intensidad máxima para la estación El Espinal

INTENSIDAD MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN EL ESPINAL

Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
Hora								
24	0.51	1.09	1.61	2.45	3.22	4.11	5.14	6.74
18	0.61	1.30	1.93	2.95	3.86	4.93	6.17	8.08
12	0.81	1.72	2.55	3.88	5.09	6.49	8.12	10.64
8	0.98	2.09	3.10	4.71	6.18	7.89	9.87	12.94
6	1.15	2.43	3.61	5.50	7.21	9.21	11.51	15.09
5	1.23	2.61	3.87	5.89	7.73	9.87	12.33	16.17
4	1.35	2.87	4.26	6.48	8.50	10.85	13.57	17.79
3	1.56	3.30	4.90	7.46	9.79	12.50	15.62	20.48
2	1.90	4.04	6.00	9.13	11.98	15.29	19.12	25.06
1	3.07	6.52	9.67	14.73	19.32	24.66	30.84	40.42

Fuente: elaboración propia

Tabla 45: Intensidad máxima para la estación Niepos

INTENSIDAD MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN NIEPOS								
Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
Hora	2	5	10	25	50	100	200	500
24	1.31	2.10	2.62	3.28	3.77	4.25	4.74	5.38
18	1.57	2.52	3.14	3.94	4.52	5.11	5.69	6.45
12	2.07	3.32	4.14	5.18	5.96	6.72	7.49	8.50
8	2.52	4.03	5.03	6.30	7.24	8.17	9.10	10.32
6	2.94	4.70	5.87	7.35	8.44	9.53	10.61	12.04
5	3.15	5.04	6.29	7.87	9.05	10.21	11.37	12.90
4	3.46	5.54	6.92	8.66	9.95	11.23	12.51	14.19
3	3.98	6.38	7.97	9.97	11.46	12.93	14.40	16.35
2	4.87	7.81	9.75	12.20	14.02	15.83	17.63	20.00
1	7.86	12.59	15.72	19.68	22.62	25.53	28.43	32.26

Fuente: elaboración propia

Tabla 46: Intensidad máxima para la estación Oyotun

INTENSIDAD MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN OYOTUN								
Tiempo de duración	Intensidad de lluvia (mm/hr)							
Hora	2	5	10	25	50	100	200	500
24	1.42	2.04	2.47	3.02	3.44	3.87	4.31	4.91
18	1.70	2.45	2.96	3.62	4.13	4.65	5.17	5.89
12	2.24	3.22	3.90	4.77	5.44	6.12	6.81	7.76
8	2.72	3.92	4.74	5.80	6.61	7.43	8.28	9.43
6	3.18	4.57	5.53	6.77	7.71	8.67	9.66	11.00
5	3.41	4.90	5.92	7.25	8.26	9.29	10.35	11.79
4	3.75	5.39	6.51	7.97	9.09	10.22	11.38	12.97
3	4.31	6.20	7.50	9.18	10.46	11.77	13.11	14.93
2	5.28	7.59	9.18	11.24	12.80	14.40	16.04	18.27
1	8.52	12.24	14.80	18.12	20.65	23.23	25.87	29.47

Fuente: elaboración propia

Anexo 5 Tablas curvas IDF de las estaciones en estudio

Tabla 47: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Udima

Intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno

$$I = \frac{112.7879 * T^{0.267090}}{t^{0.53752}}$$

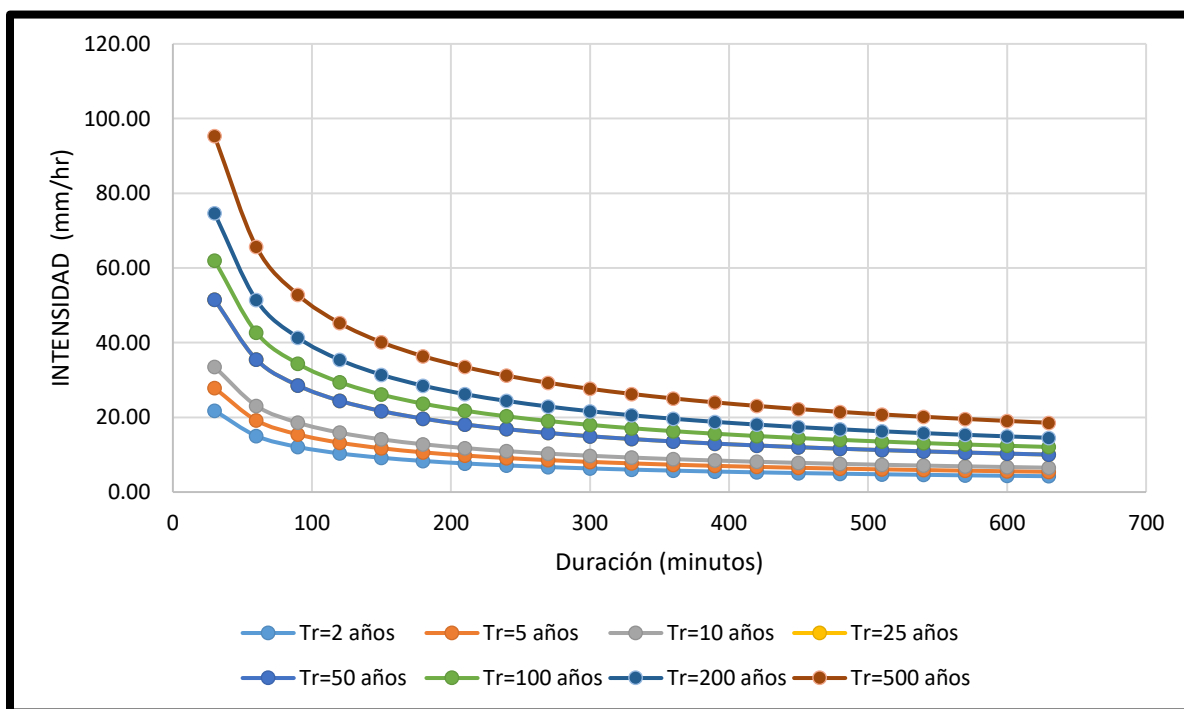
Donde:
 I = intensidad de precipitación (mm/hr)
 T = Período de Retorno (años)
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Período de retorno UDIMA

Duración de tormenta minutos	Tiempo de retorno							
	2	5	10	25	50	100	200	500
30	21.81	27.86	33.52	42.82	51.53	62.01	74.62	95.31
60	15.03	19.19	23.10	29.50	35.50	42.72	51.41	65.67
90	12.08	15.43	18.57	23.72	28.55	34.36	41.34	52.81
120	10.35	13.22	15.91	20.33	24.46	29.43	35.42	45.24
150	9.18	11.73	14.11	18.03	21.69	26.11	31.42	40.13
180	8.33	10.63	12.80	16.34	19.67	23.67	28.48	36.38
210	7.66	9.79	11.78	15.05	18.10	21.79	26.22	33.49
240	7.13	9.11	10.96	14.00	16.85	20.28	24.40	31.17
270	6.70	8.55	10.29	13.14	15.82	19.03	22.91	29.26
300	6.33	8.08	9.72	12.42	14.95	17.99	21.64	27.65
330	6.01	7.68	9.24	11.80	14.20	17.09	20.56	26.26
360	5.74	7.33	8.82	11.26	13.55	16.31	19.62	25.06
390	5.49	7.02	8.45	10.79	12.98	15.62	18.80	24.01
420	5.28	6.74	8.12	10.37	12.47	15.01	18.06	23.07
450	5.09	6.50	7.82	9.99	12.02	14.46	17.41	22.23
480	4.91	6.28	7.55	9.65	11.61	13.97	16.81	21.47
510	4.76	6.08	7.31	9.34	11.24	13.52	16.27	20.79
540	4.61	5.89	7.09	9.06	10.90	13.11	15.78	20.16
570	4.48	5.72	6.89	8.80	10.59	12.74	15.33	19.58
600	4.36	5.57	6.70	8.56	10.30	12.39	14.91	19.05
630	4.25	5.42	6.53	8.34	10.03	12.07	14.53	18.55

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 56: Curva IDF-Estación Udima



Fuente: elaboración propia

Tabla 48: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Lives

$$I = \frac{103.3611 * T^{0.150475}}{t^{0.53752}}$$

Donde:
 I = intensidad de precipitación (mm/hr)
 T = Periodo de Retorno (años)
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

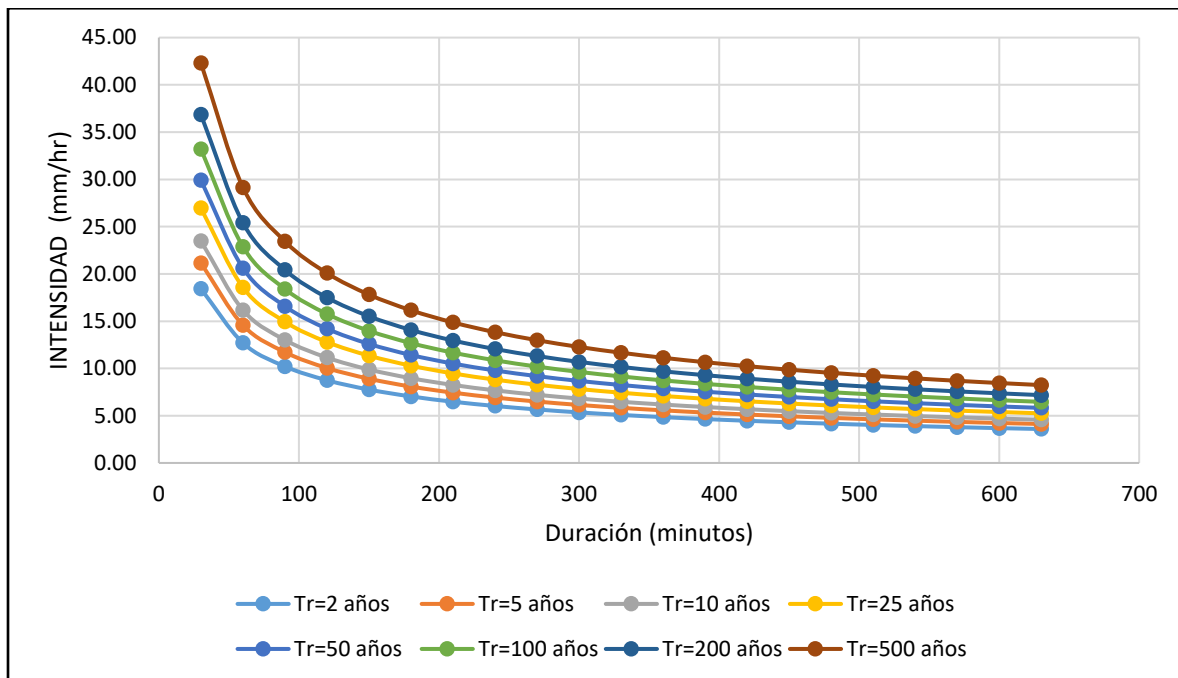
Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Duración de tormenta minutos	Tiempo de retorno							
	2	5	10	25	50	100	200	500
30	18.44	21.16	23.49	26.96	29.92	33.21	36.87	42.32
60	12.70	14.58	16.18	18.57	20.62	22.88	25.40	29.15
90	10.21	11.72	13.01	14.94	16.58	18.40	20.42	23.44
120	8.75	10.04	11.15	12.80	14.20	15.77	17.50	20.09
150	7.76	8.91	9.89	11.35	12.60	13.98	15.52	17.82
180	7.04	8.08	8.97	10.29	11.42	12.68	14.07	16.15
210	6.48	7.44	8.25	9.47	10.51	11.67	12.95	14.87
240	6.03	6.92	7.68	8.82	9.79	10.86	12.06	13.84
270	5.66	6.50	7.21	8.28	9.19	10.20	11.32	12.99
300	5.35	6.14	6.81	7.82	8.68	9.63	10.69	12.27
330	5.08	5.83	6.47	7.43	8.25	9.15	10.16	11.66
360	4.85	5.57	6.18	7.09	7.87	8.73	9.69	11.13
390	4.64	5.33	5.92	6.79	7.54	8.37	9.29	10.66
420	4.46	5.12	5.69	6.53	7.24	8.04	8.92	10.24
450	4.30	4.94	5.48	6.29	6.98	7.75	8.60	9.87
480	4.15	4.77	5.29	6.07	6.74	7.48	8.31	9.53
510	4.02	4.61	5.12	5.88	6.53	7.24	8.04	9.23
540	3.90	4.48	4.97	5.70	6.33	7.02	7.80	8.95
570	3.79	4.35	4.82	5.54	6.15	6.82	7.57	8.69
600	3.68	4.23	4.69	5.39	5.98	6.64	7.37	8.46
630	3.59	4.12	4.57	5.25	5.83	6.47	7.18	8.24

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 57: Curva IDF-Estación Lives



Fuente: elaboración propia

Tabla 49: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-El Espinal

$$I = \frac{50.6250 * T^{0.345932}}{t^{0.53752}}$$

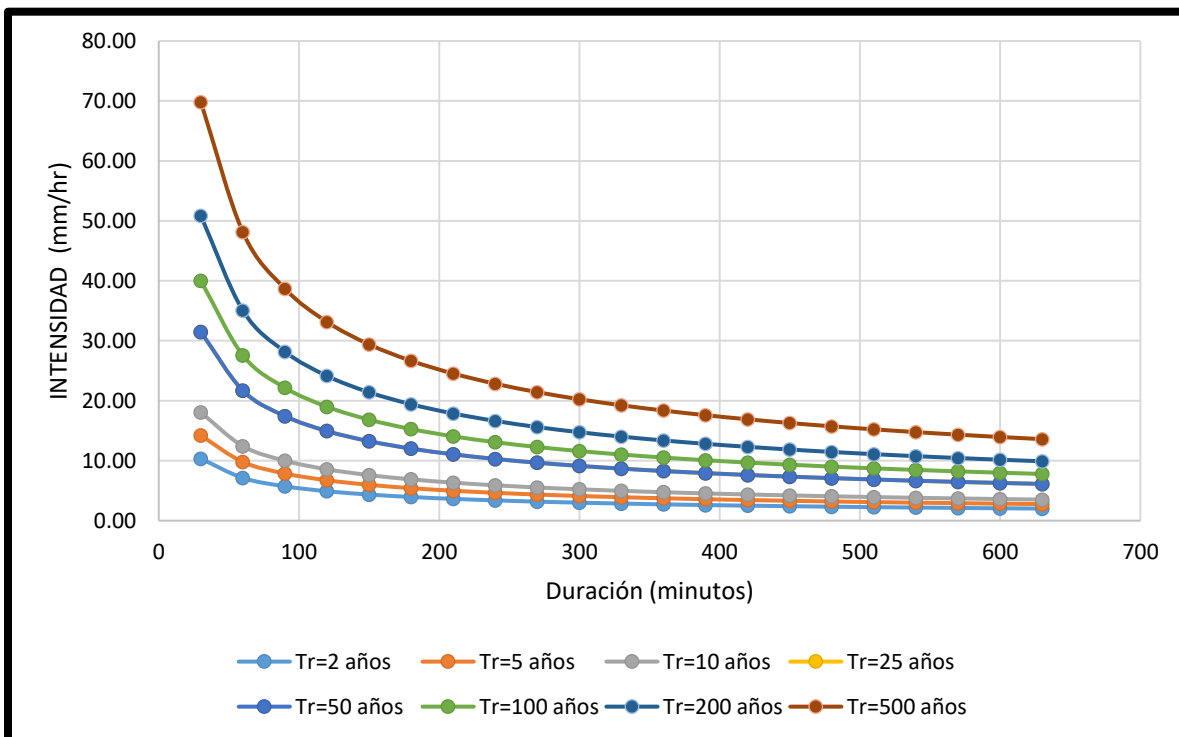
Donde:
 I = intensidad de precipitación (mm/hr)
 T = Periodo de Retorno (años)
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Duración de tormenta minutos	Tiempo de retorno							
	2	5	10	25	50	100	200	500
30	10.34	14.20	18.04	24.77	31.49	40.02	50.86	69.83
60	7.12	9.78	12.43	17.07	21.69	27.57	35.04	48.11
90	5.73	7.87	10.00	13.72	17.44	22.17	28.18	38.69
120	4.91	6.74	8.56	11.76	14.94	18.99	24.14	33.15
150	4.35	5.98	7.60	10.43	13.26	16.85	21.41	29.40
180	3.95	5.42	6.89	9.46	12.02	15.27	19.41	26.65
210	3.63	4.99	6.34	8.70	11.06	14.06	17.87	24.53
240	3.38	4.64	5.90	8.10	10.30	13.09	16.63	22.84
270	3.17	4.36	5.54	7.60	9.66	12.28	15.61	21.43
300	3.00	4.12	5.23	7.19	9.13	11.61	14.75	20.25
330	2.85	3.91	4.97	6.83	8.68	11.03	14.02	19.24
360	2.72	3.73	4.74	6.51	8.28	10.52	13.38	18.36
390	2.60	3.58	4.55	6.24	7.93	10.08	12.81	17.59
420	2.50	3.44	4.37	6.00	7.62	9.69	12.31	16.90
450	2.41	3.31	4.21	5.78	7.34	9.33	11.86	16.29
480	2.33	3.20	4.07	5.58	7.09	9.02	11.46	15.73
510	2.25	3.10	3.93	5.40	6.87	8.73	11.09	15.23
540	2.19	3.00	3.82	5.24	6.66	8.46	10.76	14.77
570	2.12	2.92	3.71	5.09	6.47	8.22	10.45	14.34
600	2.07	2.84	3.61	4.95	6.29	8.00	10.16	13.95
630	2.01	2.76	3.51	4.82	6.13	7.79	9.90	13.59

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 58: Curva IDF-Estación El Espinal



Fuente: elaboración propia

Tabla 50: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Cayalti

Donde:
 I = intensidad de precipitación (mm/hr)
 T = Periodo de Retorno (años)
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

$$I = \frac{38.1035 \cdot T^{0.435447}}{t^{0.53752}}$$

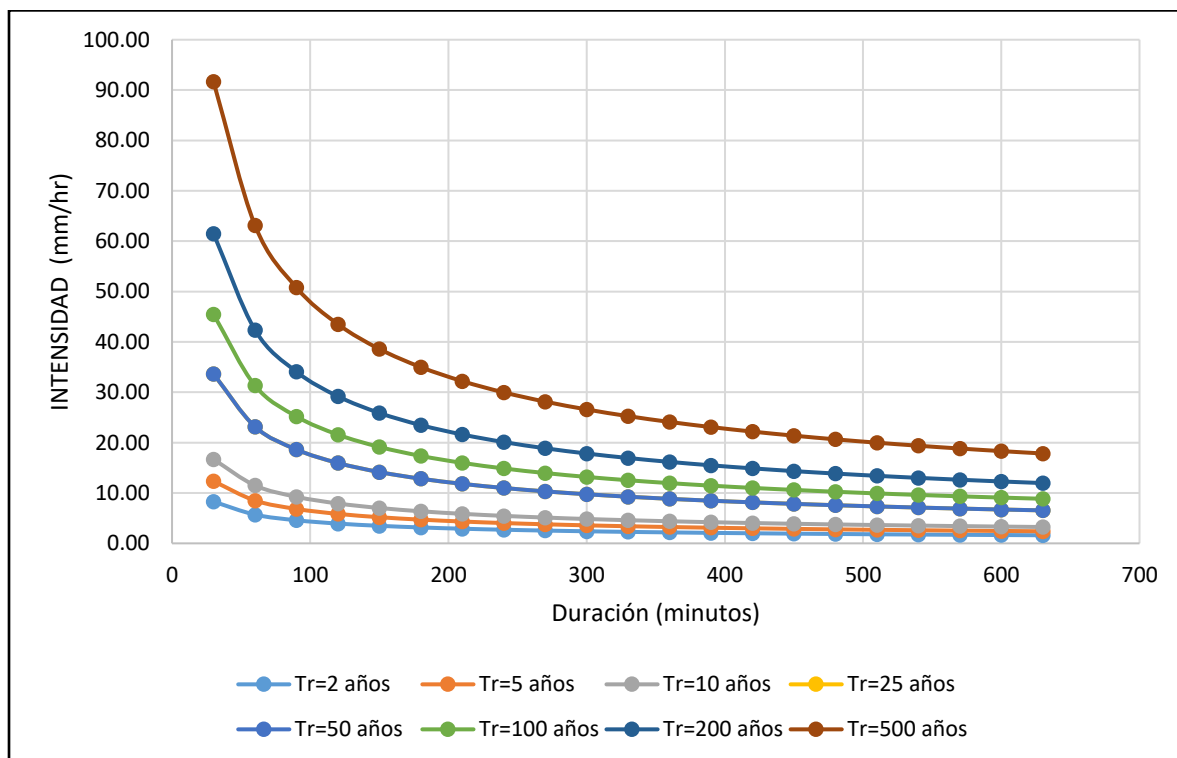
Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Duración de tormenta minutos	Tiempo de retorno							
	2	5	10	25	50	100	200	500
30	8.28	12.34	16.69	24.87	33.63	45.49	61.51	91.67
60	5.70	8.50	11.50	17.14	23.17	31.34	42.38	63.16
90	4.59	6.84	9.25	13.78	18.63	25.20	34.08	50.79
120	3.93	5.86	7.92	11.81	15.97	21.59	29.20	43.51
150	3.49	5.20	7.03	10.47	14.16	19.15	25.90	38.59
180	3.16	4.71	6.37	9.49	12.84	17.36	23.48	34.99
210	2.91	4.34	5.86	8.74	11.82	15.98	21.61	32.21
240	2.71	4.04	5.46	8.13	11.00	14.87	20.12	29.98
270	2.54	3.79	5.12	7.63	10.32	13.96	18.88	28.14
300	2.40	3.58	4.84	7.21	9.76	13.19	17.84	26.59
330	2.28	3.40	4.60	6.85	9.27	12.53	16.95	25.26
360	2.18	3.25	4.39	6.54	8.85	11.96	16.18	24.11
390	2.09	3.11	4.20	6.27	8.47	11.46	15.49	23.09
420	2.00	2.99	4.04	6.02	8.14	11.01	14.89	22.19
450	1.93	2.88	3.89	5.80	7.85	10.61	14.35	21.38
480	1.87	2.78	3.76	5.60	7.58	10.25	13.86	20.65
510	1.81	2.69	3.64	5.42	7.33	9.92	13.41	19.99
540	1.75	2.61	3.53	5.26	7.11	9.62	13.01	19.39
570	1.70	2.54	3.43	5.11	6.91	9.34	12.64	18.83
600	1.65	2.47	3.33	4.97	6.72	9.09	12.29	18.32
630	1.61	2.40	3.25	4.84	6.55	8.85	11.97	17.84

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 59: Curva IDF-Estación El Espinal



Fuente: elaboración propia

Tabla 51: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Niepos

$$I = \frac{104.7203 * T^{0.176426}}{t^{0.53752}}$$

Donde:
 I = intensidad de precipitación (mm/hr)
 T = Periodo de Retorno (años)
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

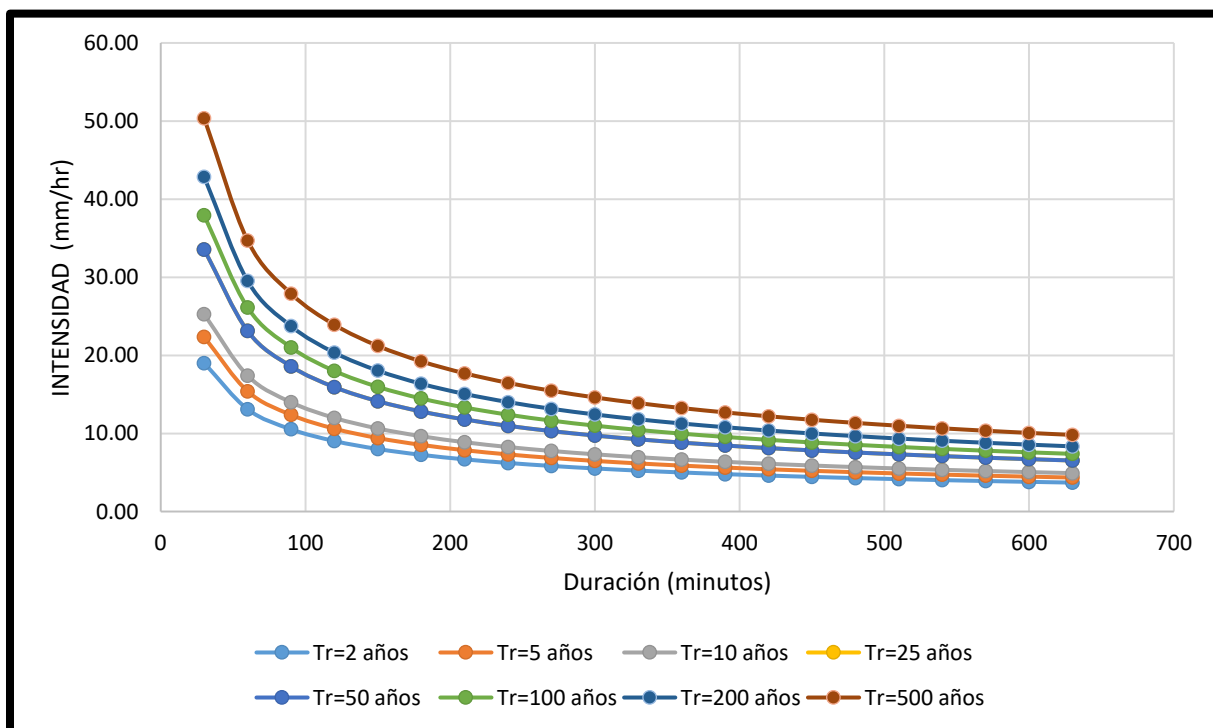
Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Duración de tormenta minutos	Tiempo de retorno							
	2	5	10	25	50	100	200	500
30	19.02	22.35	25.26	29.69	33.56	37.92	42.86	50.38
60	13.10	15.40	17.40	20.46	23.12	26.13	29.53	34.71
90	10.54	12.39	14.00	16.45	18.59	21.01	23.74	27.91
120	9.03	10.61	11.99	14.09	15.93	18.00	20.34	23.91
150	8.01	9.41	10.64	12.50	14.13	15.97	18.04	21.21
180	7.26	8.53	9.64	11.33	12.81	14.48	16.36	19.23
210	6.68	7.85	8.88	10.43	11.79	13.32	15.06	17.70
240	6.22	7.31	8.26	9.71	10.97	12.40	14.01	16.47
270	5.84	6.86	7.75	9.11	10.30	11.64	13.15	15.46
300	5.52	6.48	7.33	8.61	9.73	11.00	12.43	14.61
330	5.24	6.16	6.96	8.18	9.25	10.45	11.81	13.88
360	5.00	5.88	6.64	7.81	8.82	9.97	11.27	13.25
390	4.79	5.63	6.36	7.48	8.45	9.55	10.80	12.69
420	4.60	5.41	6.12	7.19	8.12	9.18	10.37	12.19
450	4.44	5.21	5.89	6.93	7.83	8.85	10.00	11.75
480	4.28	5.04	5.69	6.69	7.56	8.54	9.66	11.35
510	4.15	4.87	5.51	6.48	7.32	8.27	9.35	10.99
540	4.02	4.73	5.34	6.28	7.10	8.02	9.06	10.65
570	3.91	4.59	5.19	6.10	6.89	7.79	8.80	10.35
600	3.80	4.47	5.05	5.93	6.71	7.58	8.56	10.07
630	3.70	4.35	4.92	5.78	6.53	7.38	8.34	9.81

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 60: Curva IDF-Estación Niepos



Fuente: elaboración propia

Tabla 52: Tabla de intensidad-Tiempo de duración-Periodo de retorno-Niepos

$$I = \frac{100.1363 * T^{0.166618}}{t^{0.53752}}$$

Donde:
 I = intensidad de precipitación (mm/hr)
 T = Periodo de Retorno (años)
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

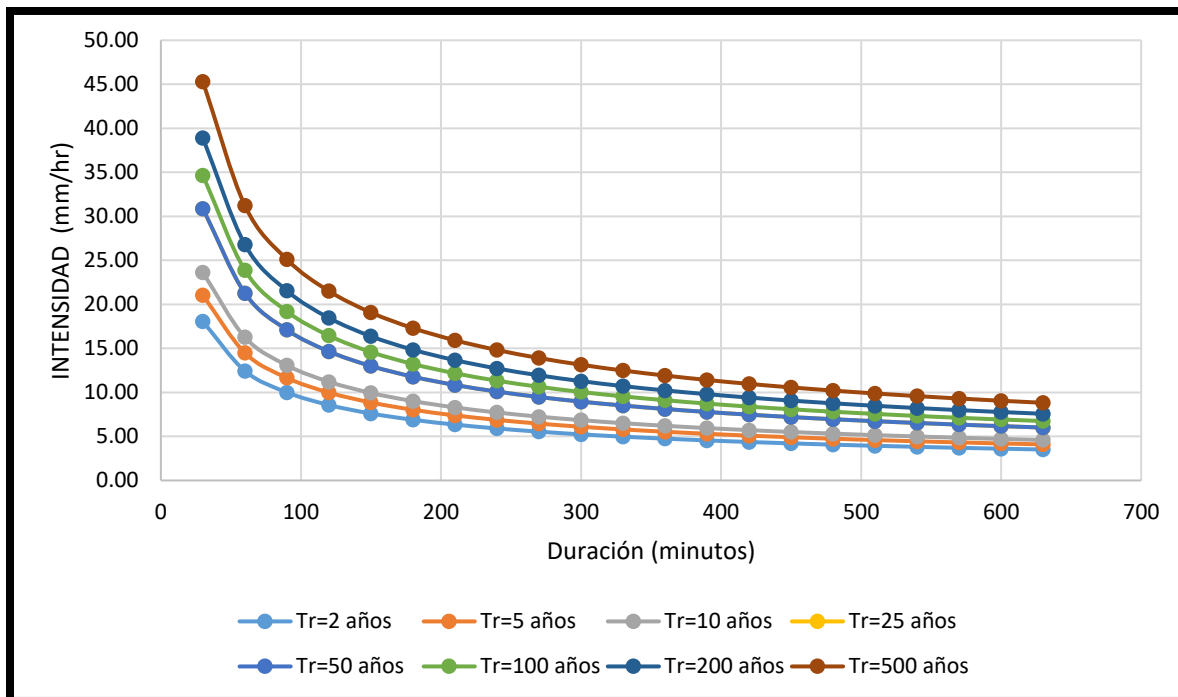
Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno

Duración de tormenta minutos	Tiempo de retorno							
	2	5	10	25	50	100	200	500
30	18.06	21.04	23.62	27.51	30.88	34.66	38.90	45.32
60	12.44	14.50	16.27	18.95	21.28	23.88	26.80	31.22
90	10.01	11.66	13.08	15.24	17.11	19.20	21.55	25.11
120	8.57	9.99	11.21	13.06	14.66	16.45	18.47	21.51
150	7.60	8.86	9.94	11.58	13.00	14.59	16.38	19.08
180	6.89	8.03	9.01	10.50	11.79	13.23	14.85	17.30
210	6.35	7.39	8.30	9.67	10.85	12.18	13.67	15.92
240	5.91	6.88	7.72	9.00	10.10	11.33	12.72	14.82
270	5.54	6.46	7.25	8.45	9.48	10.64	11.94	13.91
300	5.24	6.10	6.85	7.98	8.96	10.05	11.28	13.15
330	4.98	5.80	6.51	7.58	8.51	9.55	10.72	12.49
360	4.75	5.53	6.21	7.24	8.12	9.12	10.23	11.92
390	4.55	5.30	5.95	6.93	7.78	8.73	9.80	11.42
420	4.37	5.09	5.72	6.66	7.48	8.39	9.42	10.97
450	4.21	4.91	5.51	6.42	7.20	8.08	9.07	10.57
480	4.07	4.74	5.32	6.20	6.96	7.81	8.77	10.21
510	3.94	4.59	5.15	6.00	6.73	7.56	8.48	9.88
540	3.82	4.45	4.99	5.82	6.53	7.33	8.23	9.58
570	3.71	4.32	4.85	5.65	6.34	7.12	7.99	9.31
600	3.61	4.20	4.72	5.50	6.17	6.93	7.77	9.06
630	3.52	4.10	4.60	5.36	6.01	6.75	7.57	8.82

Tabla de intensidad - Tiempo de duración - Periodo de retorno (continuación...)

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 61: Curva IDF-Estación Oyotun



Fuente: elaboración propia

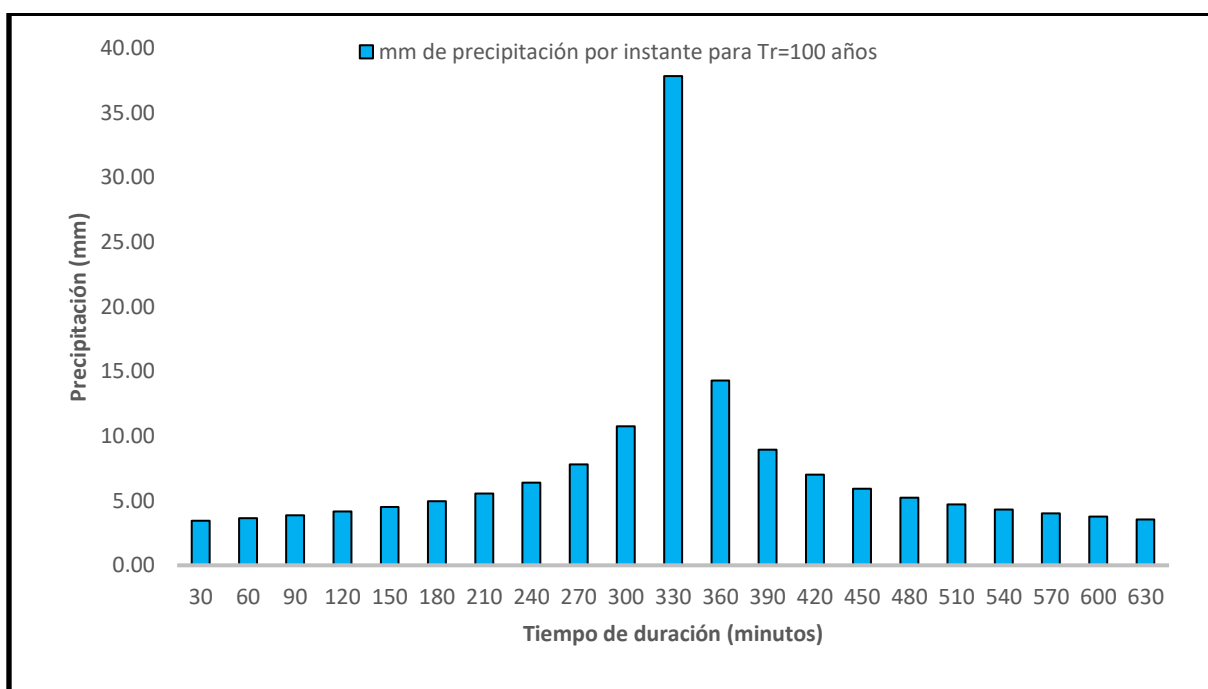
Anexo 6. Hietograma de diseño de precipitación por método de bloques alternos de las estaciones en estudio

Tabla 53: Hietograma de precipitaciones Tr=100 años, estación Udima

TR=	100	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	62.01	31.00	31.00	2.83	3.45
60	42.72	42.72	11.72	2.99	3.65
90	34.36	51.53	8.81	3.18	3.88
120	29.43	58.87	7.33	3.41	4.16
150	26.11	65.27	6.40	3.69	4.50
180	23.67	71.01	5.74	4.05	4.95
210	21.79	76.26	5.25	4.54	5.54
240	20.28	81.11	4.86	5.25	6.40
270	19.03	85.65	4.54	6.40	7.81
300	17.99	89.93	4.28	8.81	10.75
330	17.09	93.98	4.05	31.00	37.84
360	16.31	97.84	3.86	11.72	14.30
390	15.62	101.53	3.69	7.33	8.95
420	15.01	105.07	3.54	5.74	7.01
450	14.46	108.48	3.41	4.86	5.93
480	13.97	111.77	3.29	4.28	5.22
510	13.52	114.94	3.18	3.86	4.71
540	13.11	118.02	3.08	3.54	4.32
570	12.74	121.01	2.99	3.29	4.01
600	12.39	123.92	2.90	3.08	3.76
630	12.07	126.74	2.83	2.90	3.55
SUMA			126.74		154.67
PRESEPITACIÓN DE DISEÑO			154.67		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 62: Hietograma Tr=100 años, estación Udima



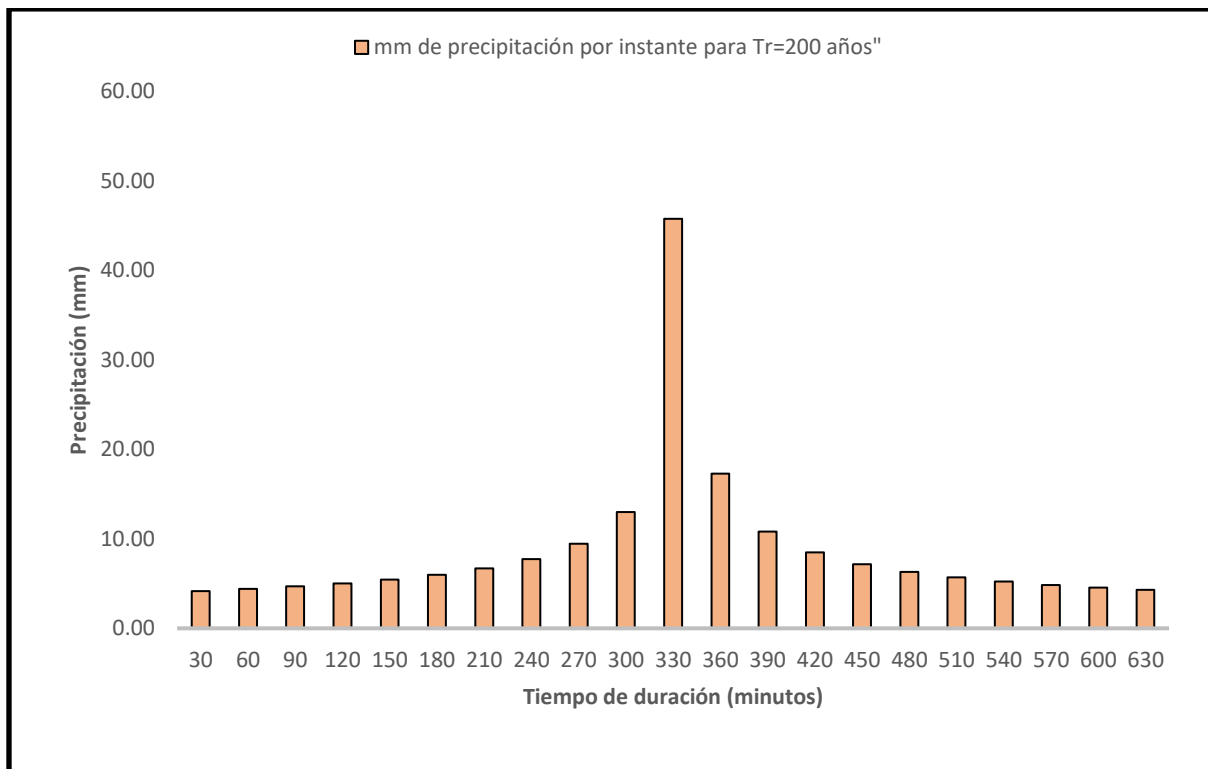
Fuente: elaboración propia

Tabla 54: Hietograma Tr=200 años, estación Udimá

TR=	200	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	74.62	37.31	37.31	3.40	4.17	
60	51.41	51.41	14.10	3.60	4.41	
90	41.34	62.01	10.60	3.82	4.69	
120	35.42	70.84	8.82	4.10	5.03	
150	31.42	78.54	7.70	4.44	5.45	
180	28.48	85.45	6.91	4.88	5.98	
210	26.22	91.76	6.31	5.46	6.70	
240	24.40	97.61	5.85	6.31	7.74	
270	22.91	103.07	5.46	7.70	9.45	
300	21.64	108.22	5.15	10.60	13.01	
330	20.56	113.10	4.88	37.31	45.76	
360	19.62	117.74	4.64	14.10	17.29	
390	18.80	122.18	4.44	8.82	10.82	
420	18.06	126.44	4.26	6.91	8.48	
450	17.41	130.54	4.10	5.85	7.17	
480	16.81	134.50	3.96	5.15	6.31	
510	16.27	138.32	3.82	4.64	5.70	
540	15.78	142.03	3.71	4.26	5.23	
570	15.33	145.62	3.60	3.96	4.85	
600	14.91	149.12	3.50	3.71	4.54	
630	14.53	152.52	3.40	3.50	4.29	
		SUMA	152.52			187.08
		PREIPITACIÓN DE DISEÑO	187.08			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 63: Hietograma Tr=200 años, estación Udimá



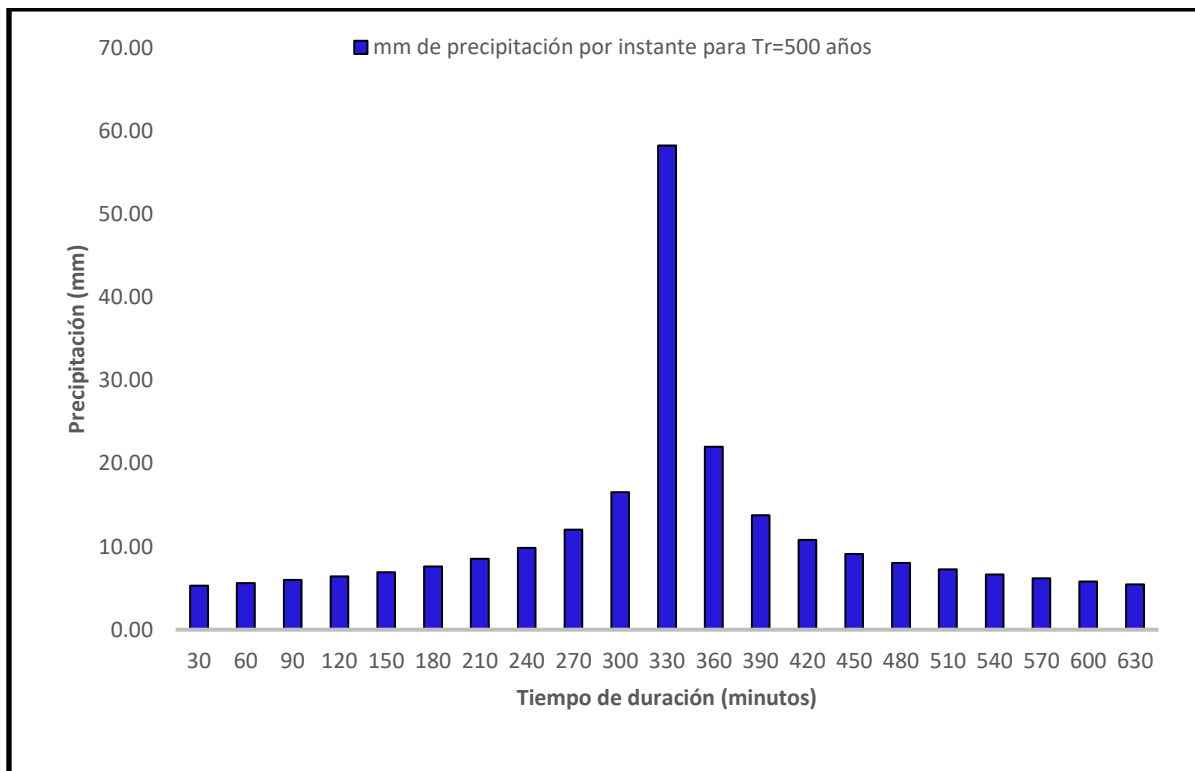
Fuente: elaboración propia

Tabla 55: Hietograma Tr=500 años, estación Udima

TR=	500	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	95.31	47.66	47.66	4.35	5.31
60	65.67	65.67	18.01	4.59	5.61
90	52.81	79.21	13.54	4.88	5.97
120	45.24	90.48	11.27	5.24	6.40
150	40.13	100.32	9.84	5.67	6.93
180	36.38	109.14	8.83	6.23	7.61
210	33.49	117.21	8.07	6.98	8.53
240	31.17	124.67	7.47	8.07	9.86
270	29.26	131.65	6.98	9.84	12.02
300	27.65	138.23	6.57	13.54	16.56
330	26.26	144.46	6.23	47.66	58.26
360	25.06	150.39	5.93	18.01	22.02
390	24.01	156.06	5.67	11.27	13.78
420	23.07	161.50	5.44	8.83	10.79
450	22.23	166.74	5.24	7.47	9.13
480	21.47	171.79	5.05	6.57	8.04
510	20.79	176.67	4.88	5.93	7.25
540	20.16	181.41	4.73	5.44	6.65
570	19.58	186.00	4.59	5.05	6.18
600	19.05	190.47	4.47	4.73	5.79
630	18.55	194.81	4.35	4.47	5.46
		SUMA	194.81		238.14
		PRECIPITACIÓN DE DISEÑO	238.14		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 64: Hietograma Tr=500 años, estación Udima



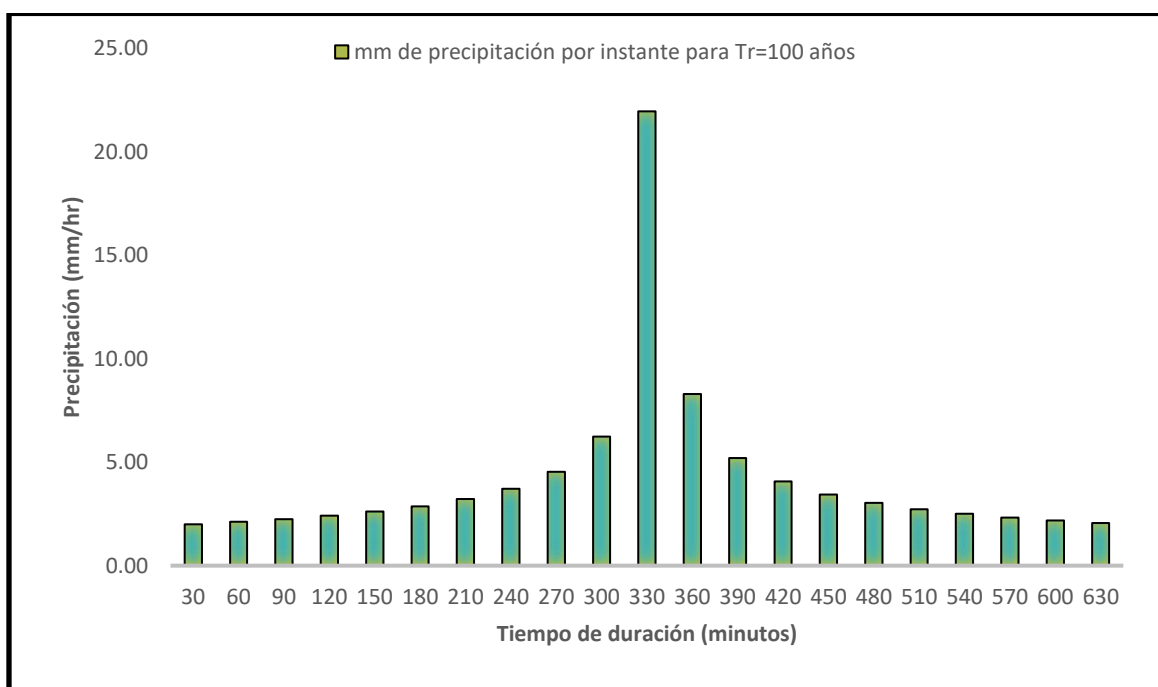
Fuente: elaboración propia

Tabla 56: Hietograma Tr=100 años, estación Lives

TR	100	AÑOS					
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRA MA	HIETOGRAMA NORMALIZADO		
30	33.21	16.61	16.61	21	1.51		2.00
60	22.88	22.88	6.28	19	1.60		2.12
90	18.40	27.60	4.72	17	1.70		2.25
120	15.77	31.53	3.93	15	1.82		2.41
150	13.98	34.96	3.43	13	1.98		2.61
180	12.68	38.03	3.08	11	2.17		2.87
210	11.67	40.84	2.81	9	2.43		3.21
240	10.86	43.45	2.60	7	2.81		3.71
270	10.20	45.88	2.43	5	3.43		4.53
300	9.63	48.17	2.29	3	4.72		6.24
330	9.15	50.34	2.17	1	16.61		21.95
360	8.73	52.41	2.07	2	6.28		8.29
390	8.37	54.38	1.98	4	3.93		5.19
420	8.04	56.28	1.90	6	3.08		4.06
450	7.75	58.10	1.82	8	2.60		3.44
480	7.48	59.86	1.76	10	2.29		3.03
510	7.24	61.57	1.70	12	2.07		2.73
540	7.02	63.22	1.65	14	1.90		2.51
570	6.82	64.82	1.60	16	1.76		2.33
600	6.64	66.37	1.56	18	1.65		2.18
630	6.47	67.89	1.51	20	1.56		2.06
	SUMA		67.89				89.72
	PREIPITACIÓN DE DISEÑO		89.72				

Fuente: elaboración propia

Ilustración 65: Hietograma Tr=100 años, estación Lives



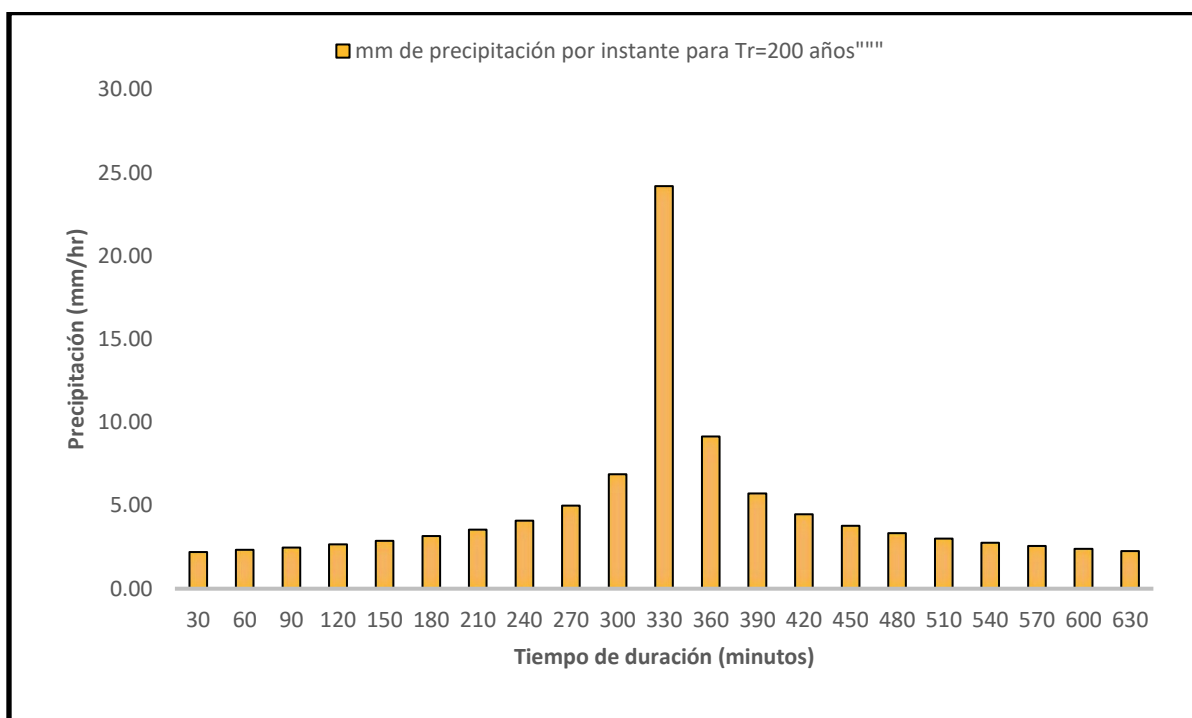
Fuente: elaboración propia

Tabla 57: Hietograma Tr=200 años, estación Lives

TR	200	AÑOS					
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRA MA	HIETOGRAMA NORMALIZADO		
30	36.87	18.43	18.43	21	1.68		2.21
60	25.40	25.40	6.97	19	1.78		2.33
90	20.42	30.64	5.24	17	1.89		2.48
120	17.50	35.00	4.36	15	2.03		2.66
150	15.52	38.80	3.80	13	2.19		2.88
180	14.07	42.22	3.41	11	2.41		3.16
210	12.95	45.33	3.12	9	2.70		3.54
240	12.06	48.22	2.89	7	3.12		4.09
270	11.32	50.92	2.70	5	3.80		4.99
300	10.69	53.46	2.54	3	5.24		6.87
330	10.16	55.87	2.41	1	18.43		24.19
360	9.69	58.17	2.29	2	6.97		9.14
390	9.29	60.36	2.19	4	4.36		5.72
420	8.92	62.47	2.10	6	3.41		4.48
450	8.60	64.49	2.03	8	2.89		3.79
480	8.31	66.45	1.95	10	2.54		3.34
510	8.04	68.34	1.89	12	2.29		3.01
540	7.80	70.17	1.83	14	2.10		2.76
570	7.57	71.94	1.78	16	1.95		2.56
600	7.37	73.67	1.73	18	1.83		2.40
630	7.18	75.35	1.68	20	1.73		2.27
		SUMA	75.35				98.87
		PRESEPITACIÓN DE DISEÑO	98.87				

Fuente: elaboración propia

Ilustración 66: Hietograma Tr=200 años, estación Lives



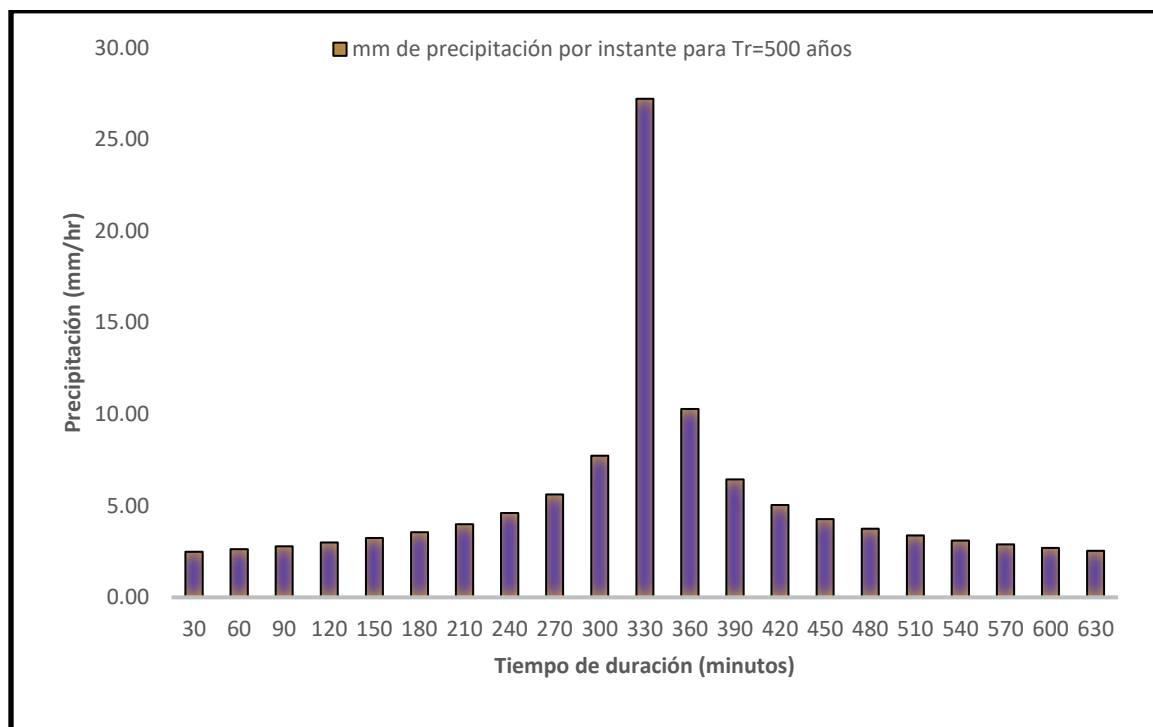
Fuente: elaboración propia

Tabla 58: Hietograma Tr=500 años, estación Lives

TR	500	AÑOS		HIETOGRA	HIETOGRAMA	
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	MA	NORMALIZADO	
30	42.32	21.16	21.16	21	1.93	2.48
60	29.15	29.15	8.00	19	2.04	2.62
90	23.44	35.17	6.01	17	2.17	2.79
120	20.09	40.17	5.00	15	2.32	2.99
150	17.82	44.54	4.37	13	2.52	3.24
180	16.15	48.46	3.92	11	2.77	3.56
210	14.87	52.04	3.58	9	3.10	3.99
240	13.84	55.35	3.31	7	3.58	4.60
270	12.99	58.45	3.10	5	4.37	5.62
300	12.27	61.37	2.92	3	6.01	7.73
330	11.66	64.13	2.77	1	21.16	27.21
360	11.13	66.77	2.63	2	8.00	10.28
390	10.66	69.29	2.52	4	5.00	6.44
420	10.24	71.70	2.42	6	3.92	5.04
450	9.87	74.03	2.32	8	3.31	4.26
480	9.53	76.27	2.24	10	2.92	3.75
510	9.23	78.44	2.17	12	2.63	3.39
540	8.95	80.54	2.10	14	2.42	3.11
570	8.69	82.58	2.04	16	2.24	2.88
600	8.46	84.56	1.98	18	2.10	2.70
630	8.24	86.49	1.93	20	1.98	2.55
		SUMA	86.49			111.23
		PRESEPITACIÓN DE DISEÑO	111.23			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 67: Hietograma Tr=500 años, estación Lives



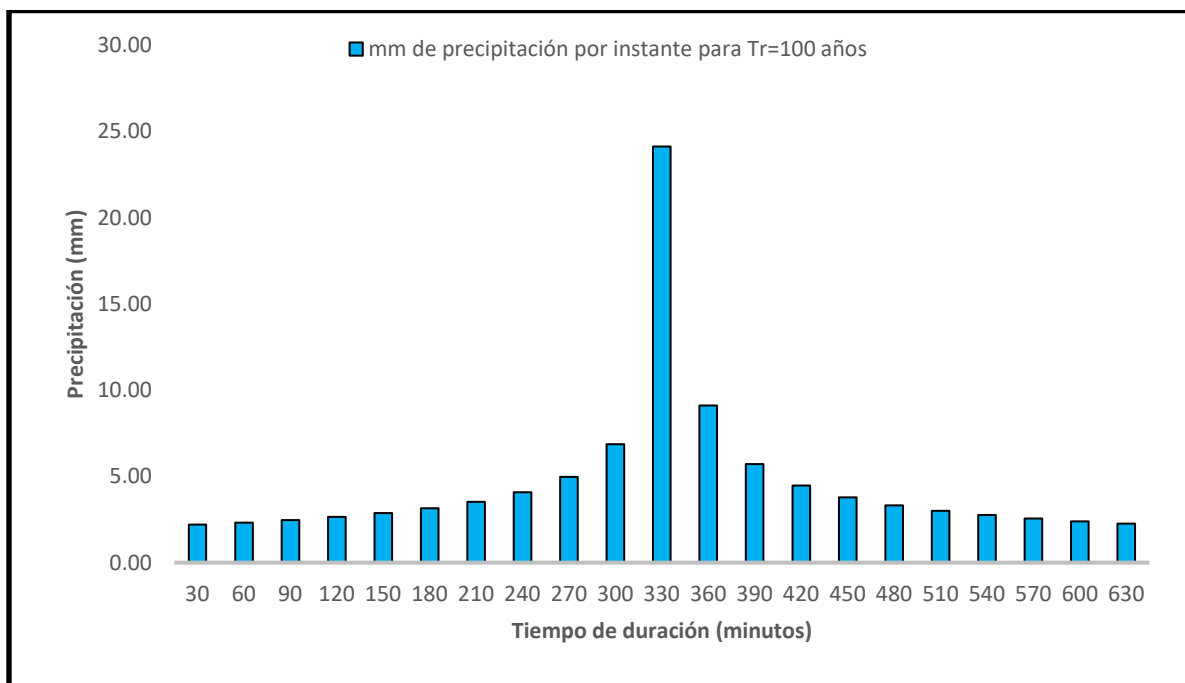
Fuente: elaboración propia

Tabla 59: Hietograma Tr=100 años, estación El Espinal

TR	100	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	40.02	20.01	20.01	1.82	2.20	
60	27.57	27.57	7.56	1.93	2.33	
90	22.17	33.26	5.69	2.05	2.47	
120	18.99	37.99	4.73	2.20	2.65	
150	16.85	42.12	4.13	2.38	2.87	
180	15.27	45.82	3.71	2.62	3.15	
210	14.06	49.21	3.39	2.93	3.53	
240	13.09	52.34	3.13	3.39	4.08	
270	12.28	55.28	2.93	4.13	4.98	
300	11.61	58.04	2.76	5.69	6.86	
330	11.03	60.65	2.62	20.01	24.13	
360	10.52	63.14	2.49	7.56	9.12	
390	10.08	65.52	2.38	4.73	5.71	
420	9.69	67.81	2.28	3.71	4.47	
450	9.33	70.01	2.20	3.13	3.78	
480	9.02	72.13	2.12	2.76	3.33	
510	8.73	74.18	2.05	2.49	3.00	
540	8.46	76.16	1.99	2.28	2.76	
570	8.22	78.09	1.93	2.12	2.56	
600	8.00	79.97	1.87	1.99	2.40	
630	7.79	81.79	1.82	1.87	2.26	
	SUMA		81.79		98.65	
	PRESEPITACIÓN DE DISEÑO		98.65			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 68: Hietograma Tr=100 años, estación El Espinal



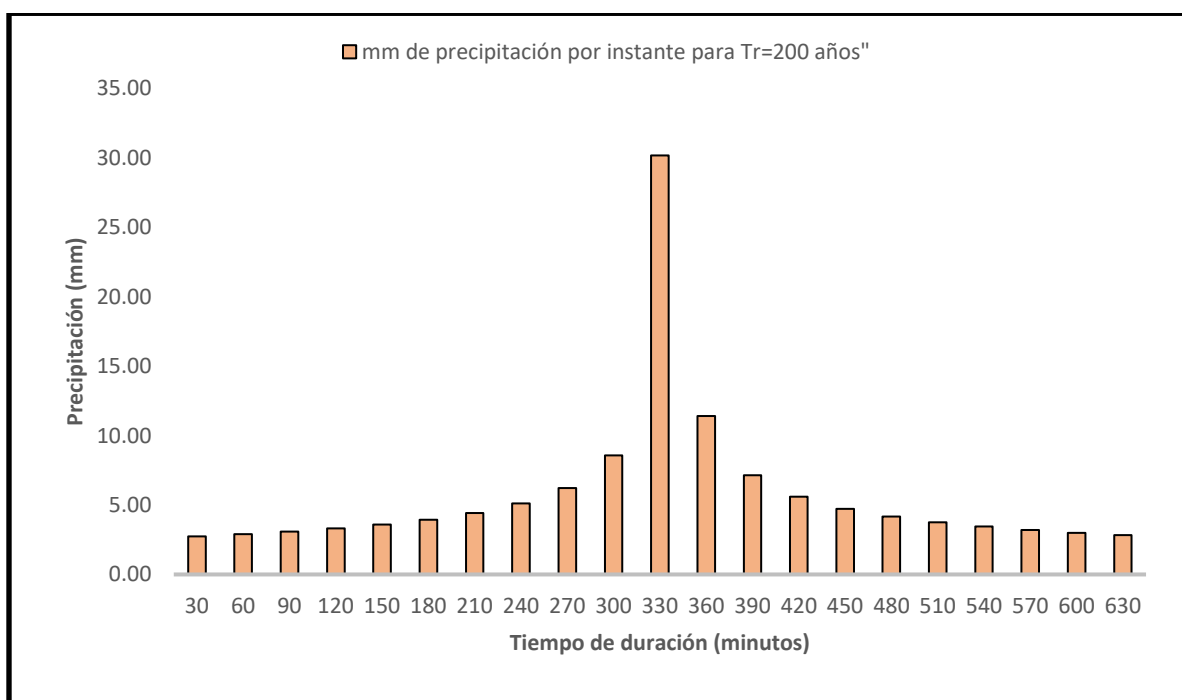
Fuente: elaboración propia

Tabla 60: Hietograma Tr=200 años, estación El Espinal

TR	200	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	50.86	25.43	25.43	2.32	2.75
60	35.04	35.04	9.61	2.45	2.91
90	28.18	42.27	7.23	2.61	3.09
120	24.14	48.28	6.01	2.79	3.32
150	21.41	53.53	5.25	3.03	3.59
180	19.41	58.24	4.71	3.32	3.94
210	17.87	62.54	4.30	3.72	4.42
240	16.63	66.53	3.98	4.30	5.11
270	15.61	70.25	3.72	5.25	6.23
300	14.75	73.76	3.51	7.23	8.57
330	14.02	77.09	3.32	25.43	30.17
360	13.38	80.25	3.17	9.61	11.40
390	12.81	83.28	3.03	6.01	7.14
420	12.31	86.18	2.90	4.71	5.59
450	11.86	88.97	2.79	3.98	4.73
480	11.46	91.67	2.70	3.51	4.16
510	11.09	94.28	2.61	3.17	3.76
540	10.76	96.80	2.53	2.90	3.45
570	10.45	99.25	2.45	2.70	3.20
600	10.16	101.64	2.38	2.53	3.00
630	9.90	103.96	2.32	2.38	2.83
SUMA			103.96		123.34
PRECIPITACIÓN DE DISEÑO			123.34		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 69: Hietograma Tr=200 años, estación El Espinal



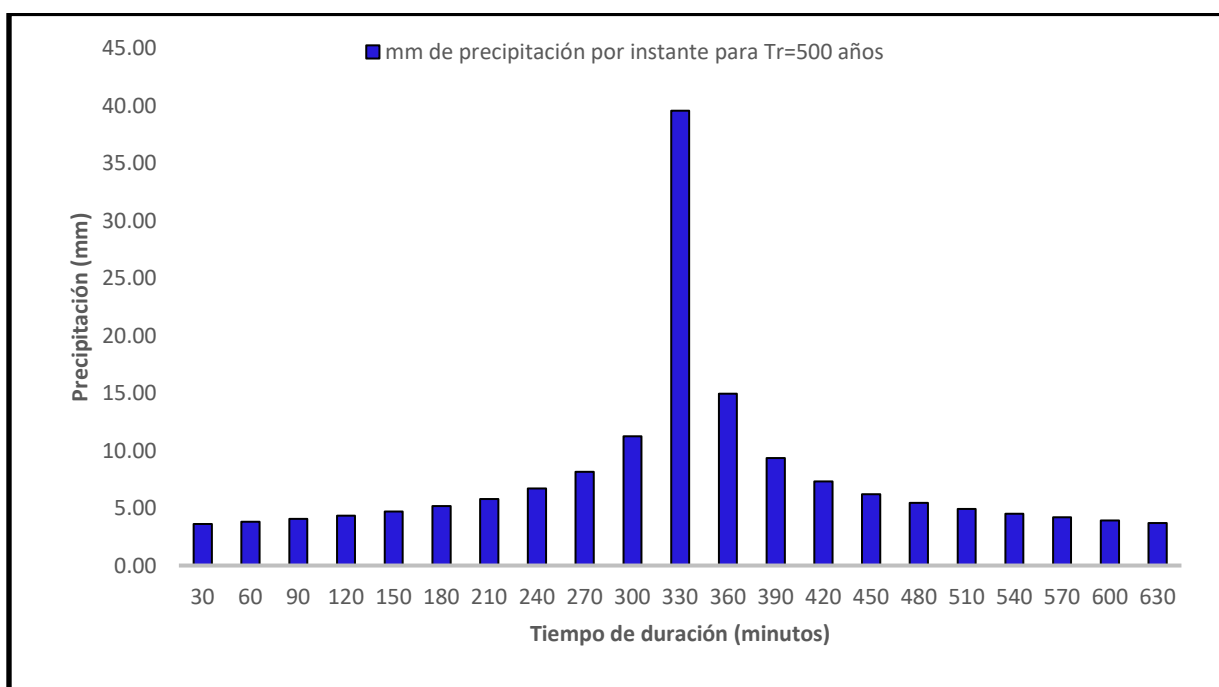
Fuente: elaboración propia

Tabla 61: Hietograma Tr=500 años, estación El Espinal

TR	500	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	69.83	34.91	34.91	3.18	3.61	
60	48.11	48.11	13.19	3.37	3.81	
90	38.69	58.03	9.92	3.58	4.05	
120	33.15	66.29	8.26	3.84	4.35	
150	29.40	73.50	7.21	4.16	4.71	
180	26.65	79.96	6.47	4.56	5.17	
210	24.53	85.87	5.91	5.11	5.79	
240	22.84	91.34	5.47	5.91	6.69	
270	21.43	96.46	5.11	7.21	8.16	
300	20.25	101.27	4.82	9.92	11.24	
330	19.24	105.84	4.56	34.91	39.55	
360	18.36	110.18	4.35	13.19	14.95	
390	17.59	114.34	4.16	8.26	9.36	
420	16.90	118.32	3.99	6.47	7.33	
450	16.29	122.16	3.84	5.47	6.20	
480	15.73	125.86	3.70	4.82	5.46	
510	15.23	129.44	3.58	4.35	4.92	
540	14.77	132.91	3.47	3.99	4.52	
570	14.34	136.27	3.37	3.70	4.19	
600	13.95	139.54	3.27	3.47	3.93	
630	13.59	142.73	3.18	3.27	3.71	
		SUMA	142.73			161.69
		PRESEPITACIÓN DE DISEÑO	161.69			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 70: Hietograma Tr=500 años, estación El Espinal



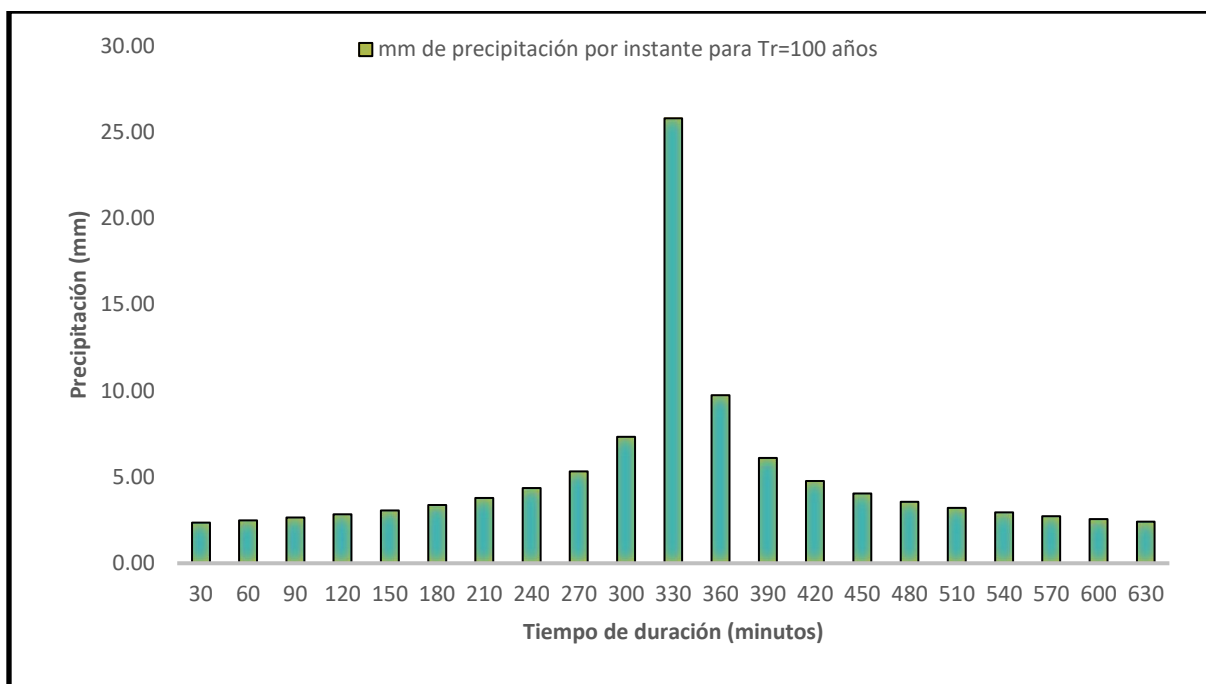
Fuente: elaboración propia

Tabla 62: Hietograma Tr=100 años, estación Cayalti

TR	100	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	45.49	22.74	22.74	2.07	2.35
60	31.34	31.34	8.59	2.19	2.49
90	25.20	37.80	6.46	2.33	2.64
120	21.59	43.18	5.38	2.50	2.83
150	19.15	47.87	4.69	2.71	3.07
180	17.36	52.09	4.21	2.97	3.37
210	15.98	55.93	3.85	3.33	3.78
240	14.87	59.50	3.56	3.85	4.37
270	13.96	62.83	3.33	4.69	5.32
300	13.19	65.97	3.14	6.46	7.33
330	12.53	68.94	2.97	22.74	25.80
360	11.96	71.77	2.83	8.59	9.75
390	11.46	74.48	2.71	5.38	6.10
420	11.01	77.07	2.60	4.21	4.78
450	10.61	79.57	2.50	3.56	4.04
480	10.25	81.98	2.41	3.14	3.56
510	9.92	84.31	2.33	2.83	3.21
540	9.62	86.57	2.26	2.60	2.95
570	9.34	88.76	2.19	2.41	2.73
600	9.09	90.90	2.13	2.26	2.56
630	8.85	92.97	2.07	2.13	2.42
SUMA			92.97		
PRESEPITACIÓN DE DISEÑO			105.45		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 71: Hietograma Tr=100 años, estación Cayalti



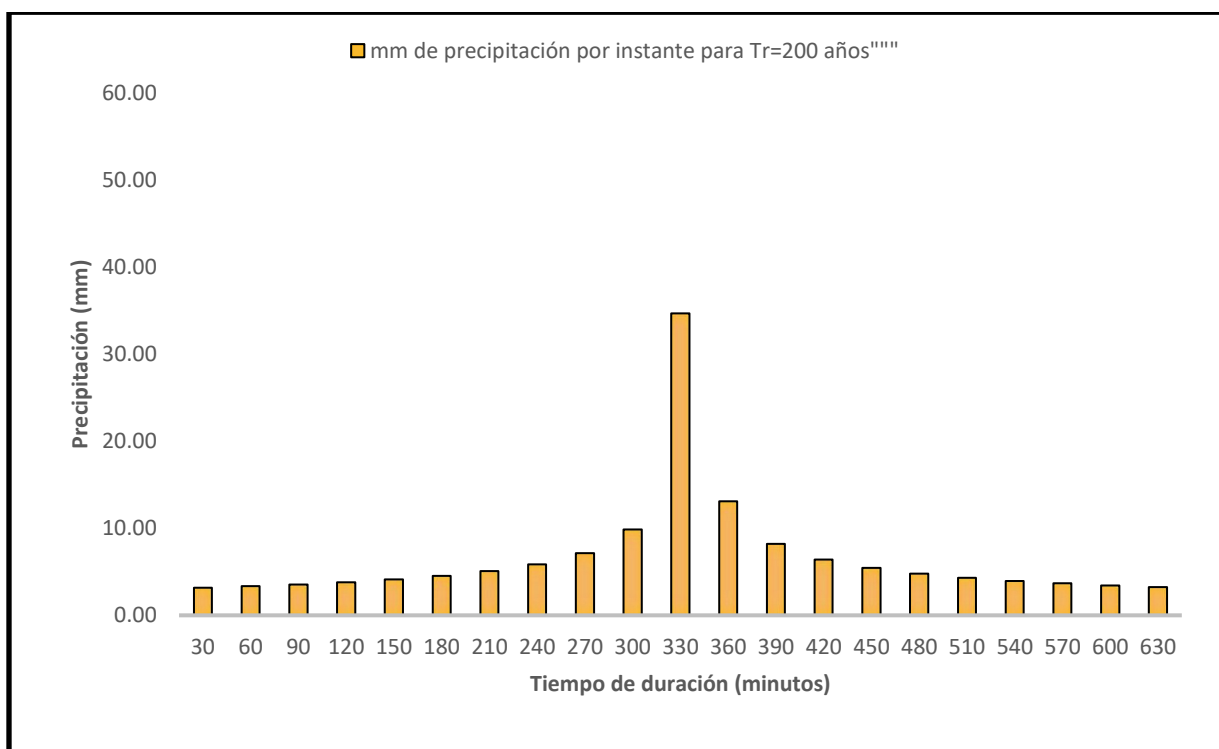
Fuente: elaboración propia

Tabla 63: Hietograma Tr=200 años, estación Cayalti

TR	200	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	61.51	30.76	30.76	2.81	3.16	
60	42.38	42.38	11.62	2.96	3.34	
90	34.08	51.12	8.74	3.15	3.55	
120	29.20	58.39	7.27	3.38	3.81	
150	25.90	64.74	6.35	3.66	4.13	
180	23.48	70.44	5.70	4.02	4.53	
210	21.61	75.64	5.20	4.50	5.08	
240	20.12	80.46	4.82	5.20	5.87	
270	18.88	84.97	4.50	6.35	7.15	
300	17.84	89.21	4.24	8.74	9.85	
330	16.95	93.23	4.02	30.76	34.66	
360	16.18	97.06	3.83	11.62	13.10	
390	15.49	100.72	3.66	7.27	8.20	
420	14.89	104.23	3.51	5.70	6.42	
450	14.35	107.61	3.38	4.82	5.43	
480	13.86	110.87	3.26	4.24	4.78	
510	13.41	114.02	3.15	3.83	4.31	
540	13.01	117.07	3.05	3.51	3.96	
570	12.64	120.04	2.96	3.26	3.67	
600	12.29	122.92	2.88	3.05	3.44	
630	11.97	125.73	2.81	2.88	3.25	
		SUMA	125.73			141.70
		PRESEPITACIÓN DE DISEÑO	141.70			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 72: Hietograma Tr=200 años, estación Cayalti



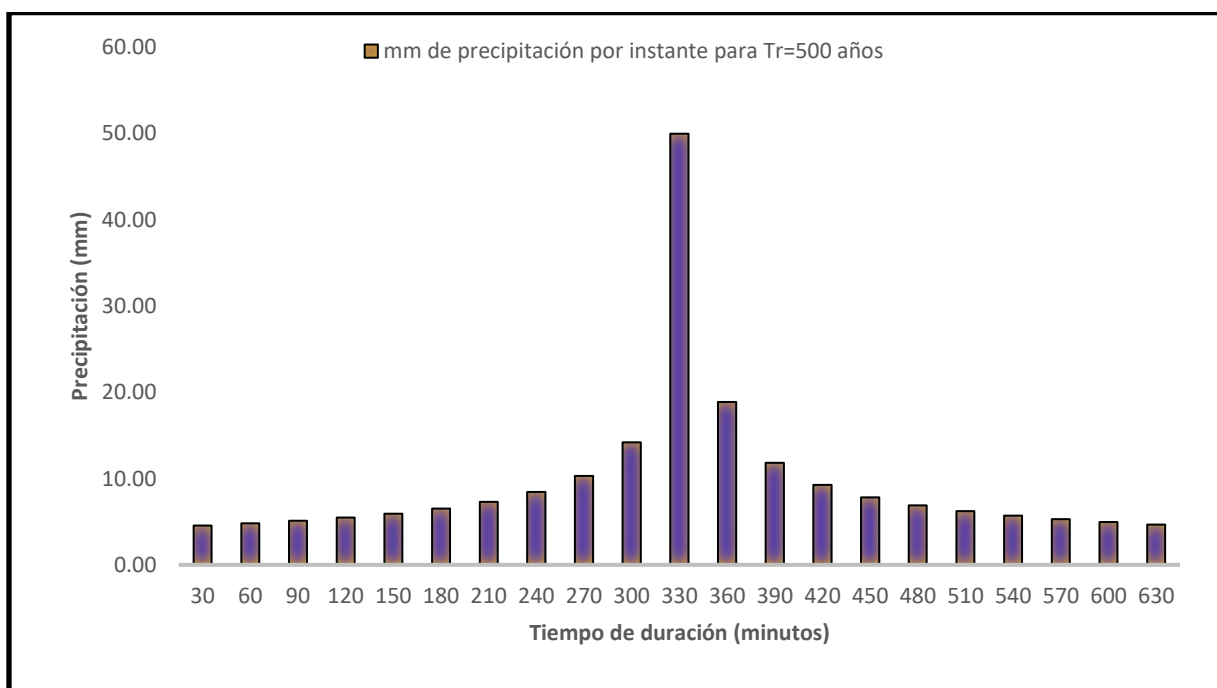
Fuente: elaboración propia

Tabla 64: Hietograma Tr=500 años, estación Cayalti

TR	500	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	91.67	45.84	45.84	4.18	4.56	
60	63.16	63.16	17.32	4.42	4.82	
90	50.79	76.18	13.03	4.70	5.12	
120	43.51	87.03	10.84	5.04	5.49	
150	38.59	96.49	9.46	5.45	5.95	
180	34.99	104.98	8.49	5.99	6.53	
210	32.21	112.73	7.76	6.71	7.32	
240	29.98	119.91	7.18	7.76	8.46	
270	28.14	126.63	6.71	9.46	10.31	
300	26.59	132.95	6.32	13.03	14.20	
330	25.26	138.94	5.99	45.84	49.97	
360	24.11	144.65	5.71	17.32	18.88	
390	23.09	150.10	5.45	10.84	11.82	
420	22.19	155.33	5.23	8.49	9.25	
450	21.38	160.37	5.04	7.18	7.83	
480	20.65	165.23	4.86	6.32	6.89	
510	19.99	169.93	4.70	5.71	6.22	
540	19.39	174.48	4.55	5.23	5.71	
570	18.83	178.90	4.42	4.86	5.30	
600	18.32	183.19	4.29	4.55	4.96	
630	17.84	187.37	4.18	4.29	4.68	
SUMA			187.37		204.26	
PREIPITACIÓN DE DISEÑO			204.26			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 73: Hietograma Tr=500 años, estación Cayalti



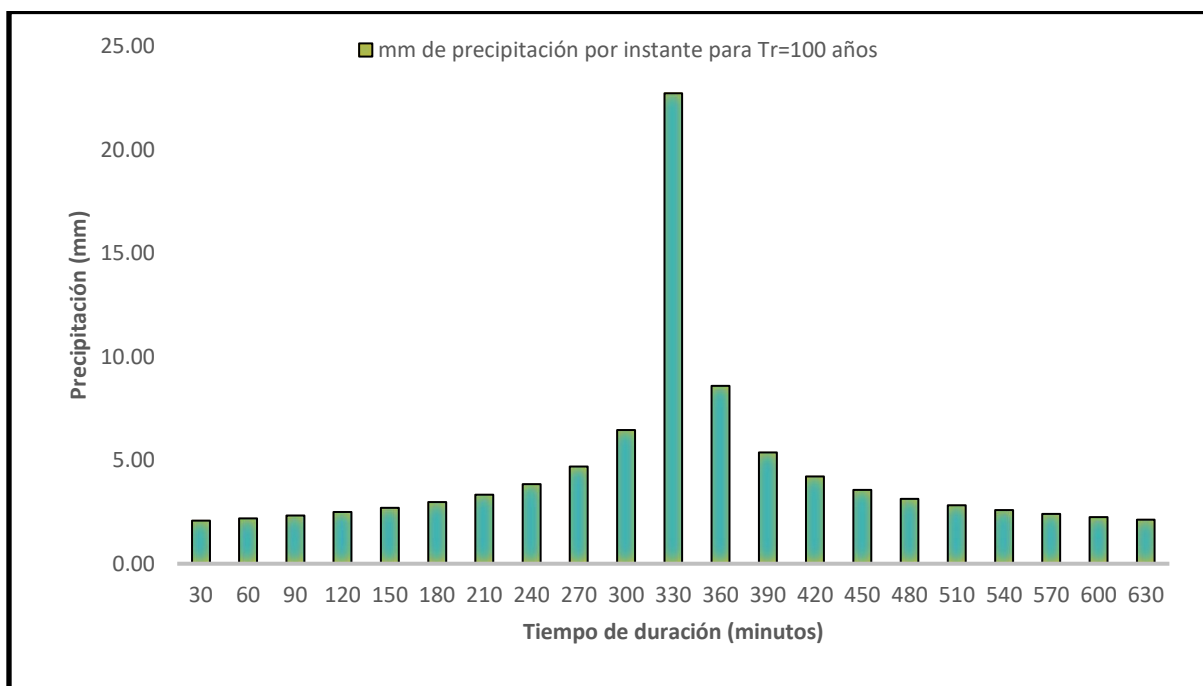
Fuente: elaboración propia

Tabla 65: Hietograma Tr=100 años, estación Oyotun

TR=	100	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	34.66	17.33	17.33	1.58	2.07
60	23.88	23.88	6.55	1.67	2.19
90	19.20	28.81	4.93	1.78	2.33
120	16.45	32.90	4.10	1.90	2.50
150	14.59	36.48	3.58	2.06	2.71
180	13.23	39.69	3.21	2.27	2.97
210	12.18	42.62	2.93	2.54	3.33
240	11.33	45.34	2.72	2.93	3.85
270	10.64	47.88	2.54	3.58	4.69
300	10.05	50.27	2.39	4.93	6.46
330	9.55	52.53	2.27	17.33	22.73
360	9.12	54.69	2.16	6.55	8.59
390	8.73	56.75	2.06	4.10	5.38
420	8.39	58.73	1.98	3.21	4.21
450	8.08	60.64	1.90	2.72	3.56
480	7.81	62.47	1.84	2.39	3.14
510	7.56	64.25	1.78	2.16	2.83
540	7.33	65.97	1.72	1.98	2.60
570	7.12	67.64	1.67	1.84	2.41
600	6.93	69.26	1.62	1.72	2.26
630	6.75	70.85	1.58	1.62	2.13
		SUMA	70.85		92.92
		PREIPITACIÓN DE DISEÑO	92.92		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 74: Hietograma Tr=100 años, estación Oyotun



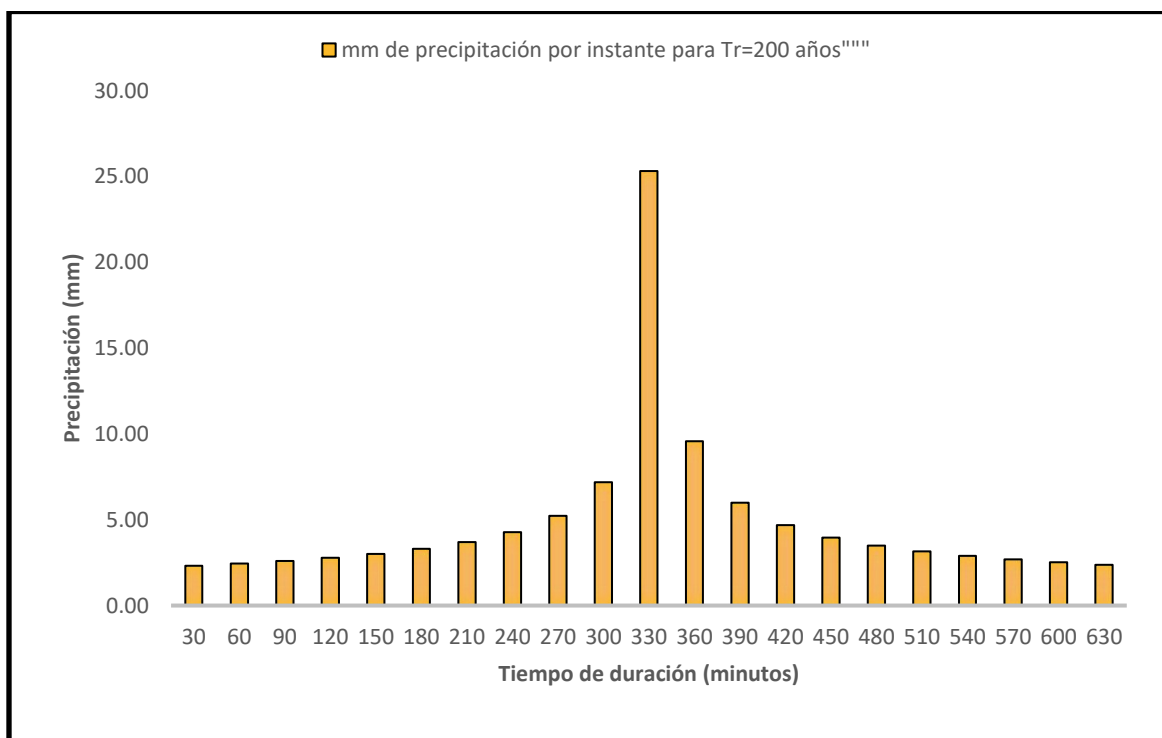
Fuente: elaboración propia

Tabla 66: Hietograma Tr=200 años, estación Oyotun

TR=	200	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	38.90	19.45	19.45	1.77	2.31	
60	26.80	26.80	7.35	1.87	2.44	
90	21.55	32.33	5.53	1.99	2.59	
120	18.47	36.93	4.60	2.14	2.78	
150	16.38	40.95	4.02	2.31	3.01	
180	14.85	44.55	3.60	2.54	3.31	
210	13.67	47.84	3.29	2.85	3.71	
240	12.72	50.89	3.05	3.29	4.28	
270	11.94	53.74	2.85	4.02	5.22	
300	11.28	56.42	2.68	5.53	7.19	
330	10.72	58.96	2.54	19.45	25.31	
360	10.23	61.39	2.42	7.35	9.57	
390	9.80	63.70	2.31	4.60	5.99	
420	9.42	65.92	2.22	3.60	4.69	
450	9.07	68.06	2.14	3.05	3.97	
480	8.77	70.12	2.06	2.68	3.49	
510	8.48	72.12	1.99	2.42	3.15	
540	8.23	74.05	1.93	2.22	2.89	
570	7.99	75.92	1.87	2.06	2.68	
600	7.77	77.74	1.82	1.93	2.51	
630	7.57	79.52	1.77	1.82	2.37	
		SUMA	79.52		103.48	
		PREIPITACIÓN DE DISEÑO	103.48			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 75: Hietograma Tr=200 años, estación Oyotun



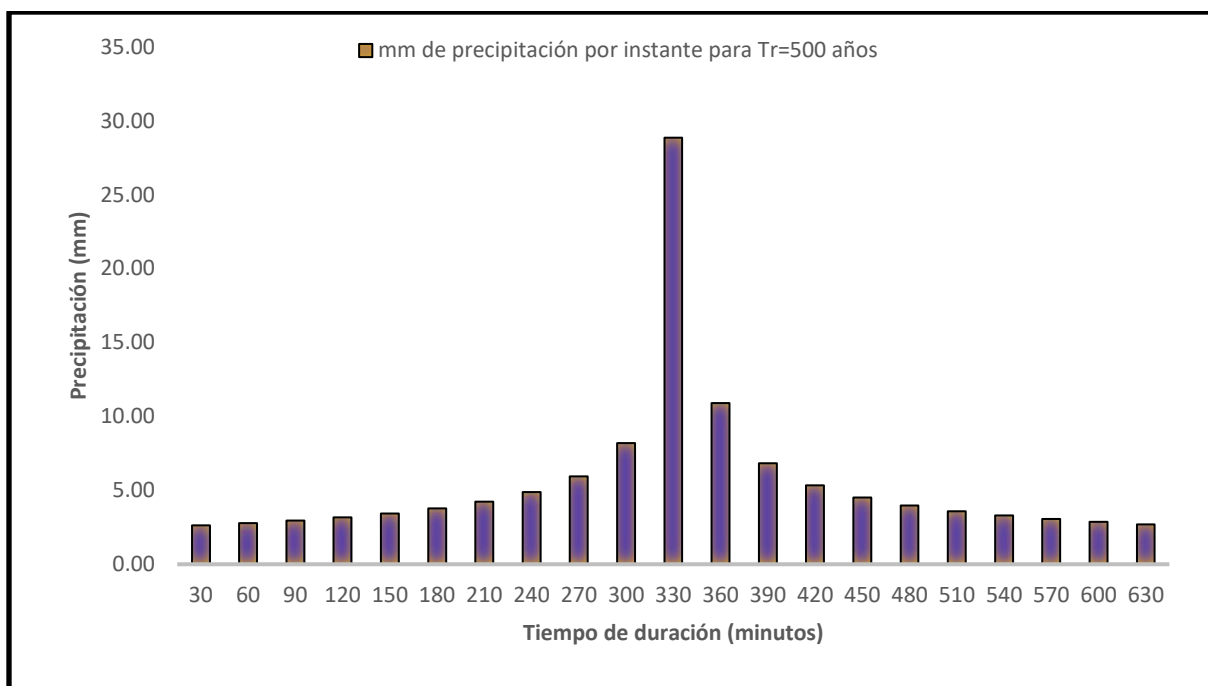
Fuente: elaboración propia

Tabla 67: Hietograma Tr=500 años, estación Oyotun

TR=	500	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	45.32	22.66	22.66	2.07	2.63	
60	31.22	31.22	8.56	2.18	2.78	
90	25.11	37.66	6.44	2.32	2.96	
120	21.51	43.02	5.36	2.49	3.17	
150	19.08	47.70	4.68	2.70	3.43	
180	17.30	51.90	4.20	2.96	3.77	
210	15.92	55.73	3.83	3.32	4.22	
240	14.82	59.28	3.55	3.83	4.88	
270	13.91	62.60	3.32	4.68	5.95	
300	13.15	65.73	3.13	6.44	8.20	
330	12.49	68.69	2.96	22.66	28.84	
360	11.92	71.51	2.82	8.56	10.90	
390	11.42	74.21	2.70	5.36	6.82	
420	10.97	76.80	2.59	4.20	5.34	
450	10.57	79.28	2.49	3.55	4.52	
480	10.21	81.69	2.40	3.13	3.98	
510	9.88	84.01	2.32	2.82	3.59	
540	9.58	86.26	2.25	2.59	3.29	
570	9.31	88.44	2.18	2.40	3.06	
600	9.06	90.57	2.12	2.25	2.86	
630	8.82	92.63	2.07	2.12	2.70	
		SUMA	92.63		117.89	
		PRESEPITACIÓN DE DISEÑO	117.89			

Fuente: elaboración propia

Ilustración 76: Hietograma Tr=500 años, estación Oyotun



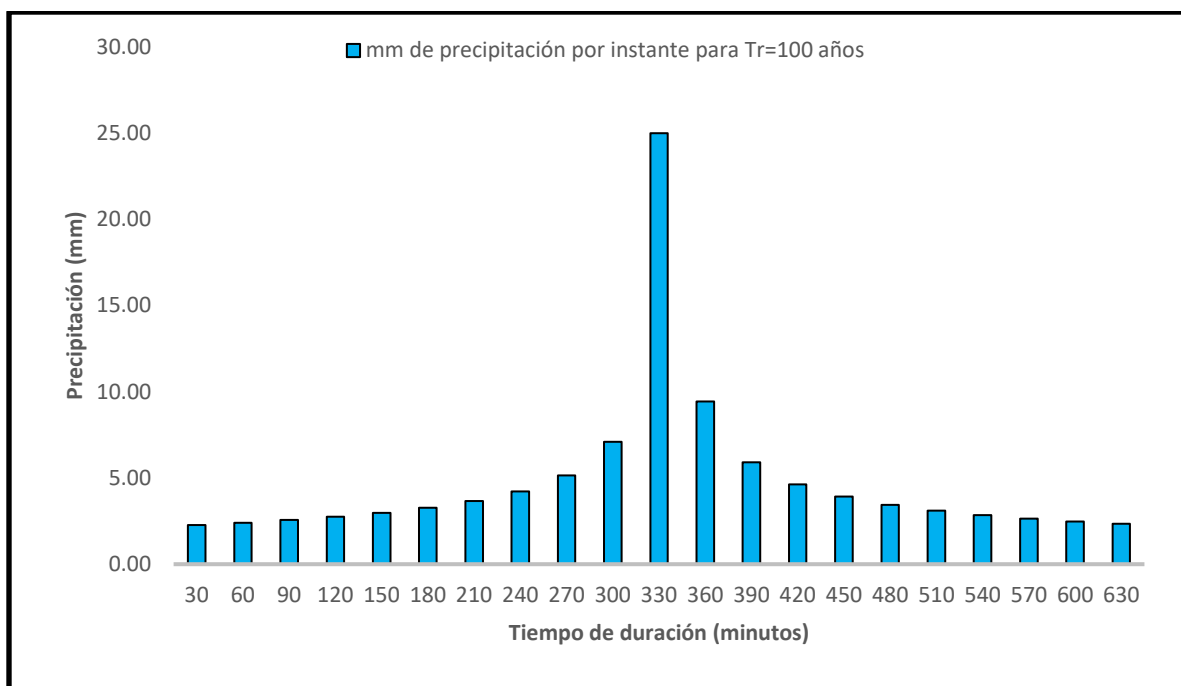
Fuente: elaboración propia

Tabla 68: Hietograma Tr=100 años, estación Niepos

TR=	100	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	37.92	18.96	18.96	1.73	2.28
60	26.13	26.13	7.17	1.83	2.41
90	21.01	31.52	5.39	1.94	2.56
120	18.00	36.00	4.48	2.08	2.74
150	15.97	39.91	3.91	2.26	2.97
180	14.48	43.43	3.51	2.48	3.27
210	13.32	46.63	3.21	2.78	3.66
240	12.40	49.61	2.97	3.21	4.23
270	11.64	52.38	2.78	3.91	5.16
300	11.00	55.00	2.62	5.39	7.10
330	10.45	57.48	2.48	18.96	24.98
360	9.97	59.84	2.36	7.17	9.44
390	9.55	62.09	2.26	4.48	5.91
420	9.18	64.26	2.17	3.51	4.63
450	8.85	66.34	2.08	2.97	3.91
480	8.54	68.35	2.01	2.62	3.45
510	8.27	70.30	1.94	2.36	3.11
540	8.02	72.18	1.88	2.17	2.85
570	7.79	74.01	1.83	2.01	2.65
600	7.58	75.78	1.78	1.88	2.48
630	7.38	77.51	1.73	1.78	2.34
		SUMA	77.51		102.11
		PREIPITACIÓN DE DISEÑO	102.11		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 77 Hietograma Tr=100 años, estación Niepos



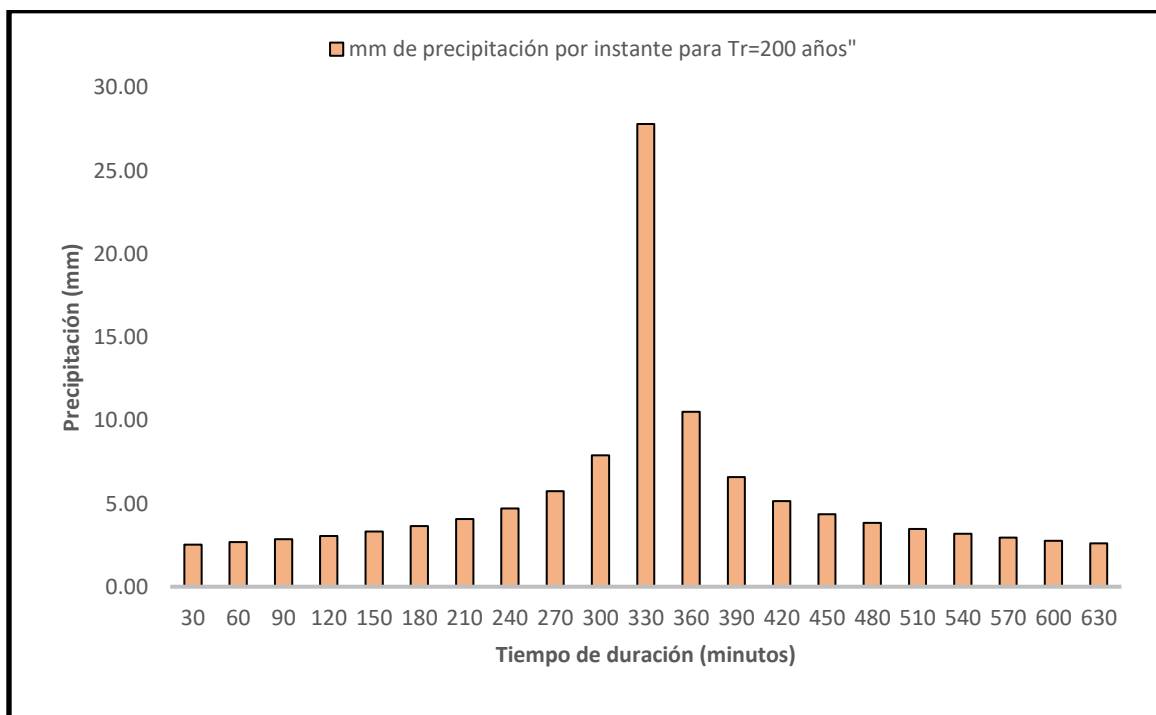
Fuente: elaboración propia

Tabla 69: Hietograma Tr=200 años, estación Niepos

TR=	200	AÑOS			
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO
30	42.86	21.43	21.43	1.95	2.54
60	29.53	29.53	8.10	2.07	2.68
90	23.74	35.62	6.09	2.20	2.85
120	20.34	40.68	5.07	2.35	3.06
150	18.04	45.11	4.42	2.55	3.31
180	16.36	49.07	3.97	2.80	3.64
210	15.06	52.70	3.63	3.14	4.07
240	14.01	56.06	3.36	3.63	4.71
270	13.15	59.20	3.14	4.42	5.74
300	12.43	62.15	2.96	6.09	7.91
330	11.81	64.95	2.80	21.43	27.82
360	11.27	67.62	2.67	8.10	10.51
390	10.80	70.17	2.55	5.07	6.58
420	10.37	72.62	2.45	3.97	5.15
450	10.00	74.97	2.35	3.36	4.36
480	9.66	77.24	2.27	2.96	3.84
510	9.35	79.44	2.20	2.67	3.46
540	9.06	81.57	2.13	2.45	3.18
570	8.80	83.63	2.07	2.27	2.95
600	8.56	85.64	2.01	2.13	2.76
630	8.34	87.59	1.95	2.01	2.61
		SUMA	87.59		113.72
		PREIPITACIÓN DE DISEÑO	113.72		

Fuente: elaboración propia

Ilustración 78: Hietograma Tr=200 años, estación Niepos



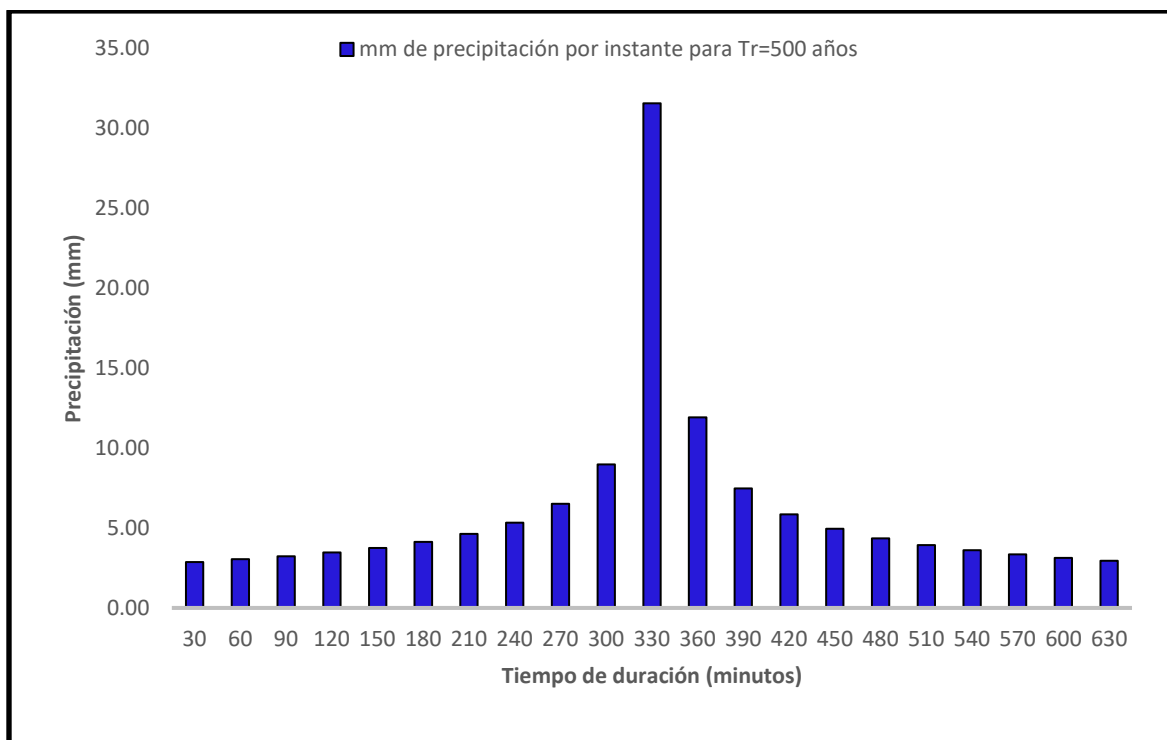
Fuente: elaboración propia

Tabla 70: Hietograma Tr=500 años, estación Niepos

TR=	500	AÑOS				
TIEMPO	INTENSIDAD (mm/hr)	PRECIPITACIÓN (mm)	INCREMENTO	HIETOGRAMA	HIETOGRAMA NORMALIZADO	
30	50.38	25.19	25.19	2.30	2.88	
60	34.71	34.71	9.52	2.43	3.04	
90	27.91	41.86	7.16	2.58	3.24	
120	23.91	47.82	5.96	2.77	3.47	
150	21.21	53.02	5.20	3.00	3.76	
180	19.23	57.69	4.66	3.29	4.13	
210	17.70	61.95	4.26	3.69	4.62	
240	16.47	65.89	3.95	4.26	5.34	
270	15.46	69.58	3.69	5.20	6.52	
300	14.61	73.06	3.47	7.16	8.97	
330	13.88	76.35	3.29	25.19	31.57	
360	13.25	79.48	3.14	9.52	11.93	
390	12.69	82.48	3.00	5.96	7.47	
420	12.19	85.36	2.88	4.66	5.85	
450	11.75	88.13	2.77	3.95	4.95	
480	11.35	90.80	2.67	3.47	4.35	
510	10.99	93.38	2.58	3.14	3.93	
540	10.65	95.88	2.50	2.88	3.60	
570	10.35	98.31	2.43	2.67	3.35	
600	10.07	100.67	2.36	2.50	3.13	
630	9.81	102.96	2.30	2.36	2.96	
		SUMA	102.96		129.04	
		PRESEPITACIÓN DE DISEÑO	129.04			

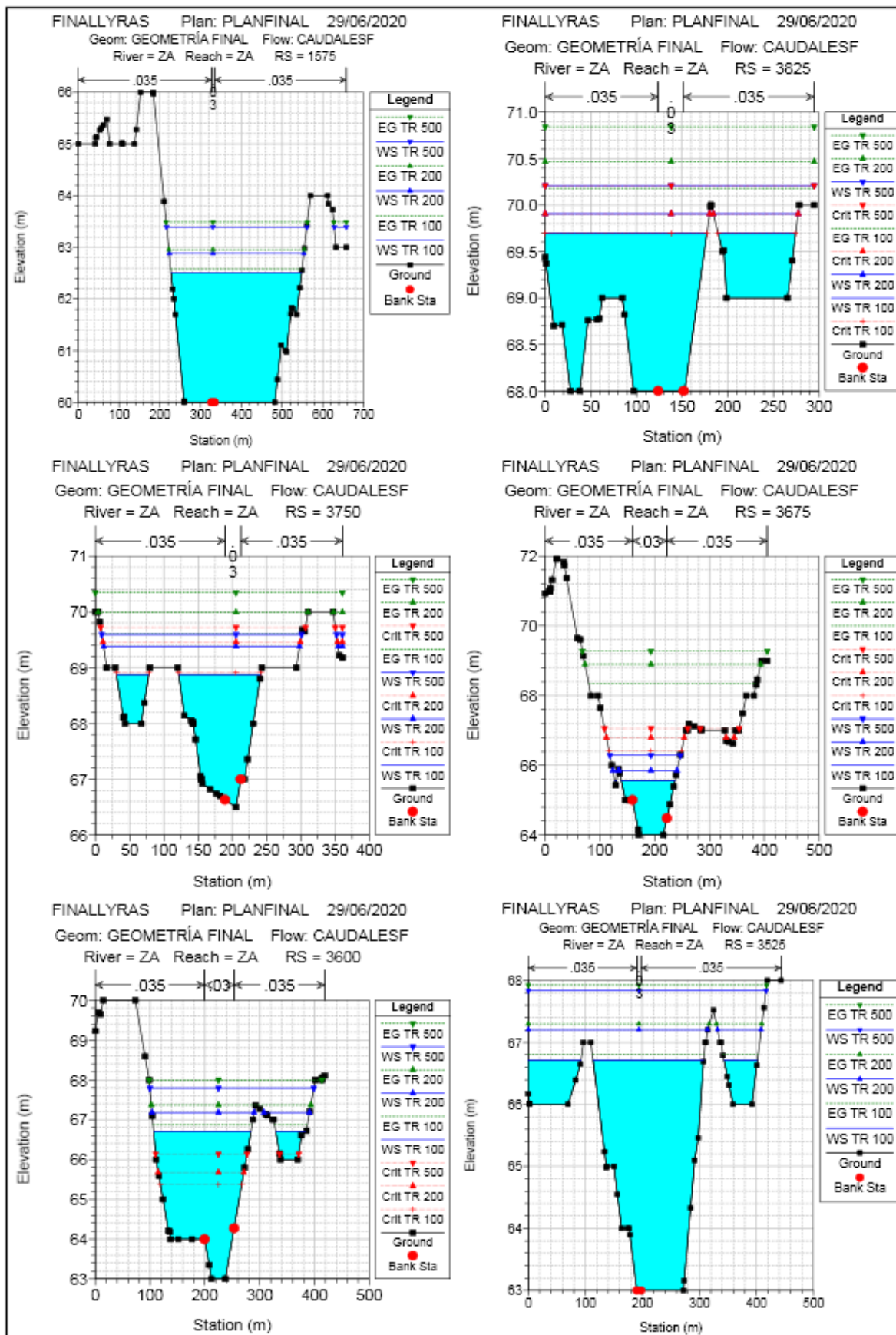
Fuente: elaboración propia

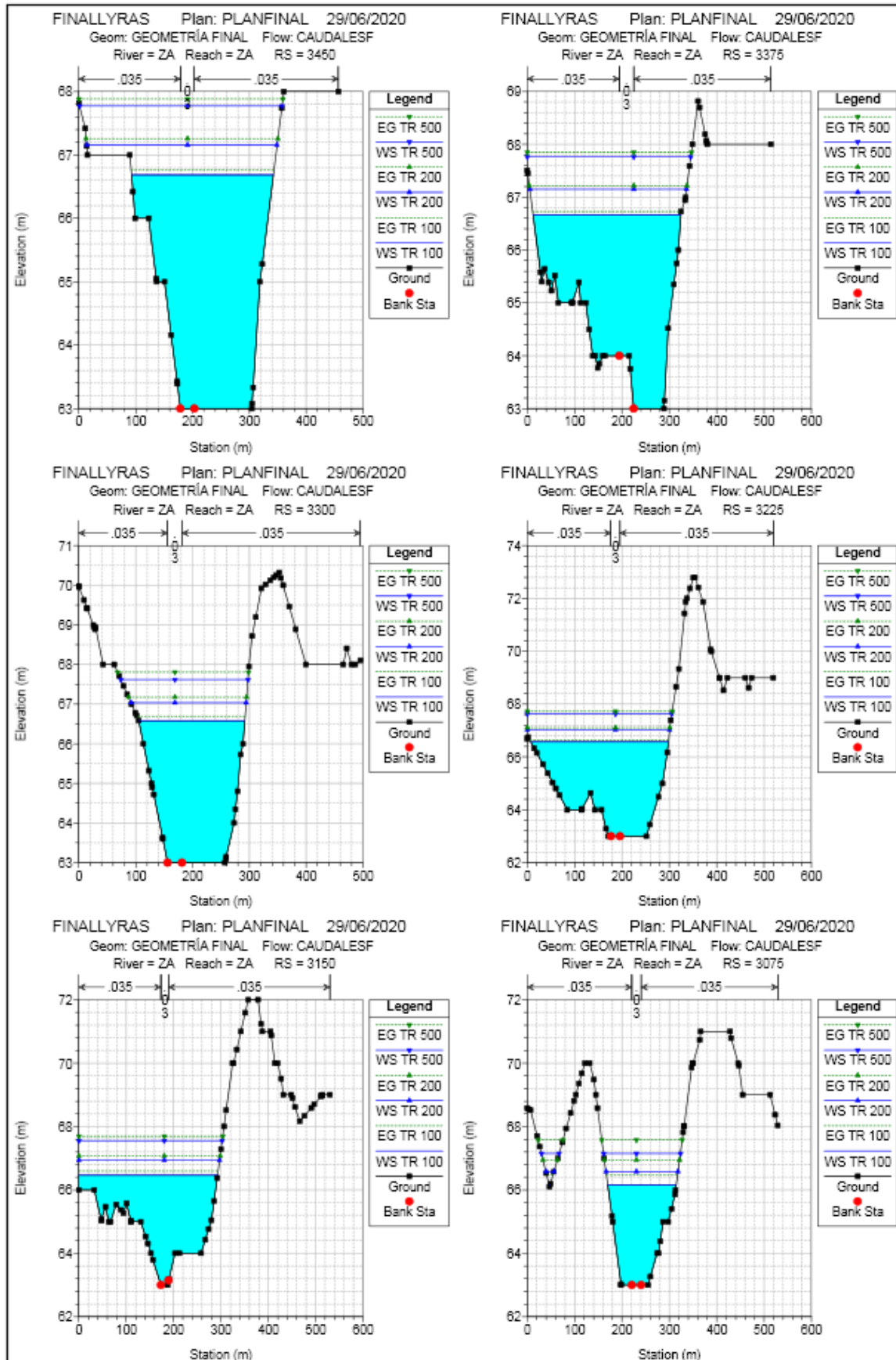
Ilustración 79: Hietograma Tr=500 años, estación Niepos

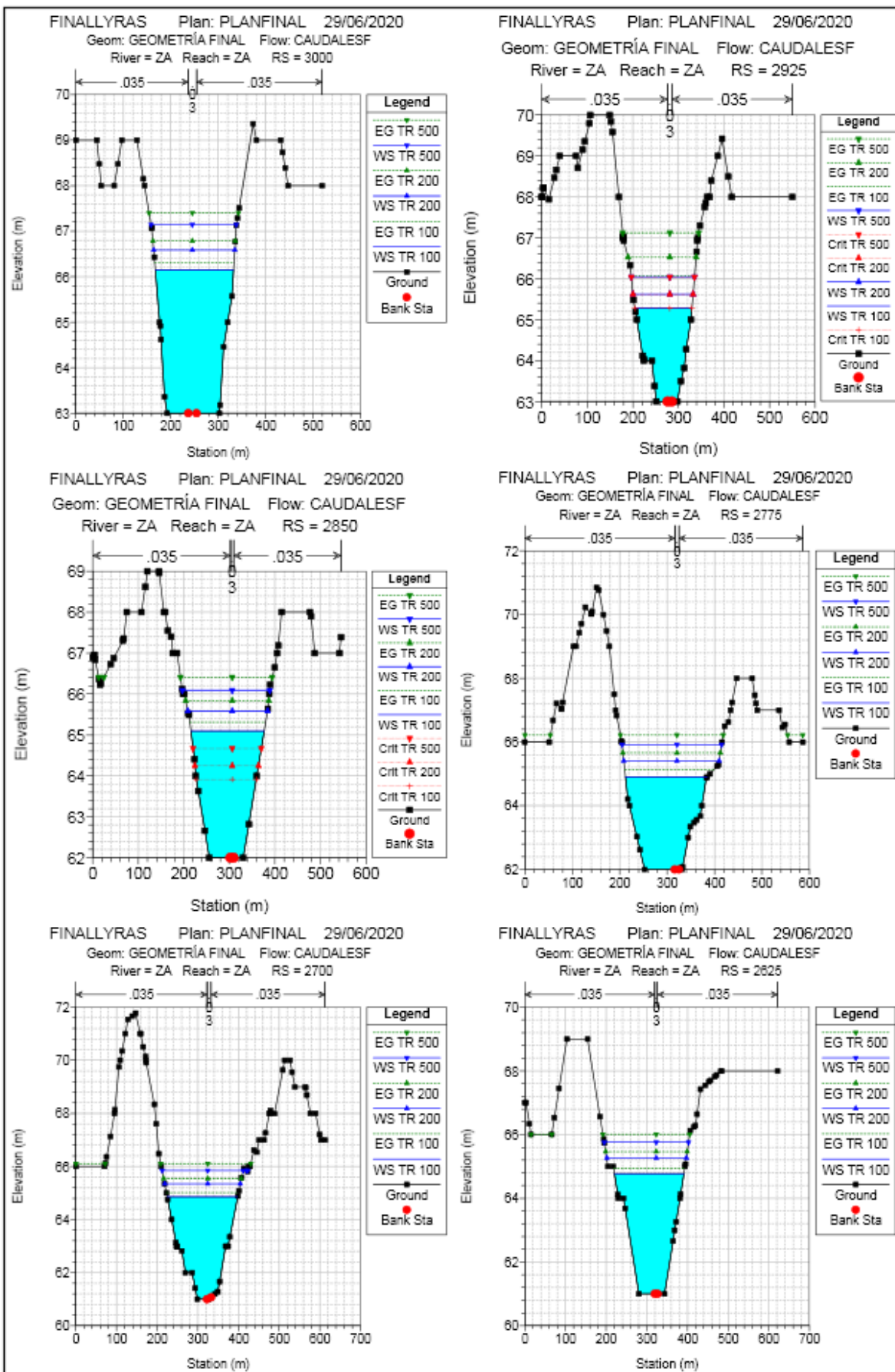


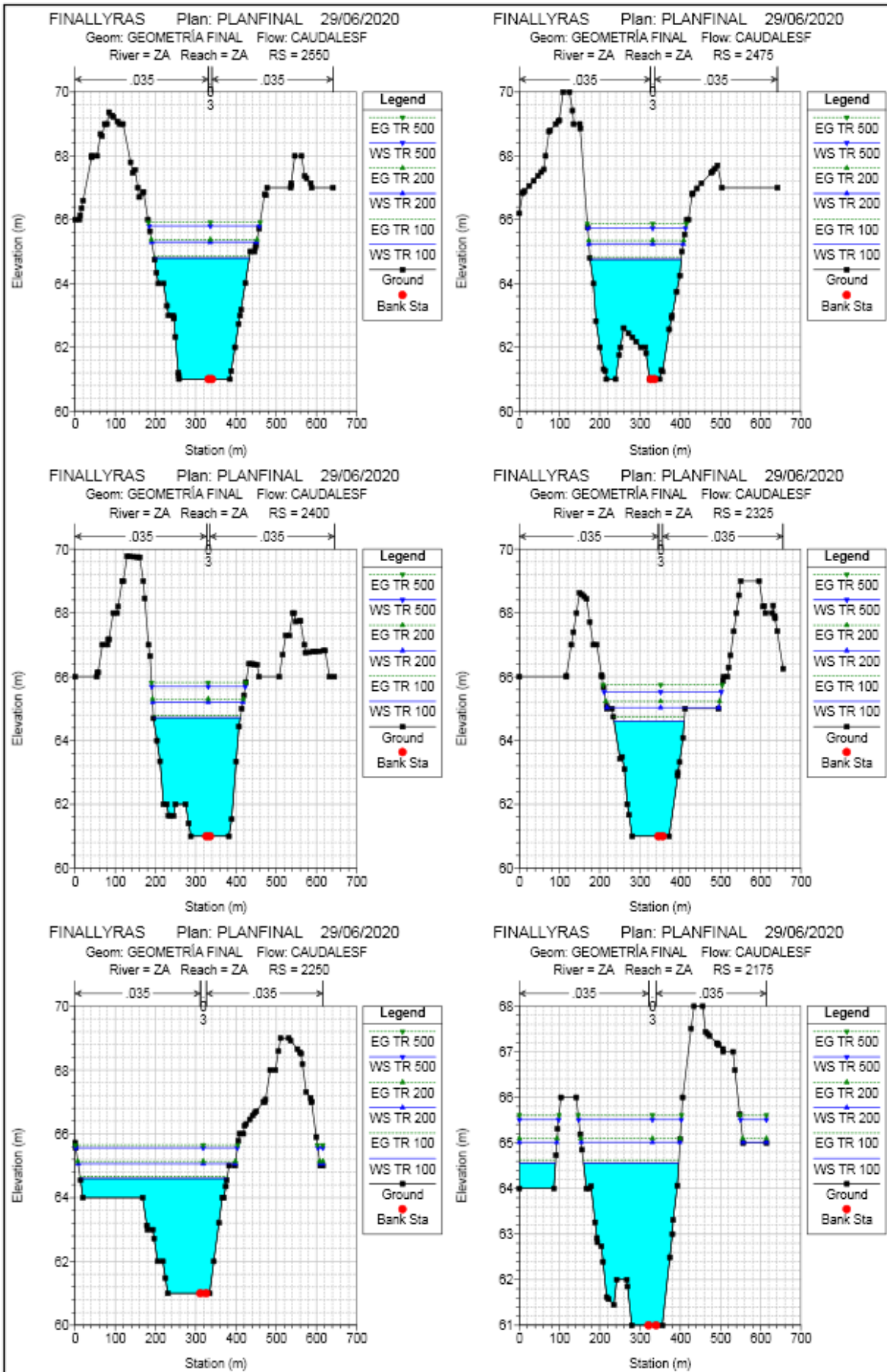
Fuente: elaboración propia

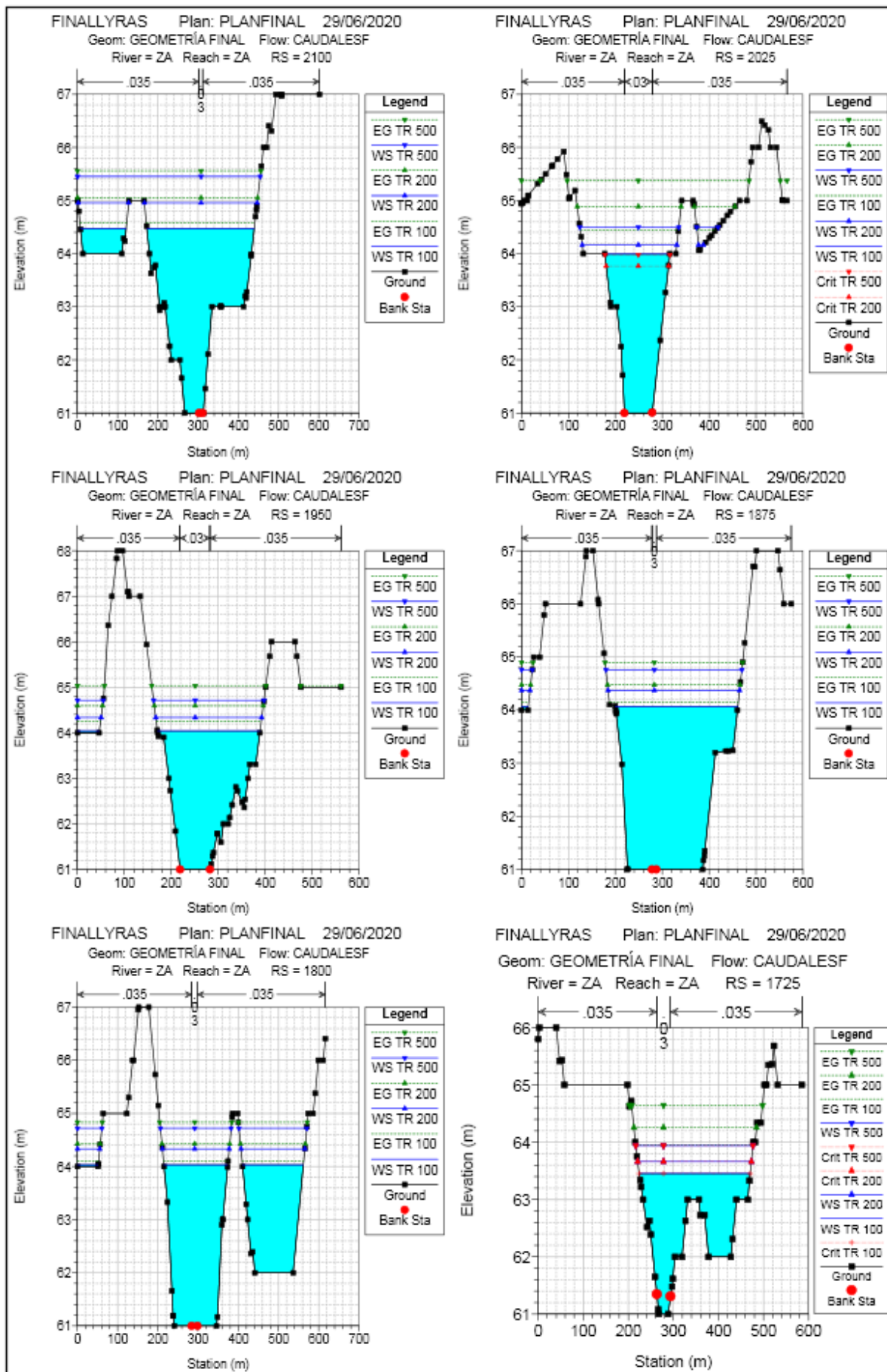
Anexo 7. Secciones transversales del río Zaña en el tramo Zaña

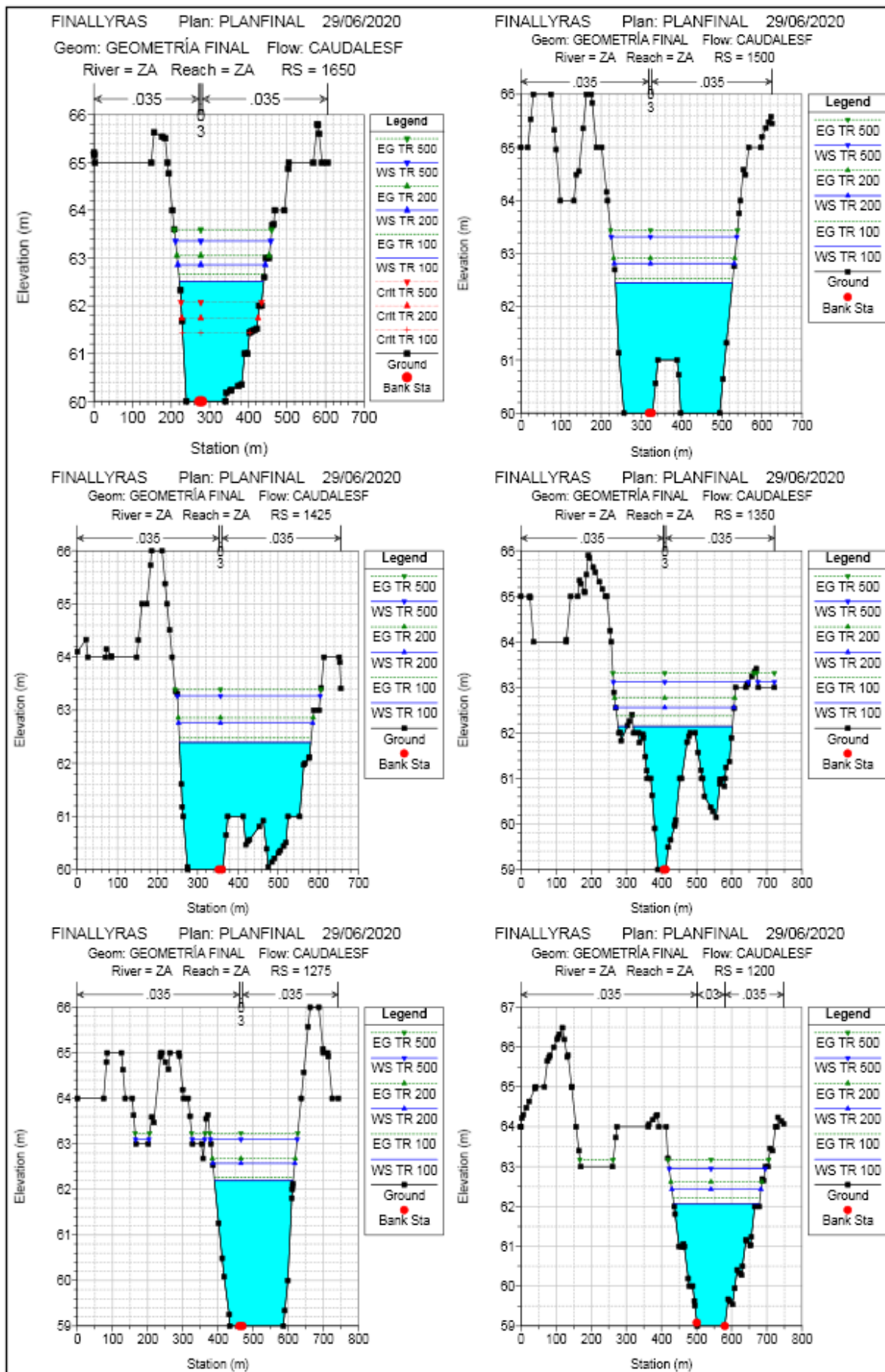


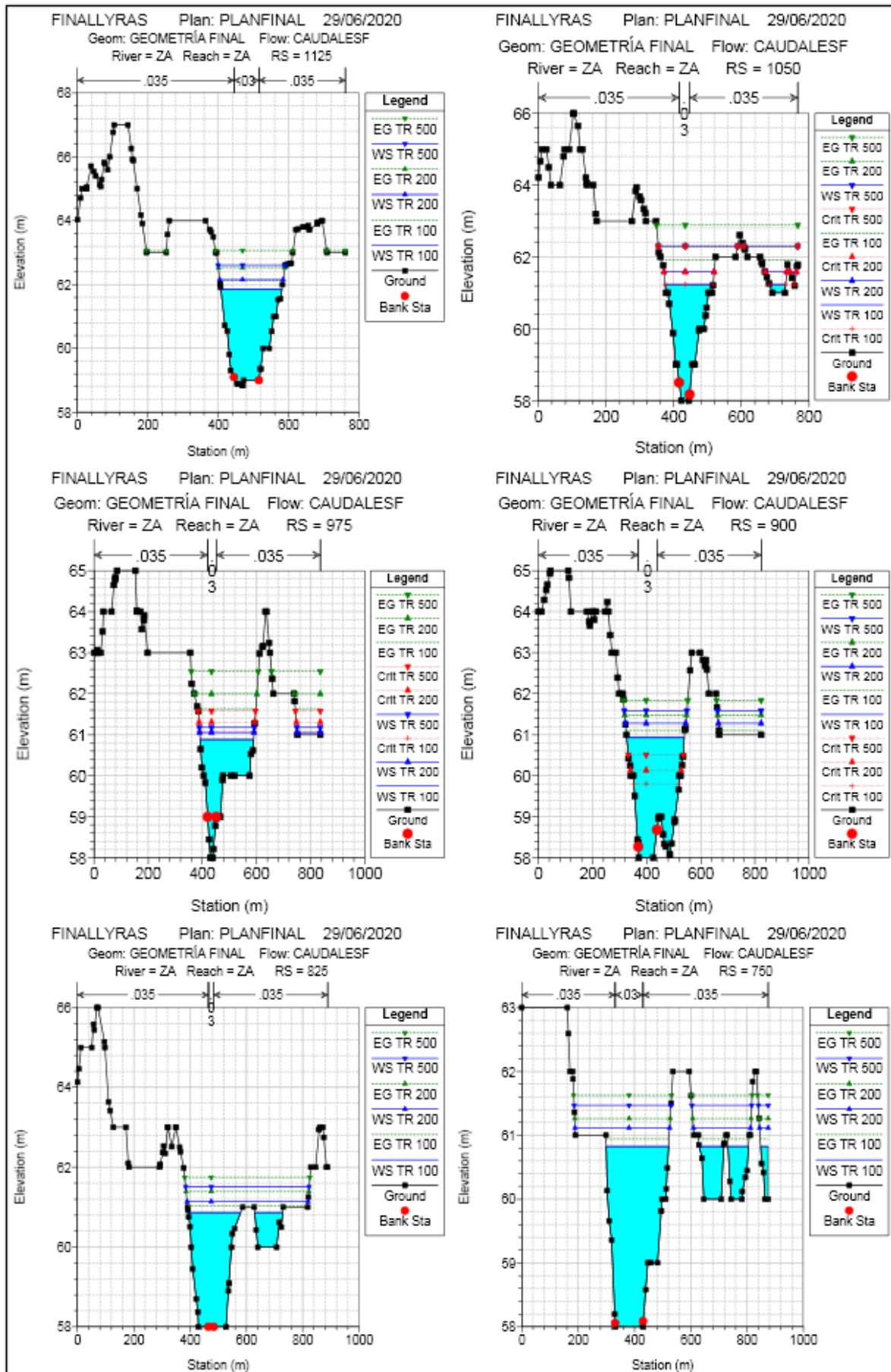


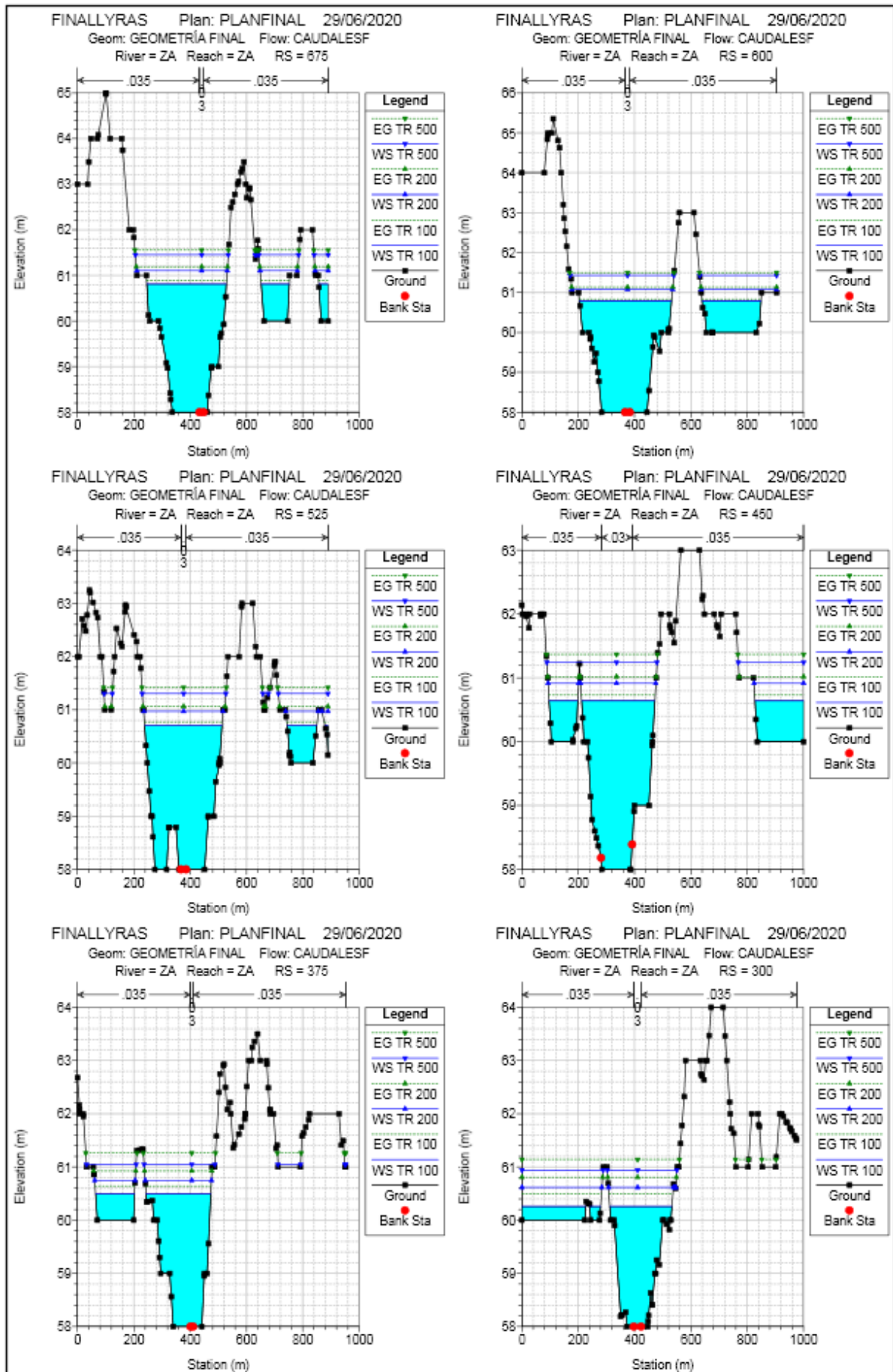


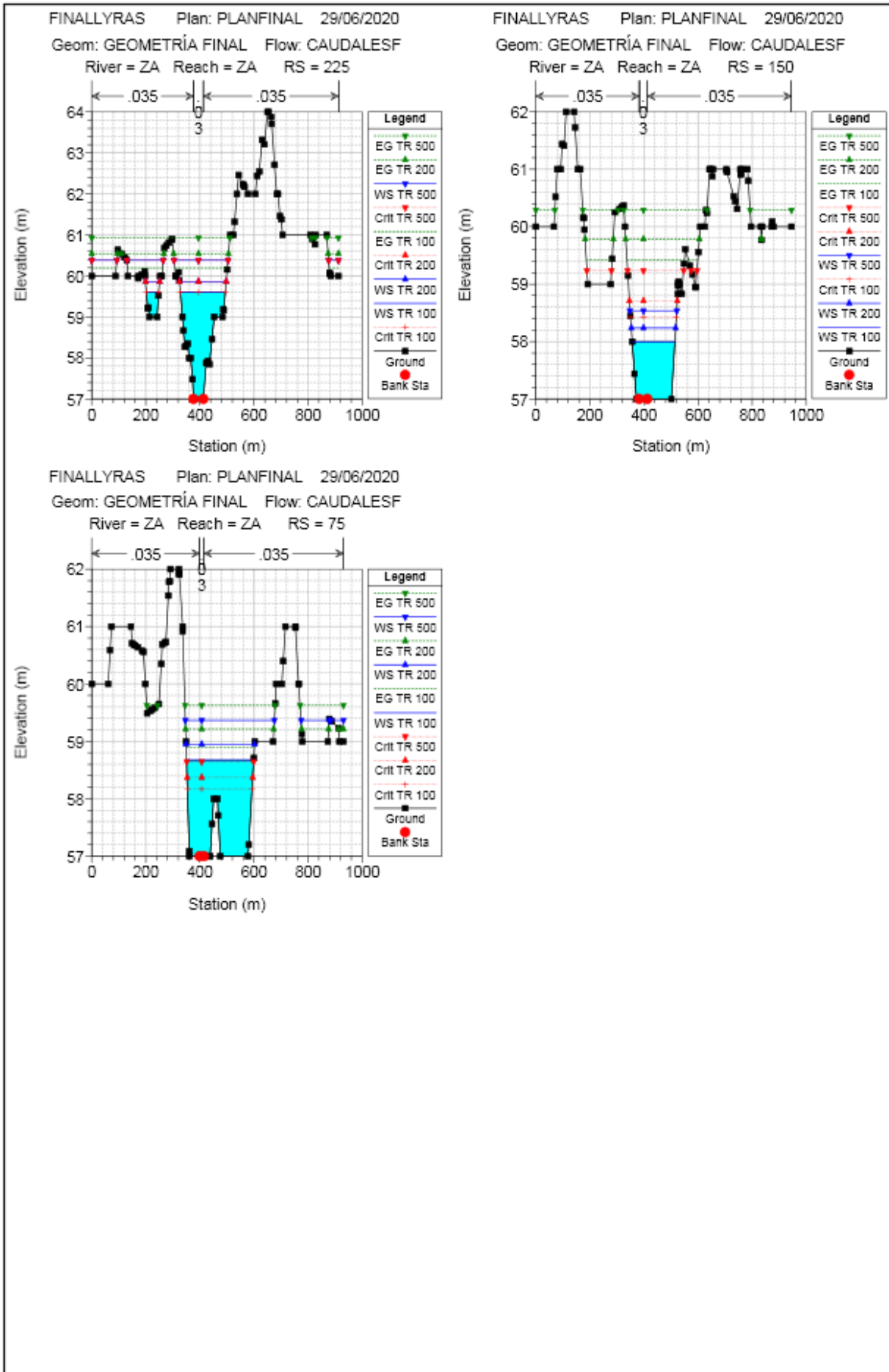












Anexo 8. Imágenes de aumento de caudal y desborde del Zaña



Fuente: Google Noticias

Aumento del caudal del rio Zaña y destrucción del puente.



Fuente: Google Noticias

Aumento del caudal del rio Zaña y destrucción del puente.



Fuente: Google Noticias

Aumento del caudal del rio Zaña año 2016.



Fuente: Google Noticias

Aumento del caudal del rio Zaña año 2019.



Fuente: Google Noticias

Desborde del rio zaña año 2016



Fuente: Google Noticias



Fuente: Google Noticias

Desborde del río zaña año 2019.



Fuente: Google Noticias

Colapso del puente por aumento del caudal rio Zaña, año 2019.



Fuente: Google Noticias

Cruce del rio Zaña en cámara por el colapso del puente Zaña, 2019.



Fuente: Google Noticias

Anexo8. Imágenes del estado actual del río Zaña

Estado actual del río Zaña, 2019.



Fuente: Propia

Trocha, a orillas del río Zaña



Fuente: Propia

Cultivos en los laterales del rio Zaña.



Fuente: Propia

Cultivos en los laterales del rio Zaña.



Fuente: Propia