

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



**ESTUDIO DE INUNDACIÓN DEL RÍO MOTUPE EN LA ZONA
DEL DISTRITO DE JAYANCA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE
LAMBAYEQUE**

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

AUTOR

DANIEL MARTI ALCALDE GALVEZ

ASESOR

WILMER MOISES ZELADA ZAMORA

<https://orcid.org/0000-0002-6064-7506>

Chiclayo, 2022

**ESTUDIO DE INUNDACIÓN DEL RÍO MOTUPE EN LA
ZONA DEL DISTRITO DE JAYANCA, PROVINCIA Y
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE**

PRESENTADA POR

DANIEL MARTI ALCALDE GALVEZ

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

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Juan Alejandro Agreda Barbaran
PRESIDENTE

Angel Antonio Ruiz Pico
SECRETARIO

Wilmer Moises Zelada Zamora
VOCAL

Dedicatoria

A mi padre, quien me enseñó que el mejor conocimiento se aprende por sí mismo a través de la propia experiencia.

A mi madre, quien me enseñó que la tarea más difícil se puede lograr con la ayuda de Dios y siendo perseverante.

A mi pareja y mi pequeña hija, que fueron la fuerza que necesitaba para nunca rendirme y a mi pareja por su apoyo incondicional.

A toda mi familia, por apoyarme en todo momento, y especialmente a mis abuelos Reyna Ruiz y Antonio Alcalde por inculcarme el esfuerzo y superación para poder lograr mis objetivos y metas.

Agradecimiento

A todos mis amigos y futuros colegas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias por todo su apoyo y buena voluntad.

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo por ser la sede de todo el conocimiento adquirido durante mi formación profesional.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Wilmer Moisés Zelada Zamora, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Informe Final de Tesis

ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

14%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	hdl.handle.net Internet Source	2%
2	tesis.pucp.edu.pe Internet Source	2%
3	repositorio.unprg.edu.pe Internet Source	1%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Internet Source	1%
5	iragerblog.files.wordpress.com Internet Source	1%
6	www.imefen.uni.edu.pe Internet Source	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Internet Source	1%
8	repositorio.unap.edu.pe Internet Source	1%
9	tesis.usat.edu.pe Internet Source	1%

Índice

Resumen	10
Abstract.....	11
I. Introducción	12
II. Marco Teórico	14
a) Antecedentes del Problema.....	14
III. Materiales y Métodos	18
3.1. Tipo y nivel de investigación	18
3.2. Diseño de investigación.....	18
3.3. Población, muestra, muestreo.....	18
3.4. Criterios de selección	19
3.5. Operacionalización de variables.....	19
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
3.7. Procedimientos	20
3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos.....	21
3.9. Matriz de consistencia	22
3.10. Consideraciones éticas.....	23
IV. Resultados y Discusión	23
4.1. Descripción del Área de Estudio	23
4.2. Descripción de la Cuenca	24
4.3. Parámetros Geomorfológicos	24
4.4. Análisis de Precipitación	30
4.5. Modelo Hidrológico HEC-HMS	34
4.6. Modelo Hidráulico HEC-RAS	41
4.7. Propuesta de Solución	47
V. Conclusiones	51
VI. Recomendaciones.....	53
VII. Referencias Bibliográficas	54
VIII. Anexos.....	55

Lista de gráficos

Gráfico 1: Histograma de frecuencia de altitudes	27
Gráfico 2: Histograma de frecuencia de altitudes acumuladas	27
Gráfico 3: Curva Hipsométrica	28
Gráfico 4: Perfil longitudinal del cauce principal	29
Gráfico 5: Precipitación máxima en 24 horas anual.....	31
Gráfico 6: Precipitación Adimensional	33
Gráfico 7: Hietogramas de diseño	33
Gráfico 8: División de subcuencas	36
Gráfico 9: Parámetros morfológicos de cada subcuenca.....	36
Gráfico 10: Tiempo de retraso para cada subcuenca.....	37
Gráfico 11: Métodos utilizados en HEC-HMS	37
Gráfico 12:Método de enrutamiento utilizado en HEC-HMS.....	38
Gráfico 13: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 50 años.....	39
Gráfico 14: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 100 años.....	39
Gráfico 15: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 200 años.....	40
Gráfico 16: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 500 años.....	40
Gráfico 17: Caudales máximos del Río Motupe (m ³ /s) entre los años 1962 y 2005 ...	55
Gráfico 18: Caudales totales anuales del Río Motupe (m ³ /s) entre los años 1962 y 1998.....	56
Gráfico 19: Caudal máximo del Río Motupe por mes (m ³ /s)	56
Gráfico 20: Total de personas afectadas por el Fenómeno “El Niño Costero 2017” ...	58
Gráfico 21: Infraestructura afectadas por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”	59
Gráfico 22: Infraestructura vial afectadas por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”. ..	60
Gráfico 23: Puentes destruidos por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”	61
Gráfico 24: Daños a la agricultura durante el Fenómeno “El Niño Costero 2017”	62
Gráfico 25: Precipitación máxima en 24 horas anual.....	65

Lista de tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	19
Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
Tabla 3: Matriz de consistencia.....	22
Tabla 4: Parámetros Geomorfológicos de la cuenca	24
Tabla 5: Pendiente media de la cuenca.....	26
Tabla 6: Altitud media de la cuenca	26
Tabla 7: Pendiente ponderada del cauce principal	29
Tabla 8: Tiempo de concentración de la cuenca	30
Tabla 9: Precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno.....	31
Tabla 10: Tipo de distribución de cada estación	32
Tabla 11: Precipitación ponderada por el método de Isoyetas	32
Tabla 12: Numero de curva ponderado para cada subcuenca	36
Tabla 13: Caudales obtenidos para cada tiempo de retorno	38
Tabla 14: Calculo de n de Manning para cada zona determinada	41
Tabla 15: Cálculo del ancho estable del cauce	47
Tabla 16: Cálculo del ancho estable del cauce	50
Tabla 17: Registro de descargas medias mensuales del río Motupe (m ³ /s) para el periodo de 1962 a 1998.	55
Tabla 18: Información histórica de los episodios registrados del Fenómeno de “El Niño” hasta el año de 1998.....	57
Tabla 19: Daños a la vida y la salud por efectos del Niño Costero 2017.....	58
Tabla 20: Daños en viviendas y locales públicos por efectos del Niño Costero 2017.	59
Tabla 21: Daños en transporte y comunicaciones por efectos del Niño Costero 2017	60
Tabla 22: Daños a la agricultura por efectos del Niño Costero 2017.....	61
Tabla 23: Departamentos declarados en emergencia por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”	62
Tabla 24: Áreas de cultivo perdidas (hectáreas) en el año 2017 por los pobladores de Jayanca a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.	63
Tabla 25: Áreas afectadas de cultivos (hectáreas) en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño	63

Tabla 26: Estado de caminos rurales de Jayanca en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.....	63
Tabla 27: Estado de puentes de la localidad en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.....	63
Tabla 28: Estado de canales de riego en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.....	64
Tabla 29: Estado de la carretera principal a Jayanca por efecto del Fenómeno “El Niño” en el año 2017.....	64
Tabla 30: Perdida agrícola de los pobladores de Jayanca por efecto del Fenómeno “El Niño” en el año 2017.....	64
Tabla 31: Perdida monetaria por animales en Jayanca por efecto del Fenómeno “El Niño” en el año 2017.....	64
Tabla 32: Precipitación máxima en 24 horas para cada estación y año del registro	65

Lista de figuras

Figura 1: Limites del Distrito de Jayanca.....	23
Figura 2: Cuenca Motupe – Olmos – La Leche	24
Figura 3: Orden de la red de drenaje de la cuenca	25
Figura 4: Ubicación de los puntos a extraer información.....	30
Figura 5: Isoyetas por el método de Kriging	32
Figura 6: Número de curva en condiciones normales	35
Figura 7: Zonas delimitadas por coeficientes de Manning.....	41
Figura 8: Secciones transversales del rio en HEC-RAS.....	42
Figura 9: Malla de inundación para la zona de estudio	43
Figura 10: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 50 años.....	43
Figura 11: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 50 años	44
Figura 12: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 100 años.....	44
Figura 13: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 100 años	45
Figura 14: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 200 años.....	45
Figura 15: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 200 años	46
Figura 16: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 500 años.....	46
Figura 17: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 500 años	47
Figura 18: Ubicación de los puntos críticos	48
Figura 19: Modelo incluyendo las defensas enrocadas en los puntos críticos	49
Figura 20: Modelo incluyendo las defensas enrocadas en todo el tramo.	50

Resumen

La tesis comprendió el análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Motupe obteniendo como producto final un mapa de inundación para el distrito de Jayanca, provincia y departamento de Lambayeque. La elaboración del mapa de inundación inicia con la delimitación de la cuenca en estudio, subcuencas, identificación de la red hídrica y de los parámetros geomorfológicos a través del Sistema de Información Geográfico ArcGIS. Para el análisis hidrológico se inició con la recolección de datos de precipitación máxima en 24 horas (PISCO-SENAMHI), luego se realizó el análisis estadístico, elaboración de hietogramas de diseño y la simulación hidrológica en el software HEC-HMS dando como resultado los caudales de diseño para distintos periodos de retorno. El análisis hidráulico comprende la obtención de curvas de nivel con ayuda del SIG, la generación de la trayectoria y secciones del río, coeficientes de rugosidad de Manning y finalmente la simulación hidráulica. Finalmente, se obtuvo las zonas vulnerables a inundación para los diferentes periodos de retorno y el área inundada.

Palabras Clave: Inundación, Precipitación, Caudal, Sistema de Información Geográfico (SIG), Cuenca.

Abstract

In this research, the hydraulic and hydrological analysis of the Motupe river basin was carried out, obtaining as a final product a flood map for the Jayanca district, province and department of Lambayeque. The elaboration of the flood map begins with the delimitation of the basin under study, sub-basins, identification of the drainage network and geomorphological parameters through ArcGIS software. For the hydrological analysis, we start with the collection of maximum 24-hour rainfall data (PISCO - SENAMHI), and then statistical analysis, the elaboration of design hyetograms and the hydrological simulation in the HEC-HMS software, determining the design flows for different return times. The hydraulic analysis includes obtaining contour lines with the help of GIS, generating the trajectory and sections of the river, Manning's roughness coefficients and finally the hydraulic simulation. Finally, the areas vulnerable to flooding for the different return times and the flooded area will be determined.

Keywords: Flooding, Precipitation, Flow, Geographic Information System (GIS), Basin.

I. Introducción

La provincia de Jayanca ha sido afectada a lo largo del tiempo por muchos Fenómenos de “El Niño Costero”. En 1983 se produjo uno de los Fenómenos del Niño más fuerte registrado [1], que llegó a inundar terrenos agrícolas del distrito de Jayanca y algunos centros poblados cercanos a la margen del río Motupe; registrándose caudales máximos de hasta 300 m³/s, además se interrumpió la circulación de la carretera “Panamericana Norte” y se registraron fuertes pérdidas en el sector pesquero del Norte del Perú. [2].

En el periodo 98-99, también se registró un fuerte “Niño Costero”, las fuertes lluvias incrementaron los caudales de los ríos que conforman la cuenca del río Motupe alcanzando su máxima descarga en el mes de marzo con un caudal de 93.75 m³/s [2], que ocasionó inundaciones en el área agrícola y algunas poblaciones cercanas a la ribera del río Motupe. Este fenómeno afectó considerablemente en la economía e infraestructura productiva del distrito de Jayanca, causando grandes pérdidas económicas, además durante la ocurrencia de este Fenómeno colapsaron 58 puentes y se registró un Índice de Oscilación Sur negativo causando un gran impacto mundial. [1].

En el **Anexo 01** se puede observar el registro de descargas medias mensuales del río Motupe (m³/s) para el periodo de 1962 a 1998 y en la **Tabla 02** se puede ver la información histórica de los episodios registrados del fenómeno de “El Niño” hasta el año de 1998.

En el año 2017 se registró un fuerte Fenómeno de “El Niño Costero” en el cual Lambayeque fue el tercer Departamento más afectado del Perú registrándose 44 619 personas damnificadas, 9 fallecidas, 10 051 viviendas destruidas, 11 establecimientos de salud destruidos e inhabitables, 1 271 Km de daño a la infraestructura vial, 63 puentes destruidos, 2 464 Has de cultivo perdido y 4 009 Has afectadas, además de que se declararon en emergencia 3 Provincias y 38 Distritos del Departamento.

En el **Anexo 02** se muestran algunos datos de los daños ocasionados por el fenómeno de “El Niño Costero 2017” a nivel nacional.

Durante este Fenómeno se registraron grandes pérdidas en el distrito de Jayanca, se tuvo pérdidas de al menos el 72% de áreas de cultivo, el 72.5% de la infraestructura vial, el 65.5% de la infraestructura agrícola, resultando una pérdida de más de un millón de soles en el sector agrícola, además de interrupción por tramos de la carretera principal que atraviesa el Distrito, la cual hasta la fecha no se ha reparado completamente.

En el **Anexo 03** se muestran datos de los daños producidos por el fenómeno de “El Niño” en el Distrito de Jayanca.

Las inundaciones por desbordes de ríos es un problema recurrente en el Perú que ocasiona pérdidas humanas, viviendas e infraestructura, esto se debe a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y otra de lluvias bien diferenciadas, estas últimas ocurren de diciembre a marzo, sumado a los años de ocurrencia del Fenómeno de "El Niño Costero" hacen que los caudales de los ríos aumenten su magnitud ocasionando desbordes y daños en las ciudades ubicadas en la parte baja de las cuencas, razón por la cual es importante la identificación de áreas vulnerables en que se encuentran personas y bienes expuestos y susceptibles al impacto de este peligro, para poder posteriormente plantear planes de control de riesgos.

En el distrito de Jayanca la principal actividad económica es la agrícola [1], siendo el maíz su principal producción seguido por el frijol y el arroz [3]. Tiene una extensión territorial de 680.96 km² [1] y cuenta con una población de 17204 habitantes [4]. Sus viviendas, en la gran mayoría son de un solo nivel y están construidas de forma artesanal siendo el adobe o tapial, el principal material de construcción [1].

Las zonas de cultivo y vivienda del distrito de Jayanca se encuentran ubicados muy cerca de las márgenes del Río Motupe siendo este un problema constante por los desbordes, especialmente durante los episodios del fenómeno El Niño Costero.

Ante la problemática e incertidumbre de conocer las zonas de incidencia de inundación, se realizó un análisis hidrológico e hidráulico para generar un mapa de inundación, siendo esta una alternativa para reconocer las zonas vulnerables ante un evento extraordinario de precipitación.

Para lo cual se planteo el siguiente objetivo general: Identificar las zonas con riesgo de inundación del río Motupe en el distrito de Jayanca para los diferentes periodos de retorno.

Y los objetivos específicos a continuación detallados: Obtener la topografía de la cuenca del río Motupe a través del sistema de información geográfico, Determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca y subcuenca donde se encuentra el distrito de Jayanca, Obtener caudales de diseño para los distintos tiempos de retorno en el distrito Jayanca con el uso del software HEC-HMS, Realizar el modelamiento hidráulico del río Motupe en la zona del distrito de Jayanca para distintos tiempos de retorno mediante el uso del software HEC-RAS, Elaborar el mapa de riesgo de inundación del distrito de Jayanca, usando el sistema de información geográfico y el HEC-RAS, Plantear una alternativa de solución con sustento técnico ante el problema de inundación, Verificar como influye la alternativa de solución en el comportamiento del cauce del río Motupe en el distrito de Jayanca.

II. Marco Teórico

a) Antecedentes del Problema

Se han realizado diversas investigaciones y estudios que se encuentran relacionadas con el tema de estudios de inundación tanto en el ámbito internacional, nacional y local; a continuación, se describen algunas:

Trabajo de Grado para optar al Título de Especialista en Información Geográfica: Análisis del riesgo por inundación utilizando herramientas SIG para la cuenca del Río Quito, Manizales 2016 [5]

En este trabajo el autor ilustra la generación del mapa por riesgo de inundación para la cuenca del Río Quito, departamento de Chocó, Colombia. El autor utiliza la guía metodológica de la evaluación de riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa desarrollada por el Instituto INGEOMINAS en asociación con la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC (INGEOMINAS-CVC 2001).

Para su propósito utilizó las herramientas espaciales de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para obtener las variables de Pendientes, Geología, Geomorfología, Conflictos de uso, Eventos de Precipitación, Sismos Históricos para la región y posteriormente esquematizar el diagrama de flujo con ayuda del software ArcGIS y obtener el mapa de riesgo por inundación con susceptibilidad y amenaza clasificándolos como alto, medio y bajo para la geografía de la cuenca del Río Quito.

Tesis para optar por el Título profesional en Ingeniería Civil: 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, Lima 2018 [6]

La tesis comprende el análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Mala para obtener el mapa de inundación para el distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima.

Para la elaboración de dicho mapa inicia con la delimitación de la cuenca, subcuencas, generación de la red hídrica y los parámetros geomorfológicos, esto lo realiza a través del Sistema de Información Geográfica ArcGIS.

A continuación, realiza el análisis hidrológico, inicia con el proceso de corrección de datos de precipitación máxima en 24 horas recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), análisis probabilístico de distribución Normal, Gumbel y Pearson Tipo III, luego elabora el hietograma de diseño por el método de bloques alternos para después pasar a la simulación a través del HEC-HMS obteniendo los caudales de diseño para periodos de retorno de 100 y 500 años.

El análisis hidráulico comprende: el reconocimiento de campo, generación de las curvas de nivel a través del DEM de la NASA, generación de la trayectoria y secciones del río, incorpora las características del canal del río (coeficiente de Manning) y por último la simulación con los caudales de diseño.

Finalmente, con el análisis hidráulico obtiene las zonas de inundación a través del ArcGIS y obtiene la conclusión que para el periodo de retorno de 100 años el área inundada es de 17.714 Ha. y para el periodo de retorno de 500 años el área inundada es de 25.417 Ha.

Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Agrícola: Determinación de áreas inundables de la parte media de la microcuenca del río Zapatilla – Centro Poblado de Ancoamaya – Ilave, Puno 2014 [7]

En este estudio el autor determina las áreas vulnerables a inundación mediante el software HEC-RAS para el río Camillaqui del Centro Poblado de Ancoamaya, provincia del Collao Ilave de la región de Puno.

Los objetivos principales son determinar las características topográficas del río Camillaqui, realizar el modelamiento hidráulico para identificar zonas vulnerables a inundación y así plantear el encauzamiento.

La metodología inicia con el trabajo de Topografía en la zona de estudio para un tramo de 3.5 Km, seccionamiento del río para luego aplicar el software HEC-RAS, seguido de la obtención de datos de estaciones meteorológicas del SENAMHI para obtener el caudal máximo de diseño para un periodo de retorno de 50 años, además utiliza el programa ArcView para obtener las características geomorfológicas de la cuenca.

Posteriormente determinó las máximas avenidas con el método estadístico de Gumbel, realiza el análisis de flujo con el HEC-RAS y obtiene las zonas potencialmente inundables con lo cual plantea los muros de encauzamiento.

Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Agrícola: Estudio Hidrológico e Hidráulico para la identificación de la vulnerabilidad a desbordes de la cuenca baja del río Coata – Puno, Lima 2017 [8]

El autor inicia el trabajo con el acopio de documentación bibliográfica y estudios de la zona, ubicación de estaciones meteorológicas e hidrométricas, de las cuales solicita datos al SENAMHI y ANA.

Luego de obtener las precipitaciones máximas en 24 horas mensuales procede al análisis de datos dudosos y con ayuda de una imagen satelital realiza la delimitación de la cuenca del río Coata con el software ArcGIS 10.2, después procede a determinar la distribución de precipitaciones por el método de los Polígonos de Thiessen, ajusta las precipitaciones a una ecuación de tendencia para obtener las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno lo cual le permite calcular los caudales máximo con la ayuda del software HEC-HMS 5.1.

Finalmente, con los caudales máximos y las características topográficas de la zona logra simular el comportamiento del cauce del río e identificar las áreas que se encuentran en peligro al desborde del río Coata.

Tesis para optar por el Título profesional de Ingeniero Civil: Modelación Hidrológica – Hidráulica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo, Arequipa 2018 [9]

En esta Tesis el autor realiza la modelación hidrológica de eventos extremos, en la cuenca del río Tambo con el HEC-HMS, analiza las distribuciones probabilísticas, distribuciones espaciales y temporales de la precipitación máxima en 24 horas de 19 estaciones pluviométricas, obtiene así hidrogramas de caudal para distintos escenarios.

Además considera para su diseño un riesgo de falla del 20% y una vida útil de la estructura de 100 años, así obtiene su caudal de diseño para realizar el modelamiento hidráulico bidimensional con HEC-RAS (Método de Volúmenes Finitos) y bidimensional con IRIC (Método de Diferencias Finitas) para su posterior análisis comparativo, finalmente genera el mapa de inundación para el diseño del muro de encauzamiento con enrocado, con lo se cual protegerá y recupera áreas de cultivo perdidas por la erosión fluvial, garantizando el desarrollo sostenible de la agricultura de la zona.

Tesis para optar por el Título profesional de Ingeniero Civil Ambiental: Diseño de Defensas Ribereñas y su aplicación en el cauce del río La Leche, distrito de Pacora – Lambayeque, Chiclayo 2018 [10]

En esta Tesis la autora realiza el diseño y aplicación de las defensas ribereñas en el cauce del río La Leche, aplicando diferentes métodos de diseño y alternativas de solución ante eventualidades de desborde del río en eventos extraordinarios, con la finalidad de conocer los diferentes tipos, materiales, consideraciones, características, ventajas y desventajas u otros factores a considerar en el diseño, lo realiza tomando como base el manual de diseño de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Además, identifica las zonas más vulnerables a desbordes mediante un estudio de vulnerabilidad teniendo en cuenta las condiciones hidrológicas de la cuenca del río La Leche, para con estos resultados determinar cuál de las opciones de diseño es la más óptima, técnica y económica para la zona de estudio.

Tesis para optar por el Título profesional de Ingeniero Civil Ambiental: Cuantificación de los efectos de la erosión y socavación en la estructura de puentes y su aplicación en el puente del río Motupe del departamento de Lambayeque, Chiclayo 2018 [11]

En la presente investigación el autor realiza el cálculo de los efectos de erosión y socavación que se dan en los pilares del Puente Motupe, para así poder demostrar que la parte estructural, geotécnica, geológica e hidráulica van de la mano para cumplir la finalidad de evitar daños a la infraestructura de un puente, esto lo realiza a través de 4 fases las cuales comprenden: la recolección de información, el desarrollo de los estudios necesarios, el cálculo, modelamiento hidráulico y posibles alternativas de solución así como el análisis de resultados.

Para esto tendrá como referencia la normativa nacional vigente contenida en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) teniendo en cuenta su ámbito de aplicación como la relación con manuales y leyes nacionales.

Tesis para optar por el Título profesional de Ingeniero Civil Ambiental: Diseño de la Bocatoma y Canal de derivación de Pueblo Escondido, sector Marripón, distrito de Motupe, Provincia y Departamento de Lambayeque 2017, Chiclayo 2019 [12]

En este proyecto el autor busca realizar el diseño hidráulico y estructural de una bocatoma en el Río Chiniama, en el sector Pueblo Escondido, en la comunidad de Marripón, distrito de Motupe, provincia y región de Lambayeque, este proyecto permitirá captar el agua del Río Chiniama y conducirla por un canal de 3 kilómetros hacia las zonas de cultivo lo que permitirá aumentar en 45 hectáreas la actividad agrícola y aprovechar el terreno en toda época del año, para lo cual realizó estudios hidrológicos para evaluar la oferta y la demanda de agua, estudios topográficos y estudios de suelos para así poder realizar el diseño hidráulico y estructural de una bocatoma de barraje mixto con 2 compuertas de limpieza.

III. Materiales y Métodos

3.1. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo con el tipo de datos empleados para la investigación es **Cuantitativa** porque examina datos de manera numérica, específicamente en el campo de la Estadística ya que se trabajará con una gran cantidad de datos Hidrológicos que deben ser previamente analizados para obtener resultados objetivos.

Según el nivel de profundización es de carácter **Exploratorio** ya que, corresponde a un primer acercamiento al tema de manera medible, además es realizada para estudiar un problema que aún no ha sido definido en su totalidad.

3.2. Diseño de investigación

El diseño que utilizar en la investigación es de tipo **Cuasi Experimental** debido a que solo algunas de las variables del fenómeno a estudiar son controlables, además el grupo o muestra de estudio (datos de precipitaciones de la zona de estudio) es elegida de un grupo o población ya existente (datos hidrometeorológicos del país).

3.3. Población, muestra, muestreo

– Población:

La población para esta investigación son todos los datos hidrometeorológicos del Perú.

– **Muestra:**

La muestra comprendería los Datos de Precipitación de las Estaciones Pluviométricas localizadas dentro de la zona de estudio (Jayanca).

– **Muestreo:**

Para el caso de la presente investigación la Muestra coincide con el Muestreo ya que, no se seleccionará una fracción representativa de los datos, sino que se trabajará con la totalidad de estos, a través de un análisis estadístico.

3.4. Criterios de selección

Se eligió los datos de precipitación que estén dentro de la zona de Jayanca ya que el método de análisis a utilizar requiere datos que tengan correlación con la zona a estudiar, por este motivo se eligió los datos disponibles que tengan la mayor cercanía a la zona de estudio.

3.5. Operacionalización de variables

A continuación, se presenta el Cuadro de Operacionalización de Variables empleadas en la investigación:

Tabla 1: Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	DIMENSIÓN DE LA VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTO	MEDICIÓN
Variable Independiente	Estudio Topográfico	Curvas de Nivel Delimitación de la Cuenca Perfil Longitudinal del Río	SIG - DEM ArcGIS y/o AutoCAD AutoCAD y/o HEC-HMS	msnm Km, Km2 msnm
	Estudio Hidrológico	Precipitaciones Caudales de Diseño Tiempos de Retorno	SENAMHI Excel y/o HEC -RAS Manuales	mm m3/s años
Variable Dependiente	Estudio Hidráulico	Hidrogramas de Diseño Hietogramas de Diseño Curvas IDF Secciones Transversales Lineas de Flujo	Excel y/o HEC-HMS Excel y/o HEC-HMS Excel y/o HEC-HMS HEC -RAS HEC -RAS	Q vs t P vs t mm/h m -

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se presenta las técnicas e instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación:

Tabla 2: Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICA	INSTRUMENTO	FUENTE
Análisis Documental	Fichas Bibliográficas Registro de Páginas electrónicas	Manuales, Libros, Artículos de Investigación, Tesis, Normas, etc. SENAHMI, INEI, Google Earth, Earthdata NASA, ANA, etc.
Observación no experimental	Fichas de Registro	Visita a campo, Videos de la zona
	Diario de Campo	Visita a campo, Videos de la zona
	Memoria Fotográfica	Cámara fotográfica, Videos

3.7. Procedimientos

– Recolección y Análisis de Datos Hidrometeorológicos

Se procede a la descarga de la base de datos del SENAHMI (PISCO), del registro histórico de precipitaciones comprendidas en el área de estudio para los años de 1981-2016.

Luego se realiza el modelamiento probabilístico de los datos obtenido a través de la función de Valor Extremo Generalizado (GEV), hallando los parámetros necesarios para dicha función, luego es ordenado de menor a mayor y se calculan sus propiedades estadísticas.

Posteriormente se procede a la prueba de Kolmogórov-Smirnov para luego realizar una simulación de la muestra y observar el grado de ajuste de la función empleada para la muestra.

Y finalmente se procede a calcular la precipitación máxima en 24 horas para los distintos periodos de retorno necesarios.

Luego se procede a calcular la precipitación ponderada con ayuda del programa ArcGIS a través de las Isoyetas por el método de Kriging.

A continuación, se realiza un análisis de tormentas para determinar la distribución de la precipitación en el tiempo a través del método de la precipitación adimensional.

Como siguiente paso se calcula las intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas para proceder a la realización de las Curvas IDF y finalmente obtener el Hietograma de Diseño que es uno de los datos de entrada para el programa HEC-HMS.

– Delimitación de la Cuenca y Subcuencas del Área de Estudio

Como primer paso se obtiene las imágenes satelitales de la página de la NASA (Earth Data – ASF Data Search Vertex) correspondientes a la zona de estudio, luego se las ingresara al programa ArcGIS para poder realizar la delimitación de la cuenca y subcuencas, así como la obtención de los parámetros geomorfológicos de estas, datos que serán posteriormente utilizados para el programa HEC-HMS y el cálculo de caudales.

– **Creación del Modelo Hidrológico del Área de Estudio**

El modelo será creado en el software HEC-HMS mediante el ingreso de datos previamente calculados (Delimitación de la Cuenca y Subcuencas del Área de Estudio, Recolección y Análisis de Datos Hidrometeorológicos), después de haber configurado todos estos datos se obtiene como resultado el caudal de diseño o caudal máximo, que servirá posteriormente en el modelo Hidráulico a realizar en el software HEC-RAS.

– **Creación del Modelo Hidráulico del Área de Interés**

Para la creación de este modelo se utilizará el programa HEC-RAS para lo cual descargaremos imágenes satelitales de Land Viewer las cuales tienen una resolución de 5 metros, luego se realizaron algunos ajustes al área de estudio a través de secciones tomadas en campo y posteriormente se procedió a la simulación para los distintos periodos de retorno.

3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos

Etapa I: Trabajo Preliminar

- Datos Topográficos (DEM, SIG, Google Earth, Global Mapper).
- Datos Hidrológicos y Meteorológicos (SENAMHI, ANA, INGEMMET).

Etapa II: Procesamiento inicial de datos de precipitación

- Análisis de datos de precipitación a través de las distribuciones estadísticas de probabilidad (GEV).
- Cálculo de precipitación máxima para diferentes tiempos de duración.
- Cálculo de intensidad de lluvia para diferentes tiempos de retorno.
- Obtención de gráficas IDF a partir de los valores obtenidos.

Etapa III: Modelamiento Hidrológico e Hidráulico

Descripción y configuración del modelo hidrológico:

- Creación de elementos hidrológicos (subcuenca, punto de aforo, líneas de flujo)
- Ingresar datos al HEC-HMS (cuenca, precipitaciones, etc.).

Descripción y configuración del modelo hidráulico:

- Configuración topográfica de la zona de estudio.
- Elaboración del modelo hidráulico del Río Motupe.

Etapa IV: Generación del Mapa de Inundación

- Importación del archivo generado.
- Obtención del Mapa de Inundación para el Distrito de Jayanca.

3.9. Matriz de consistencia

Tabla 3: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA							
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIÓN DE LA VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTO	MEDICIÓN
¿Qué zonas del Distrito de Jayanca son vulnerables a sufrir daños a causa de una posible inundación?	OBJETIVO GENERAL	La identificación de las zonas vulnerables de Jayanca servira para la aplicación de una solución que mitigue o eliminer el daño producido por los episodios extraordinarios de precipitación.	Variable Independiente	Estudio Topográfico	Curvas de Nivel	SIG - DEM	msnm
	Identificar las zonas con riesgo de inundación del río Motupe en el distrito de Jayanca para los diferentes periodos de retorno.				Delimitación de la Cuenca	ArcGIS y/o AutoCAD	Km, Km2
					Perfil Longitudinal del Río	AutoCAD y/o HEC-HMS	msnm
				Estudio Hidrológico	Precipitaciones	SENAMHI	mm
	Caudales de Diseño				Excel y/o HEC -RAS	m3/s	
	Tiempos de Retorno				Manuales	años	
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		Variable Dependiente	Estudio Hidráulico	Hidrogramas de Diseño	Excel y/o HEC-HMS	Q vs t
	* Obtener la topografía de la Cuenca del Río Motupe a través del Sistema de Información Geográfica.				Hietogramas de Diseño	Excel y/o HEC-HMS	P vs t
	* Determinar los parámetros geomorfológicos de la cuenca y subcuenca donde se encuentra el distrito de Jayanca.				Curvas IDF	Excel y/o HEC-HMS	mm/h
	* Obtener caudales de diseño para los distintos tiempos de retorno en el distrito Jayanca con el uso del software HEC-HMS.				Secciones Transversales	HEC -RAS	m
* Realizar el modelamiento hidráulico del río Motupe en la zona del distrito de Jayanca para distintos tiempos de retorno mediante el uso del software HEC-RAS.	Lineas de Flujo	HEC -RAS	-				
* Elaborar el mapa de riesgo de inundación del distrito de Jayanca, usando el Sistema de Información Geográfico y el HEC-RAS.							
* Plantear una alternativa de solución con sustento técnico ante el problema de inundación.							
* Verificar como influye la alternativa de solución en el comportamiento del cauce del río Motupe en el distrito de Jayanca.							

3.10. Consideraciones éticas

En la actualidad la investigación es una herramienta fundamental, pues cumple un papel muy relevante en el desarrollo de nuevos conocimientos y, por esta razón es necesario que se tenga información en la cual se pueda confiar, pues de esta manera los estudios posteriores contarán con gran veracidad, logrando de esta manera, un desarrollo más próspero y confiable. El presente estudio de investigación se desarrolló alineado de acuerdo con aspectos como honestidad y ética, pues la información empleada en su desarrollo ha sido citada adecuadamente respetando la propiedad intelectual, los procedimientos de cada una de las etapas han respetado las normativas pertinentes, y finalmente la formulación y ejecución de la investigación se realizó con los protocolos vigentes de la Institución educativa superior.

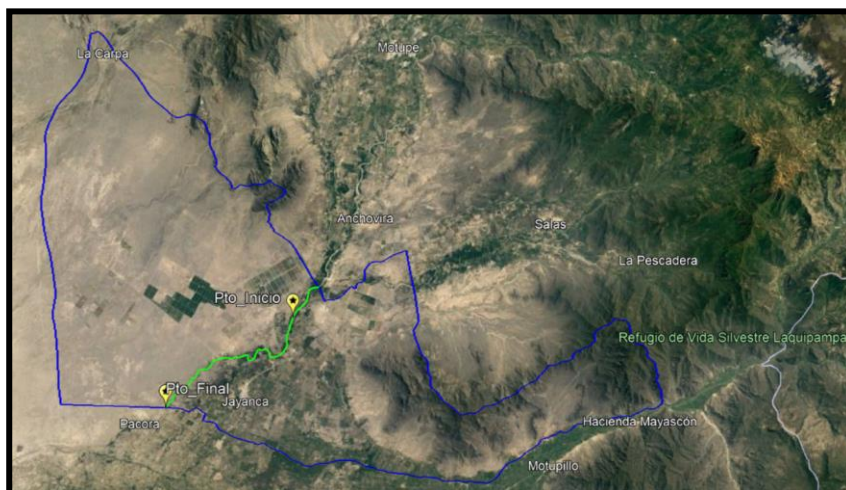
IV. Resultados y Discusión

4.1. Descripción del Área de Estudio

El distrito de Jayanca se encuentra ubicado en la provincia de Lambayeque, es tradicionalmente un distrito agropecuario ubicado a 47 km de la ciudad de Chiclayo y su altura promedio es de 61 m.s.n.m.

En el presente trabajo de investigación se ha estudiado las consecuencias del pase de Rio Motupe a lo largo del territorio de Jayanca, teniendo como punto de INICIO: 634083.00 m E, 9299106.00 m S y como punto FINAL: 624146.00 m E, 9292108.00 m S; comprendiendo un tramo total de 18.9 km, y un área aproximada de 215 km².

Figura 1: Limites del Distrito de Jayanca

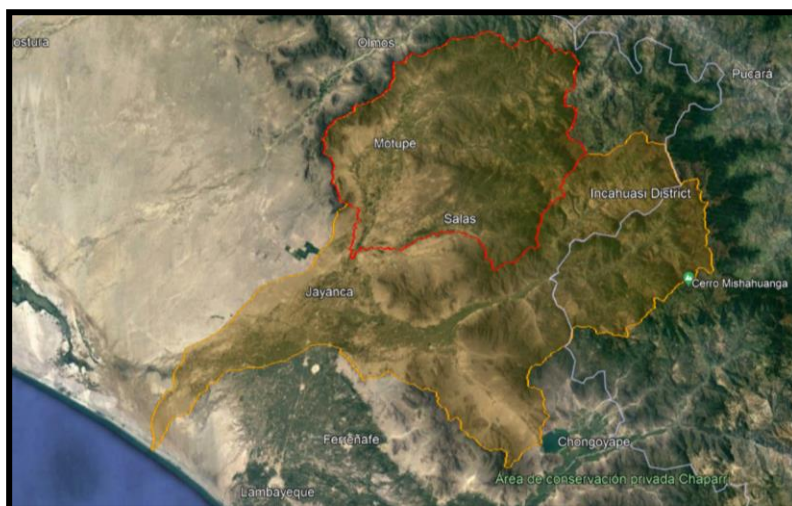


4.2. Descripción de la Cuenca

Para la delimitación de la cuenca se utilizaron imágenes satelitales de la página ASF Data Search Vertex de la NASA, específicamente del satélite ALOS PALSAR, luego se recurrió al uso del software ArcGIS para la delimitación y cálculo de parámetros geomorfológicos de la cuenca de interés, la cual es parte de la Cuenca Motupe.

En la siguiente imagen se puede observar en color naranja la Cuenca Motupe y de color rojo la cuenca en estudio.

Figura 2: Cuenca Motupe – Olmos – La Leche



4.3. Parámetros Geomorfológicos

Los parámetros que se presentan en la siguiente tabla se realizaron con ayuda del Software ArcGIS y una hoja de cálculo en Excel.

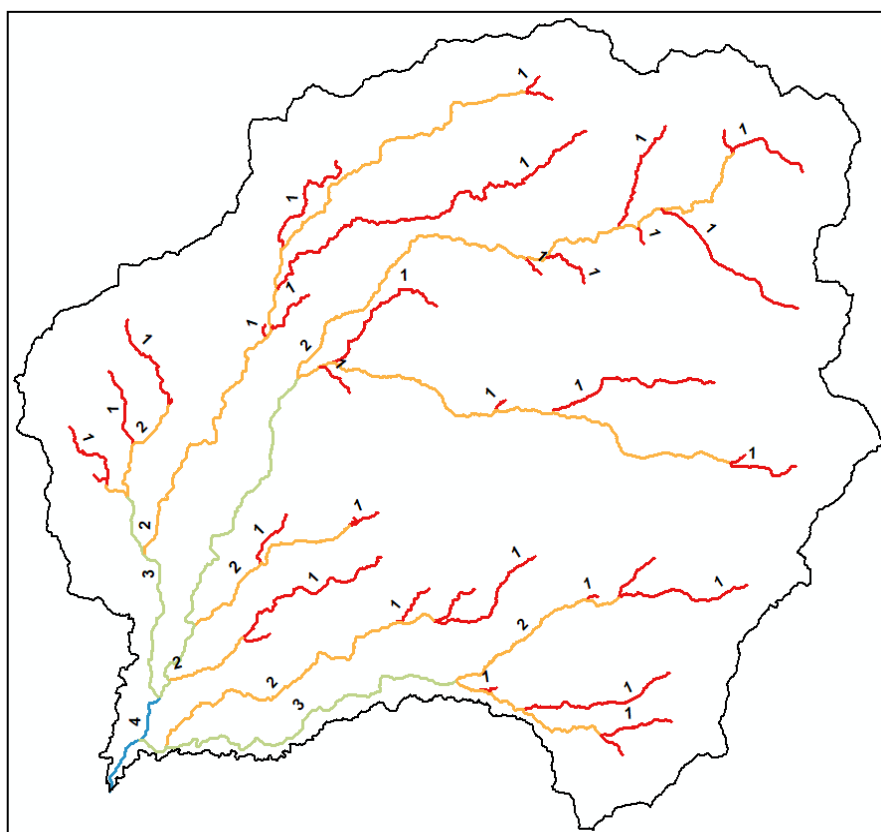
Tabla 4: Parámetros Geomorfológicos de la cuenca

PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS			
Área	A	1367.89	km ²
Perímetro	P	198.80	km
Centroide en X	G_x	654246.54	m E
Centroide en Y	G_y	9319044.29	m S
Longitud de Máximo Recorrido	L_{máx.}	75.27	km
Ancho Promedio de la Cuenca	W	18.17	km
Cota Mínima	Z_{mín.}	84	m.s.n.m.
Cota Máxima	Z_{máx.}	4048	m.s.n.m.
Desnivel Altitudinal	ΔZ	3964	m
Índice o Factor de Forma	F	0.24	
Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad	K	1.52	
Coeficiente de Masividad	C_m	0.66	
Densidad de Drenaje	D_r	0.30	km/km ²

Del análisis de la tabla anterior nos encontramos con una cuenca de una longitud de recorrido muy grande con una gran pendiente al inicio y pendientes muy bajas hacia el final de su recorrido, así mismo de acuerdo al índice de forma y coeficiente de compacidad la cuenca tiene una forma ligeramente alargada, de acuerdo al coeficiente de masividad tenemos una cuenca llana ya que este valor es bajo, y por último acuerdo a la densidad de drenaje tenemos una cuenca con un bajo potencial de escurrimiento.

En la siguiente Imagen se puede observar el valor máximo del orden de drenaje de la cuenca:

Figura 3: Orden de la red de drenaje de la cuenca



Luego del respectivo análisis se determina que el orden de la cuenca es 4 por lo cual nos encontramos ante una cuenca de una baja red de drenaje.

En la siguiente tabla podemos observar el cálculo de la pendiente media de la cuenca:

Tabla 5: Pendiente media de la cuenca

Clase	Linf	Lsup	MC (θ)	Area_km2	MC*A
1	0.0000	6.6144	3.31	47.42	156.832218
2	6.6144	15.1187	10.87	22.55	244.9968163
3	15.1187	22.3630	18.74	21.94	411.1471515
4	22.3630	29.6074	25.99	18.90	491.1991459
5	29.6074	37.4817	33.54	16.02	537.4490893
6	37.4817	48.5057	42.99	7.86	337.9611291
7	48.5057	80.3178	64.41	2.10	135.0161036
		SUMA	199.85	136.788	2314.601654

θ pond.	16.92
S pond.	30.42%

En la siguiente tabla podemos observar la altitud media de la cuenca calculada de dos formas, una la media aritmética simple y la otra por una ponderación con relación a las áreas entre las cotas determinadas.

Z prom	2060.06	m.s.n.m
---------------	---------	---------

Tabla 6: Altitud media de la cuenca

Clase	Linf	Lsup	MC_Elev	Area_km2	Elev*Area	%Area
1	84	200	142	403.53	57301.32	29.50%
2	200	400	300	179.93	53978.34	13.15%
3	400	600	500	99.41	49706.97	7.27%
4	600	800	700	96.30	67408.22	7.04%
5	800	1000	900	88.00	79197.40	6.43%
6	1000	1200	1100	84.59	93049.21	6.18%
7	1200	1400	1300	87.57	113839.47	6.40%
8	1400	1600	1500	68.12	102185.67	4.98%
9	1600	1800	1700	59.89	101809.98	4.38%
10	1800	2000	1900	51.46	97765.39	3.76%
11	2000	2200	2100	41.87	87931.55	3.06%
12	2200	2400	2300	27.22	62608.09	1.99%
13	2400	2600	2500	20.98	52450.27	1.53%
14	2600	2800	2700	19.58	52870.26	1.43%
15	2800	3000	2900	15.73	45629.49	1.15%
16	3000	3200	3100	5.11	15839.49	0.37%
17	3200	3400	3300	4.15	13696.54	0.30%
18	3400	3600	3500	4.27	14947.92	0.31%
19	3600	3800	3700	8.43	31183.30	0.62%
20	3800	4048	3924	1.73	6795.25	0.13%
		SUMA	40066	1367.87	1200194.12	

Z pond	877.42	m.s.n.m
---------------	--------	---------

Se puede observar que, de acuerdo con el cálculo, la cota promedio es de 2060.06 m.s.n.m., sin embargo, al calcular la pendiente media por una ponderación esta resulta 877.42 lo cual es un mejor valor representativo para esta.

En el siguiente grafico podemos observar el Histograma de frecuencia altitudes:

Gráfico 1: Histograma de frecuencia de altitudes

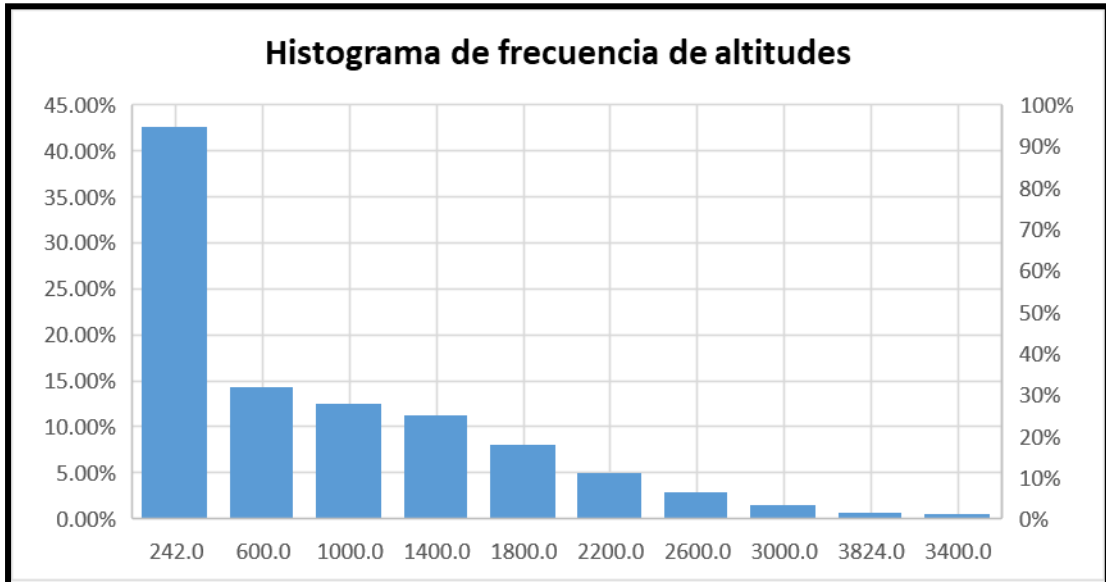
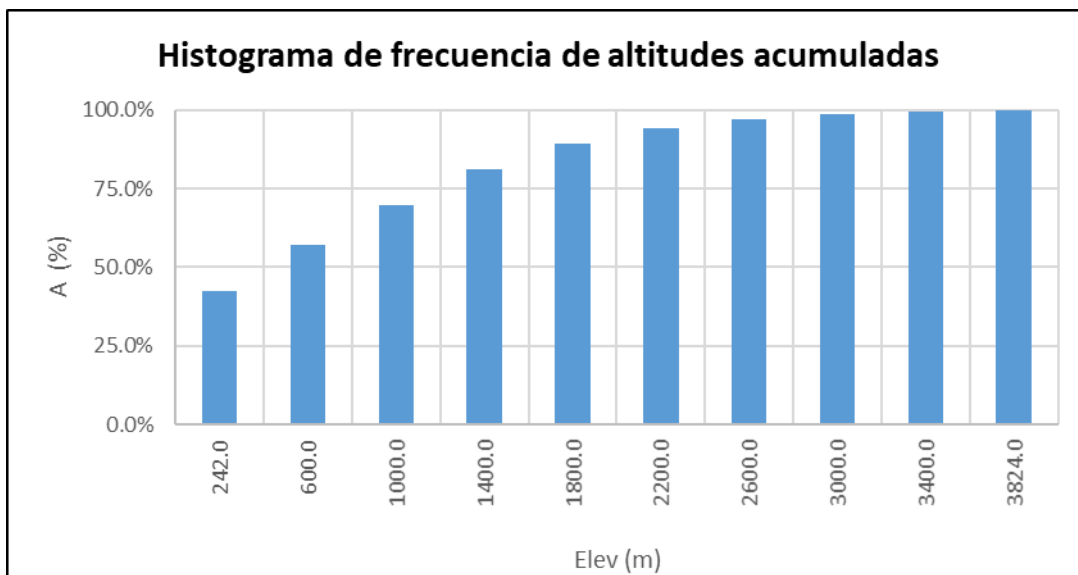


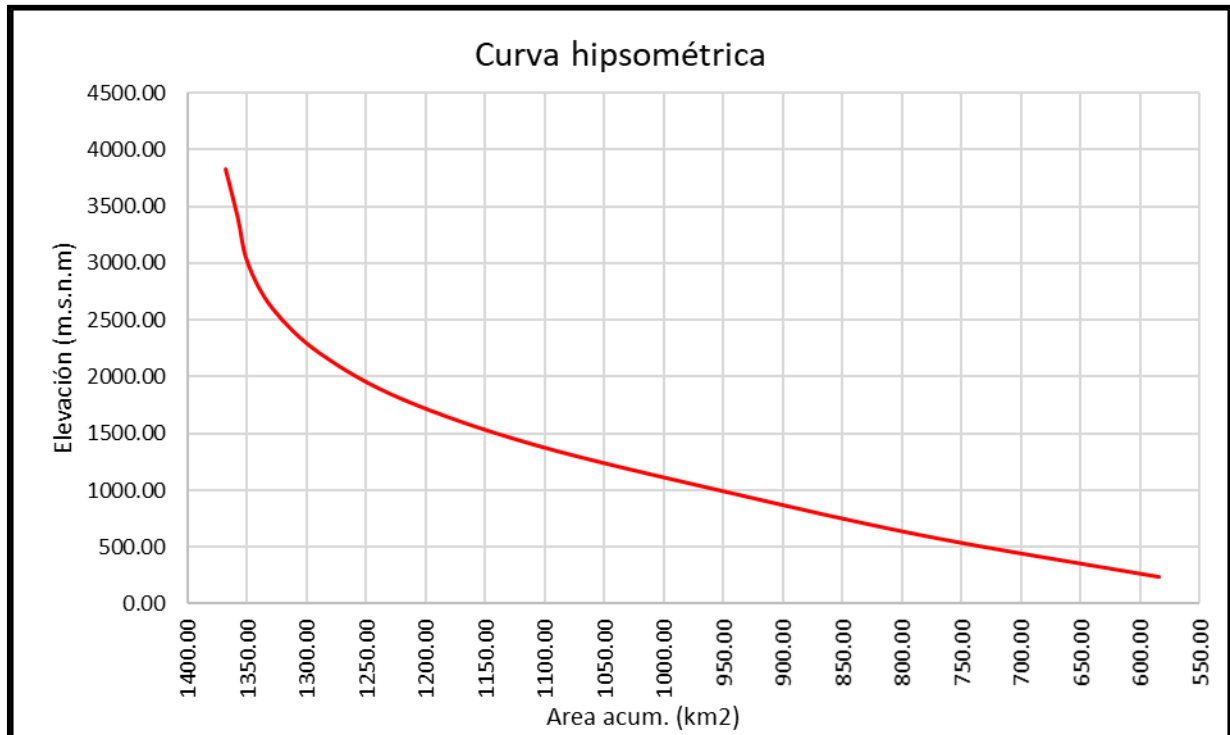
Gráfico 2: Histograma de frecuencia de altitudes acumuladas



De acuerdo con los gráficos anteriores podemos indicar que la mayoría de las altitudes de la cuenca se encuentran entre los 200 y 2600 m.s.n.m.

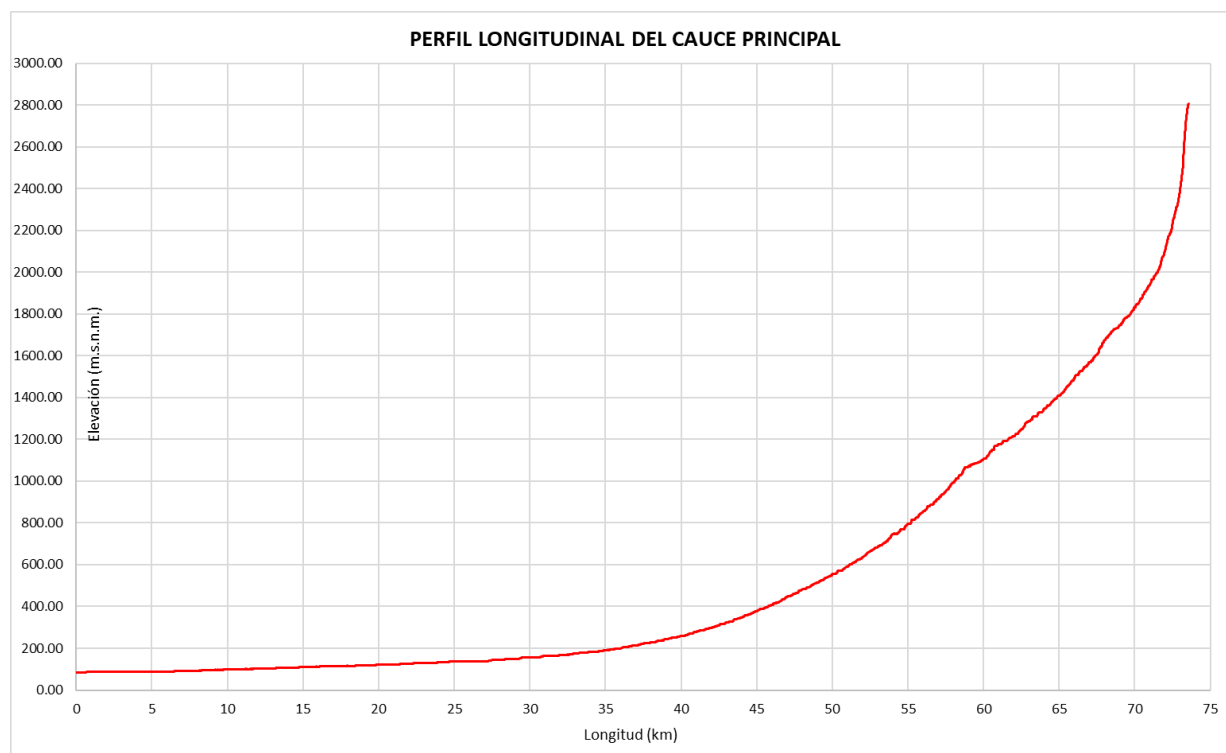
Así mismo en la siguiente imagen se puede observar a curva hipsométrica:

Gráfico 3: Curva Hipsométrica



Al interpretar la Curva hipsométrica podemos decir que nos encontramos ante un río bastante desarrollado y de una gran antigüedad.

En el siguiente gráfico podemos observar el Perfil Longitudinal y el cálculo de la pendiente promedio y la pendiente ponderada del cauce principal:

Gráfico 4: Perfil longitudinal del cauce principal

Sprom.	3.68%
---------------	-------

Tabla 7: Pendiente ponderada del cauce principal

n°	Linf	Lsup	MC	Obs.	MC*Obs.
1	0.001	12.90	6.45	5135	33111.08
2	12.90	25.79	19.34	410	7930.36
3	25.79	38.68	32.24	82	2643.40
4	38.68	51.58	45.13	23	1038.01
5	51.58	64.47	58.03	13	754.33
6	64.47	77.37	70.92	10	709.19
7	77.37	90.26	83.81	1	83.81
8	90.26	103.15	96.71	2	193.42
9	103.15	116.05	109.60	5	548.01
10	116.05	128.94	122.50	3	367.49
11	128.94	141.84	135.39	2	270.78
12	141.84	154.73	148.28	0	0.00
13	154.73	167.63	161.18	2	322.36
			SUMA	5688	47972.24

Spond.	8.43%
---------------	-------

En el gráfico anterior se observa que la pendiente promedio del cauce principal es de 3.68%, pero al calcular mediante una ponderación resulta 8.43%, valor que es más representativo para el cauce ya que en este método se toma en cuenta las pendientes por tramos.

Además, se calculó el tiempo de concentración por distintas fórmulas como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 8: Tiempo de concentración de la cuenca

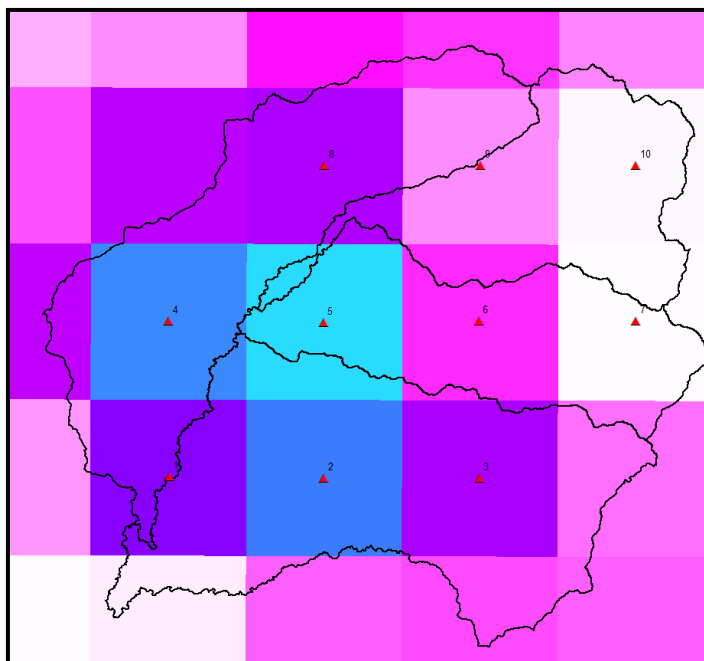
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN			
Tc1	4.70 horas	282.08 min	Método de Kirpich
Tc2	5.59 horas	335.59 min	Método de California
Tc3	5.13 horas	307.69 min	Método de Giandotti
Tc4	5.25 horas	314.79 min	Método de Temez
Tc5	6.82 horas	409.20 min	Método del SCS

De la tabla anterior podemos decir que el tiempo de concentración promedio es de 5 horas 30 minutos para la cuenca en cuestión.

4.4. Análisis de Precipitación

Para el análisis de la precipitación el primer paso fue obtenerla a través de la página del SENAHMI-PISCO, después del respectivo análisis se obtuvo información para 10 puntos representativos de la cuenca, la información fue extraída mediante un código en lenguaje R con el uso del programa RStudio. Una vez obtenida la información fue procesada en Excel.

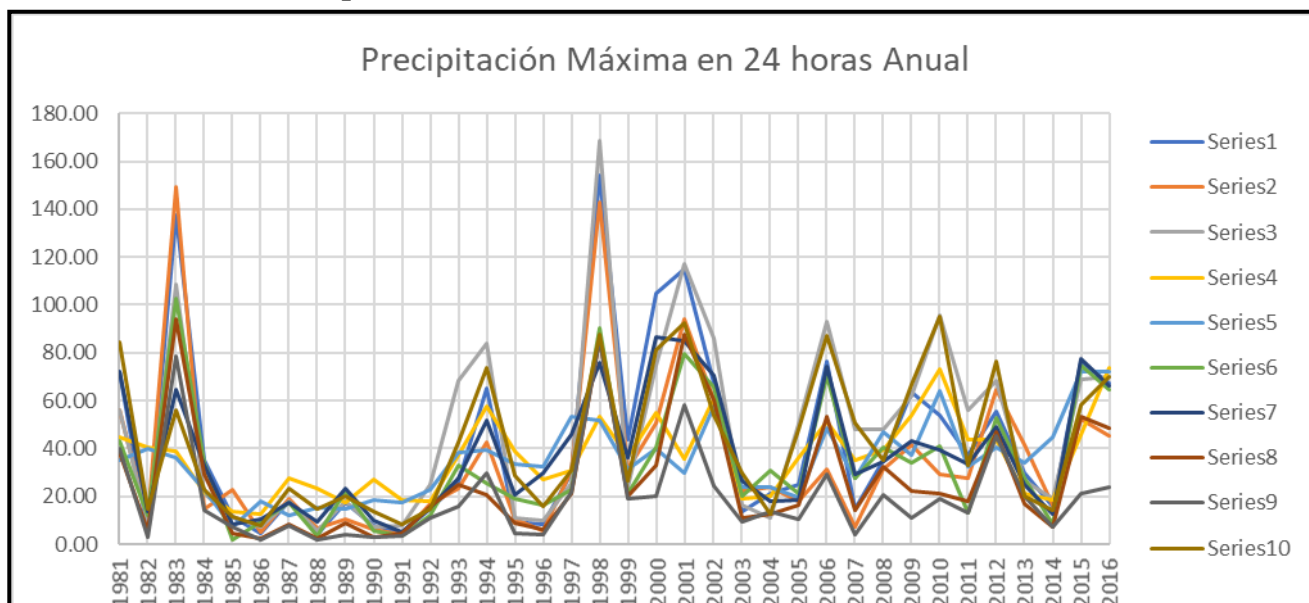
Figura 4: Ubicación de los puntos a extraer información



En el siguiente gráfico se puede observar la distribución de los puntos elegidos:

A continuación, se muestra la precipitación máxima para cada año de registro y para cada punto seleccionado:

Gráfico 5: Precipitación máxima en 24 horas anual



Como paso siguiente se realizó el análisis estadístico para cada uno de los 10 puntos seleccionados, ajustando los datos a la función de probabilidad de Valor Extremo Generalizado y realizando la prueba de Kolmogórov-Smirnov, para finalmente hacer una simulación de la muestra en la cual se obtuvo resultados muy favorables, luego con la ayuda de esta función y asignando para cada valor un periodo de retorno se calculó la precipitación máxima para distintos periodos de retorno.

En la siguiente tabla se puede observar los valores obtenidos para cada punto y para cada periodo de retorno:

Tabla 9: Precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno

Tr	P(X>x)	E9	E8	E6	E2	E1	E7	E5	E3	E10	E4
20	0.050	56.95	75.91	85.69	97.81	120.26	86.78	65.20	124.48	98.59	66.99
50	0.020	83.84	107.45	112.05	141.53	165.22	106.49	75.24	161.93	121.22	77.01
100	0.010	110.03	136.62	134.07	183.54	205.07	121.46	82.28	192.64	138.38	84.04
200	0.005	142.75	171.45	158.14	235.38	250.94	136.54	88.93	225.70	155.68	90.64
500	0.002	198.91	228.17	193.53	323.11	322.50	156.72	97.15	273.41	178.78	98.79

Para cada punto se analizó a que tipo de familia correspondía de acuerdo con sus parámetros, de lo cual resulto la siguiente tabla:

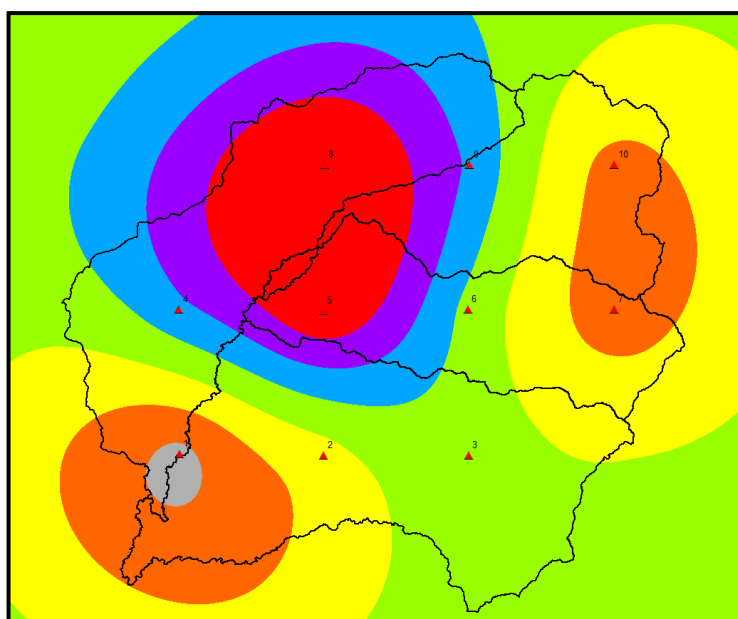
Tabla 10: Tipo de distribución de cada estación

Estación	k	Familia
E1	0.079	Fréchet
E2	0.083	Fréchet
E3	-0.260	Weibull
E4	-0.016	Weibull
E5	-0.017	Weibull
E6	-0.111	Weibull
E7	-0.134	Weibull
E8	-0.307	Weibull
E9	-0.207	Weibull
E10	-0.324	Weibull

Para el cálculo de la precipitación ponderada se utilizó el método de Isoyetas por Kriging, del cual se muestran los resultados a continuación:

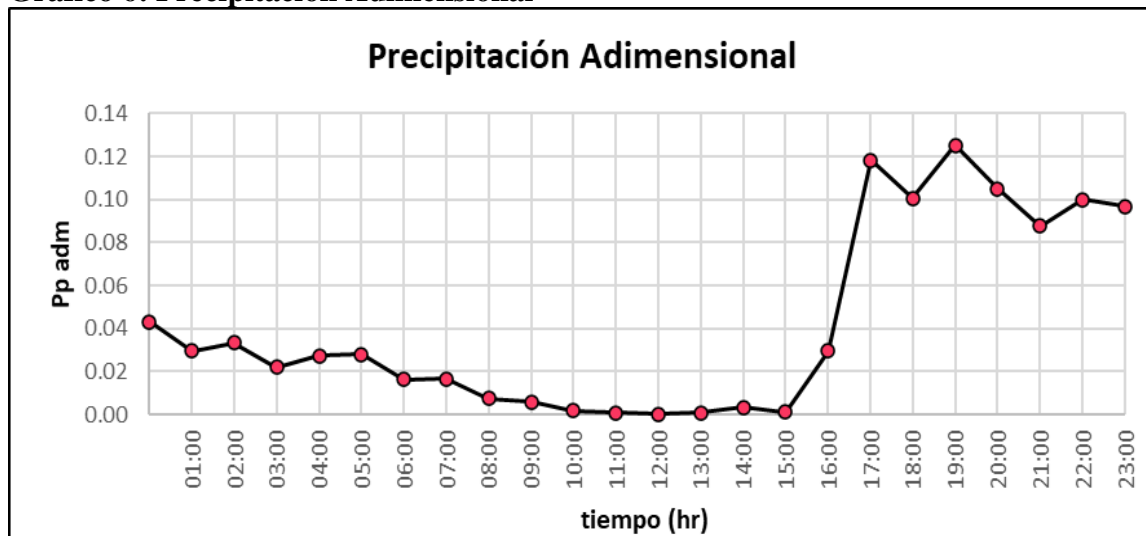
Tabla 11: Precipitación ponderada por el método de Isoyetas

Cálculo Ppond_Isoyetas_Kriging					
Tr	P(X>x)	Ppond_SB1	Ppond_SB2	Ppond_SB3	Ppond_SB4
20	0.05	99.40	83.35	90.27	80.32
50	0.02	136.95	100.69	115.28	107.15
100	0.01	168.94	113.81	135.40	134.61
200	0.005	205.03	127.09	157.02	163.69
500	0.002	265.46	146.18	188.37	203.23

Figura 5: Isoyetas por el método de Kriging

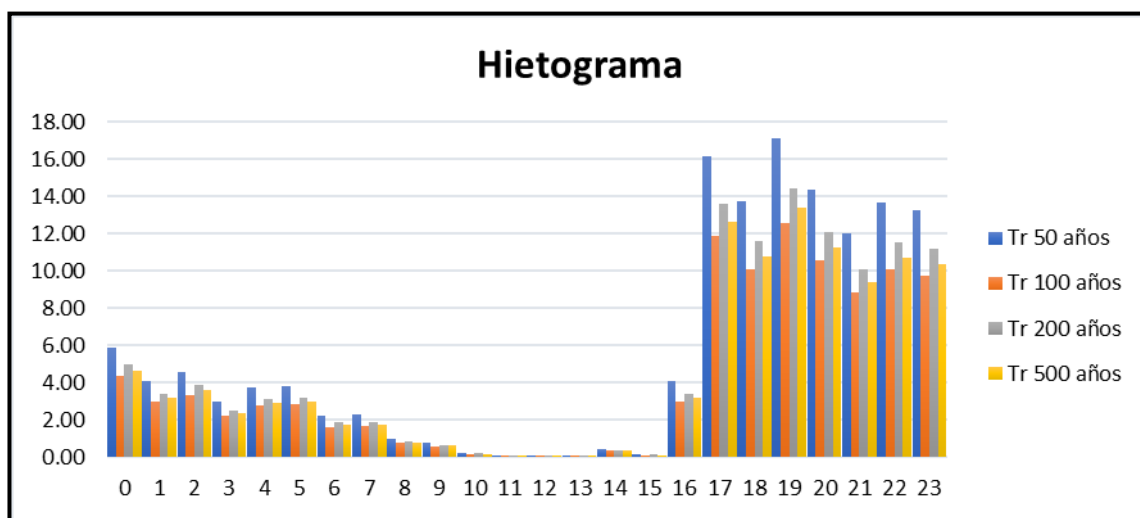
Seguido se utilizó el método del hietograma adimensional para obtener la distribución de las precipitaciones, mediante el análisis de las tormentas más representativas de la estación analizada, en el siguiente grafico se puede observar dicha distribución:

Gráfico 6: Precipitación Adimensional



Mediante el hietograma adimensional y la precipitación máxima en 24 horas podemos construir los hietogramas para cada uno de los periodos de retorno, lo que se muestra en la siguiente imagen:

Gráfico 7: Hietogramas de diseño



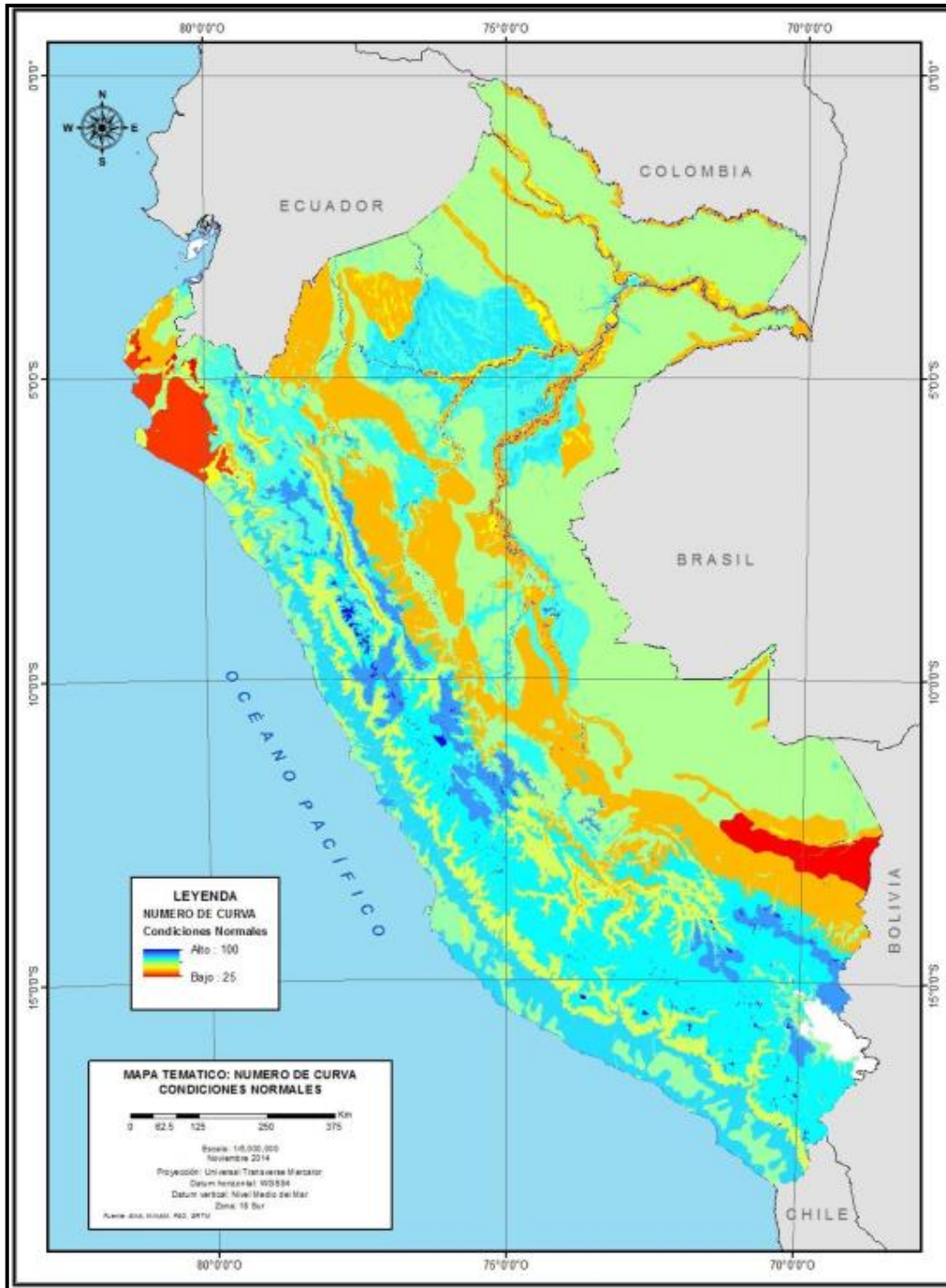
4.5. Modelo Hidrológico HEC-HMS

Para el modelo hidrológico previamente se ha trabajado la información de precipitación y el cálculo del número de curva para cada subcuenca mediante el archivo obtenido de la página del ANA, organismo que ha generado el mapa temático del número de curva para todo el Perú en 3 distintas condiciones: húmedas, normales y secas.

Como referencia para la creación de este mapa tenemos al documento “Generación del mapa temático de Curva Numero (CN)” del 2015 realizado por el SNIRH. Para el caso en estudio se empleó el número de curva en condiciones normales debido a que la mayoría de la cuenca se encuentra en condiciones secas o normales y solo las partes más altas en estado húmedo, siendo estas poco representativas.

A continuación, podemos observar el mapa temático del número de curva para condiciones normales:

Figura 6: Número de curva en condiciones normales



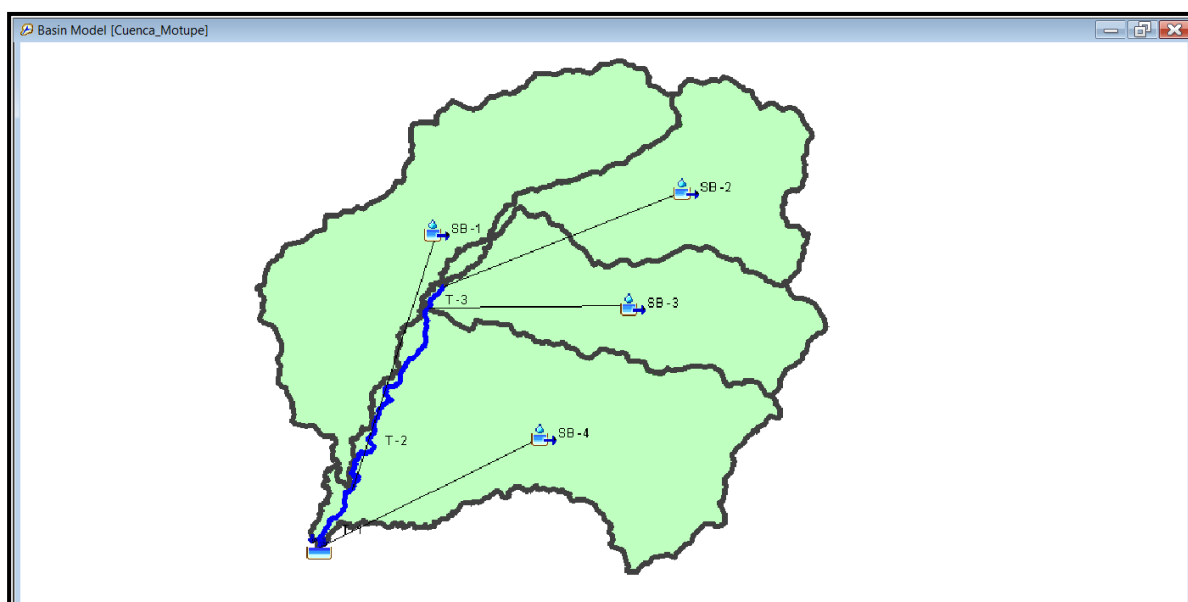
Fuente: SENAHMI - SNIRH

Una vez obtenido este mapa se procede a calcular el número de curva ponderado con ayuda del ArcGIS para cada una de las subcuencas, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 12: Numero de curva ponderado para cada subcuena

Sub-Cuenca	CN-cn
SB1	65.45
SB2	67.25
SB3	59.17
SB4	56.25

En el siguiente grafico se puede observar la división de subcuenas en el programa HEC-HMS:

Gráfico 8: División de subcuenas

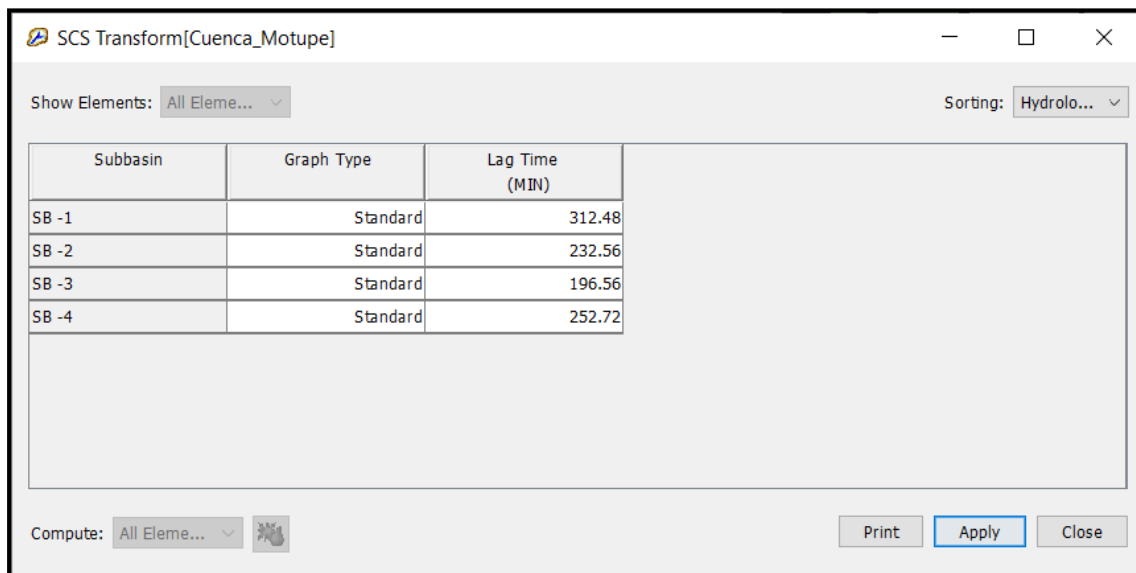
Para el cálculo del tiempo de concentración se realizó en el mismo programa, los parámetros de cada subcuena se muestran en la siguiente tabla:

Gráfico 9: Parámetros morfológicos de cada subcuena

Subbasin	Longest Flowpath Length (KM)	Longest Flowpath Slope	Centroidal Flowpath Length (KM)	Centroidal Flowpath Slope	10-85 Flowpath Length (KM)	10-85 Flowpath Slope	Basin Slope	Basin Relief (M)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (KM/KM ²)
SB - 1	63.07135	0.02824	31.85104	0.00235	47.30351	0.01206	0.26374	2112.00000	0.03349	0.35831	0.07326
SB - 2	46.11858	0.06335	29.76681	0.02849	34.58893	0.04050	0.48950	3746.00000	0.08123	0.38071	0.08072
SB - 3	43.36080	0.08674	22.35879	0.02616	32.52060	0.06170	0.41491	3911.00000	0.09020	0.41852	0.02730
SB - 4	52.35642	0.05417	30.75322	0.00442	39.26732	0.03201	0.24504	2938.00000	0.05612	0.46572	0.08522

Una vez calculados estos parámetros se procede a calcular los tiempos de concentración para cada subcuenca y se obtiene los siguientes resultados:

Gráfico 10: Tiempo de retraso para cada subcuenca



The screenshot shows the 'SCS Transform[Cuenca_Motupe]' window. It features a table with the following data:

Subbasin	Graph Type	Lag Time (MIN)
SB -1	Standard	312.48
SB -2	Standard	232.56
SB -3	Standard	196.56
SB -4	Standard	252.72

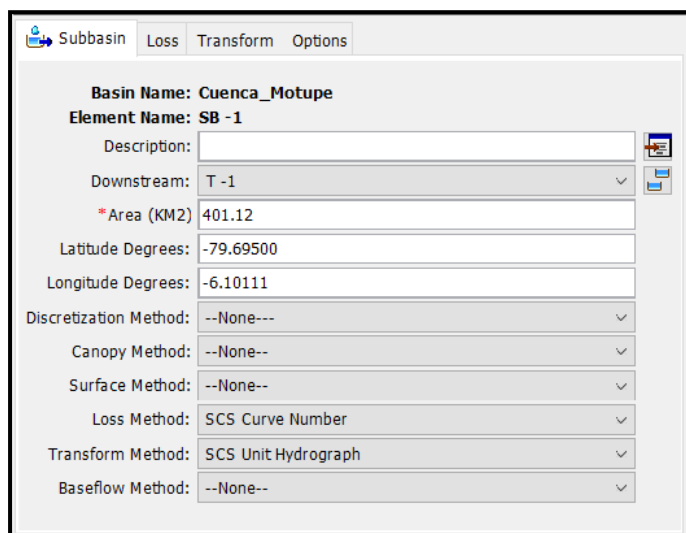
Additional interface elements include 'Show Elements: All Eleme...', 'Sorting: Hydrolo...', 'Compute: All Eleme...', and buttons for 'Print', 'Apply', and 'Close'.

Para la configuración del modelo se utilizaron los siguientes métodos:

Para el método de pérdidas se utilizó el Numero de Curva del SCS, para el método de transformación el Hidrograma Unitario del SCS.

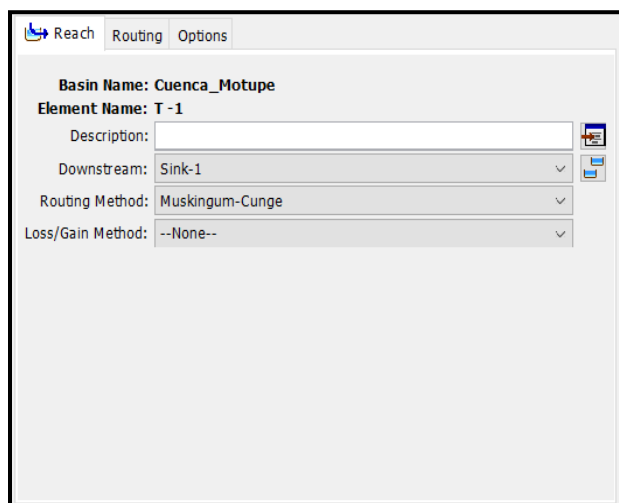
Mientras que para el método de Enrutamiento se aplicó el de Muskingun-Cunge, obteniendo los parámetros necesarios para el método a través de imágenes satelitales y visitas a campo para recolectar la información necesaria.

Gráfico 11: Métodos utilizados en HEC-HMS



The screenshot shows the 'Subbasin' configuration window in HEC-HMS. The configuration is as follows:

- Basin Name: Cuenca_Motupe
- Element Name: SB -1
- Description: [Empty field]
- Downstream: T -1
- * Area (KM2): 401.12
- Latitude Degrees: -79.69500
- Longitude Degrees: -6.10111
- Discretization Method: --None---
- Canopy Method: --None--
- Surface Method: --None--
- Loss Method: SCS Curve Number
- Transform Method: SCS Unit Hydrograph
- Baseflow Method: --None--

Gráfico 12: Método de enrutamiento utilizado en HEC-HMS

Luego de configurar todo el modelo en HEC-HMS obtenemos los caudales para los distintos tiempos de retorno, así como también los hidrogramas que nos servirán para el modelo hidráulico a realizar en HEC-RAS.

Una vez realizado el modelo y computado se obtuvieron los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 13: Caudales obtenidos para cada tiempo de retorno

TR	Caudal Pico (m ³ /s)
50	822.30
100	1293.20
200	1884.00
500	2861.90

A continuación, se muestran los diferentes hidrogramas obtenidos para cada periodo de retorno:

Gráfico 13: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 50 años

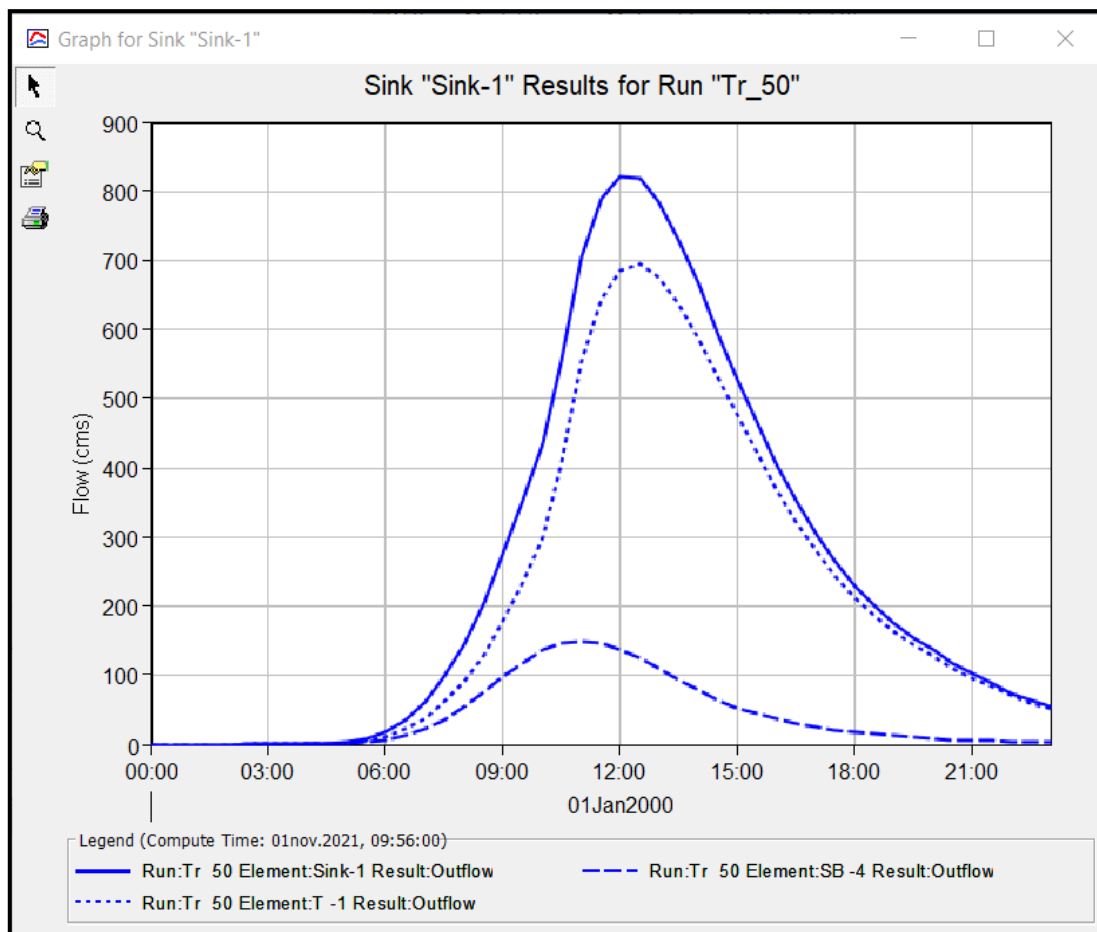


Gráfico 14: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 100 años

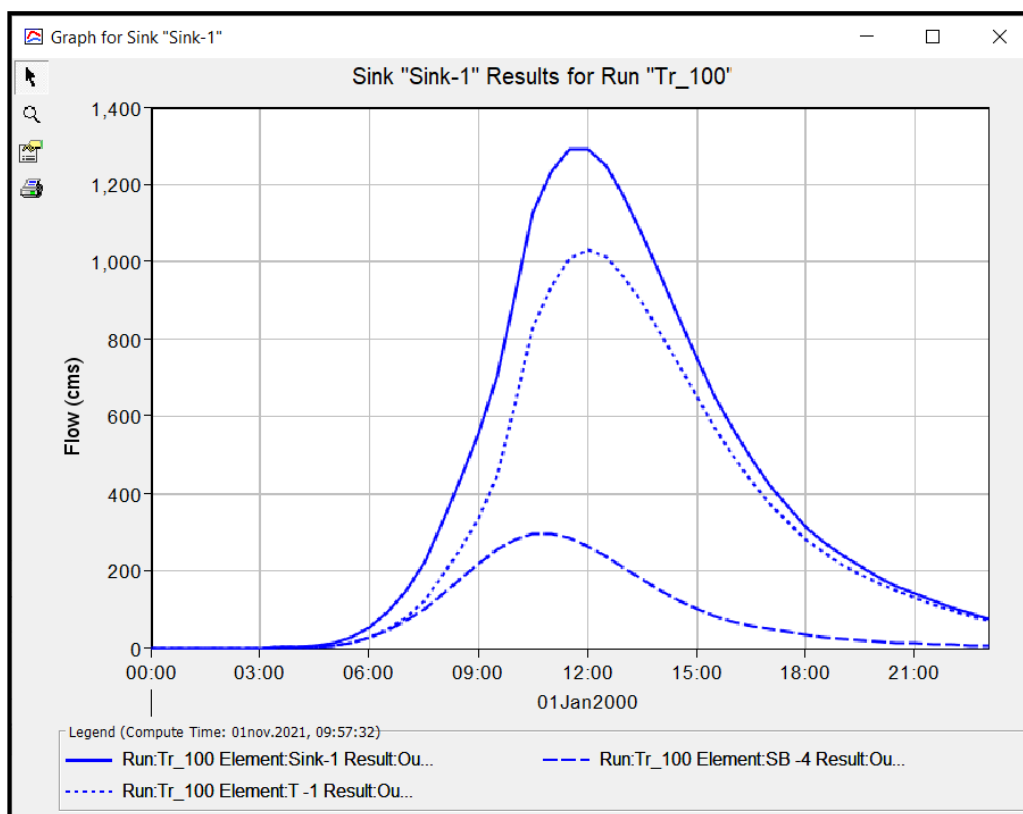


Gráfico 15: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 200 años

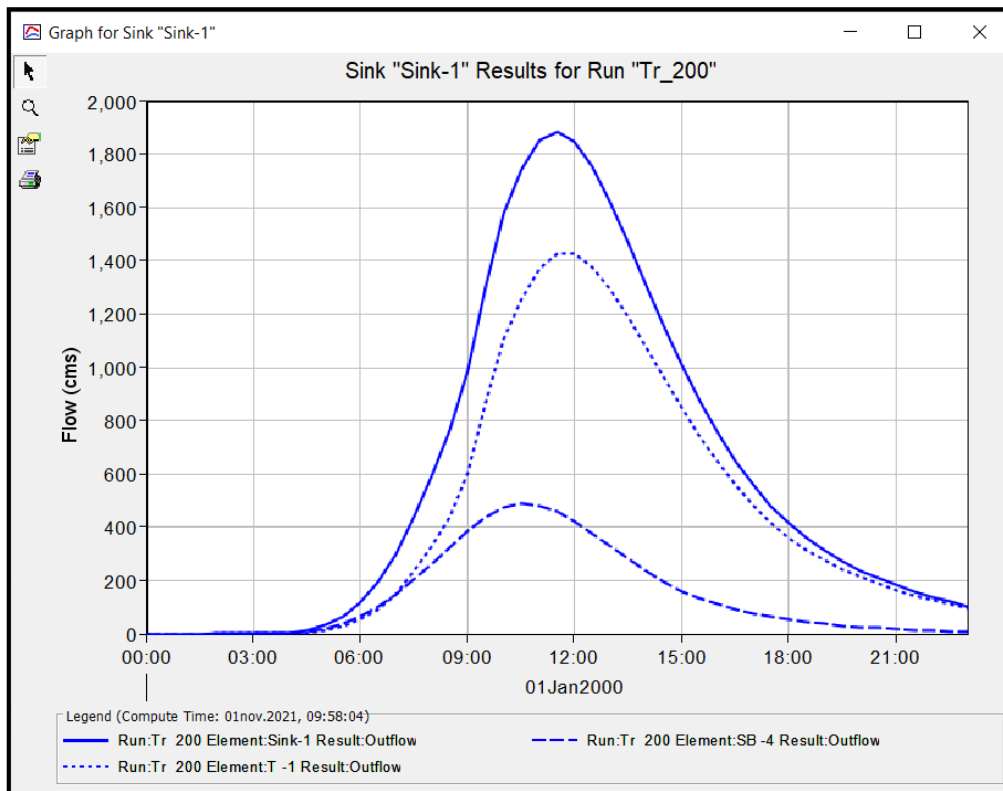
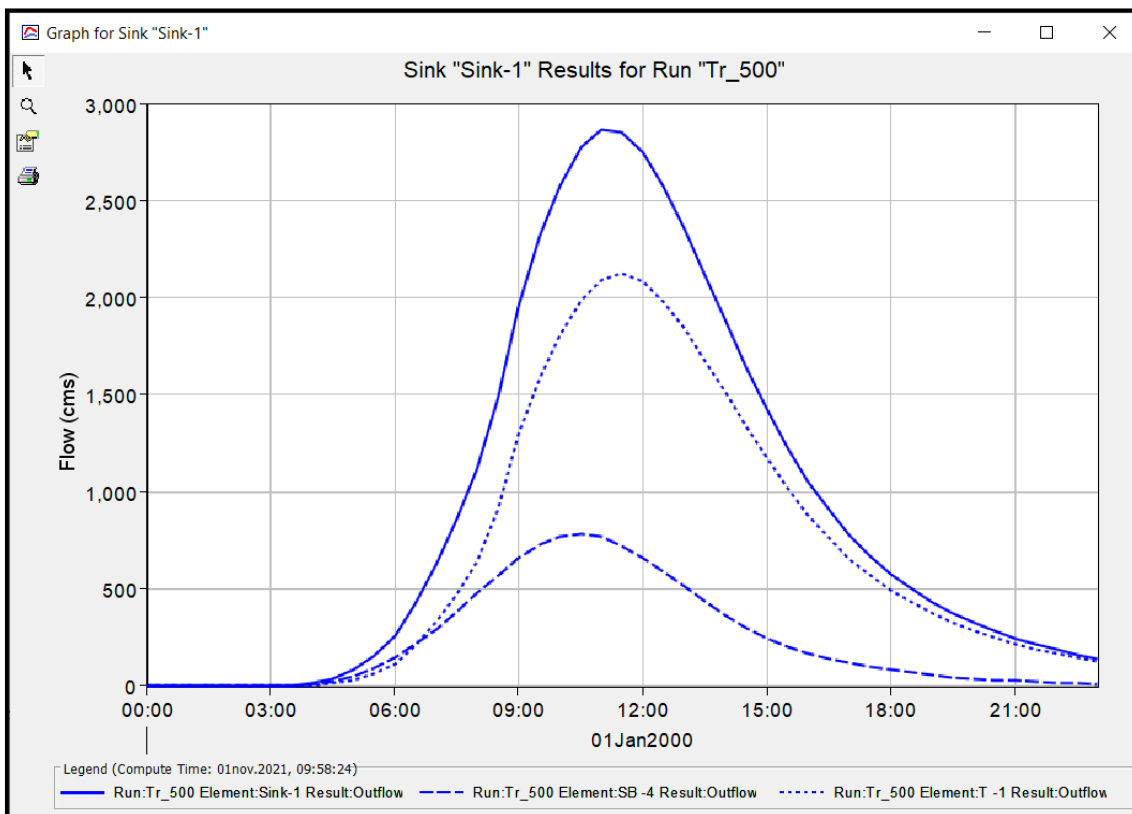


Gráfico 16: Hidrograma de salida de la cuenca para el tiempo de retorno de 500 años



4.6. Modelo Hidráulico HEC-RAS

Para el modelamiento hidráulico se utilizó imágenes DEM para obtener la topografía de la zona de estudio, estas imágenes se obtuvieron a través de la página Land Viewer en la que podemos encontrar Modelos Digitales de Terreno de una resolución de hasta 5 m.

La versión del HEC-RAS utilizada fue 6.1.0 una de las más recientes, las configuraciones fueron realizadas en el mismo programa, previamente se realizó el archivo que incluye los coeficientes de rugosidad del área de interés en el programa ArcGIS a través de un shapefile y una clasificación de áreas supervisada.

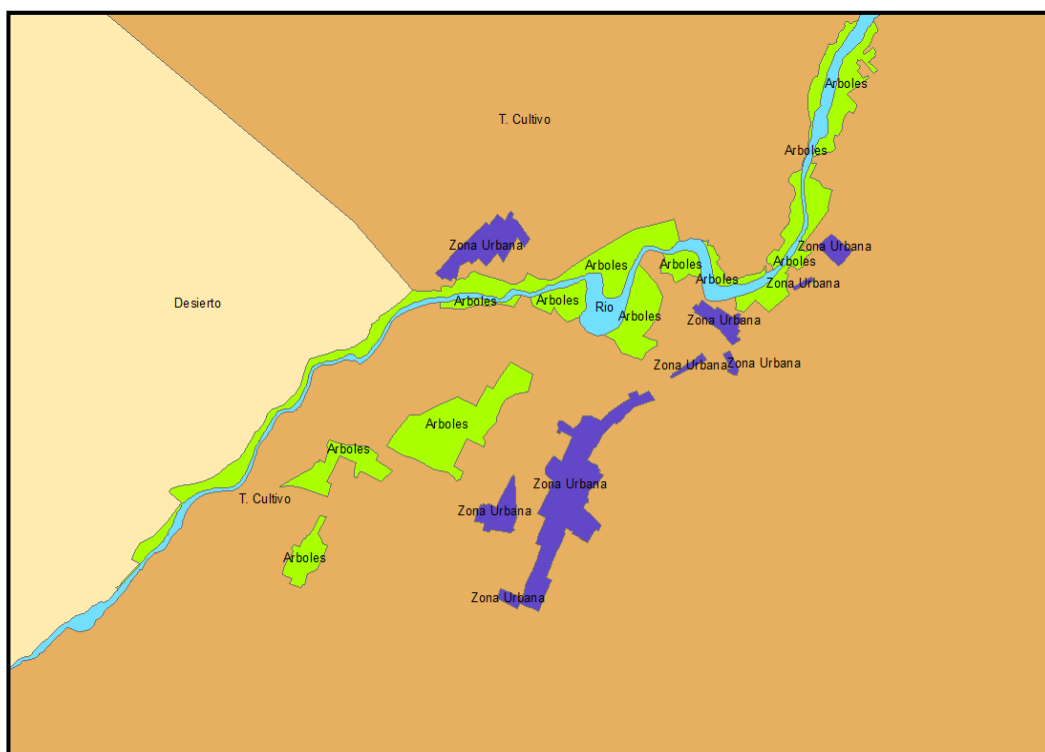
Las rugosidades para cada una de estas áreas identificadas fueron asignadas mediante la metodología racional para la estimación del n de Manning propuesto por Cowan (1956) y presentado en la página del Doctor Víctor Ponce, los cálculos se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 14: Calculo de n de Manning para cada zona determinada

Terreno	n_0	n_1	n_2	n_3	n_4	m_5	n
Cultivo	0.020	0.005	0.000	0.000	0.010	1.000	0.035
Zona Urbana	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.020
Desierto	0.020	0.000	0.000	0.000	0.005	1.000	0.025
Arboles	0.020	0.005	0.000	0.000	0.050	1.000	0.075
Rio	0.020	0.005	0.005	0.000	0.005	1.150	0.040

El resultado de la clasificación de terreno se puede observar en la siguiente ilustración:

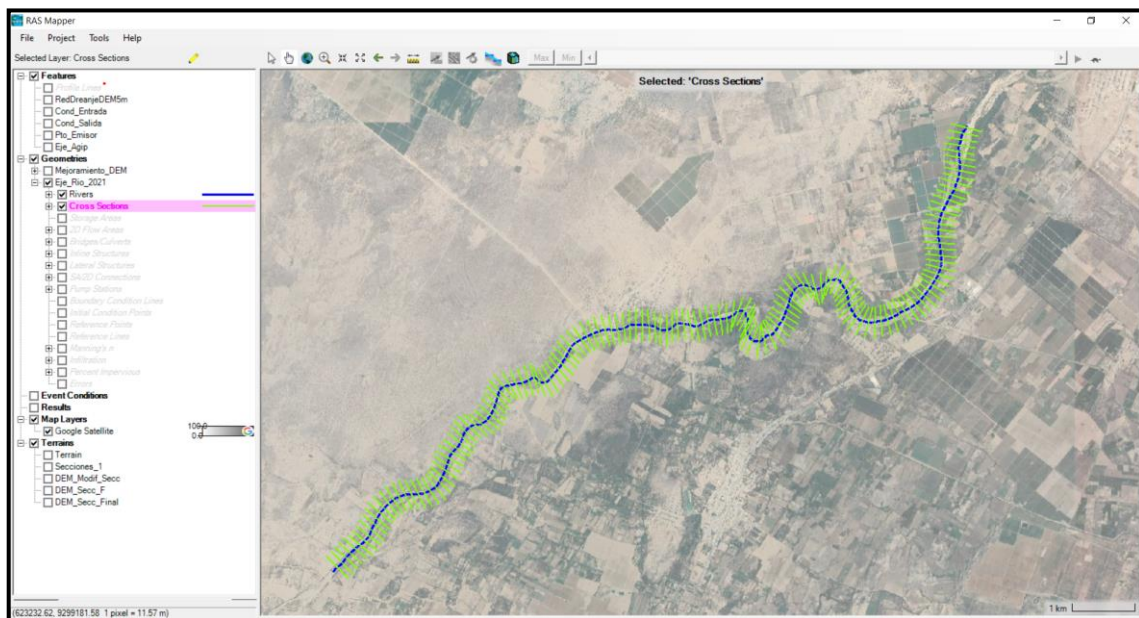
Figura 7: Zonas delimitadas por coeficientes de Manning



Luego se realizó una visita a campo con la finalidad de mejorar la información del terreno obtenida a través del DEM, en esta visita se procedió a levantar 130 secciones transversales a lo largo de 18.9 km del eje del río, luego que se recolecto esta información fue procesada y se procedió a corregir las secciones transversales del cauce del río en el programa HEC-RAS.

Para ello se generaron secciones a lo largo del eje del río cada 100 metros con 500 metros hacia cada margen como se puede observar en la siguiente imagen:

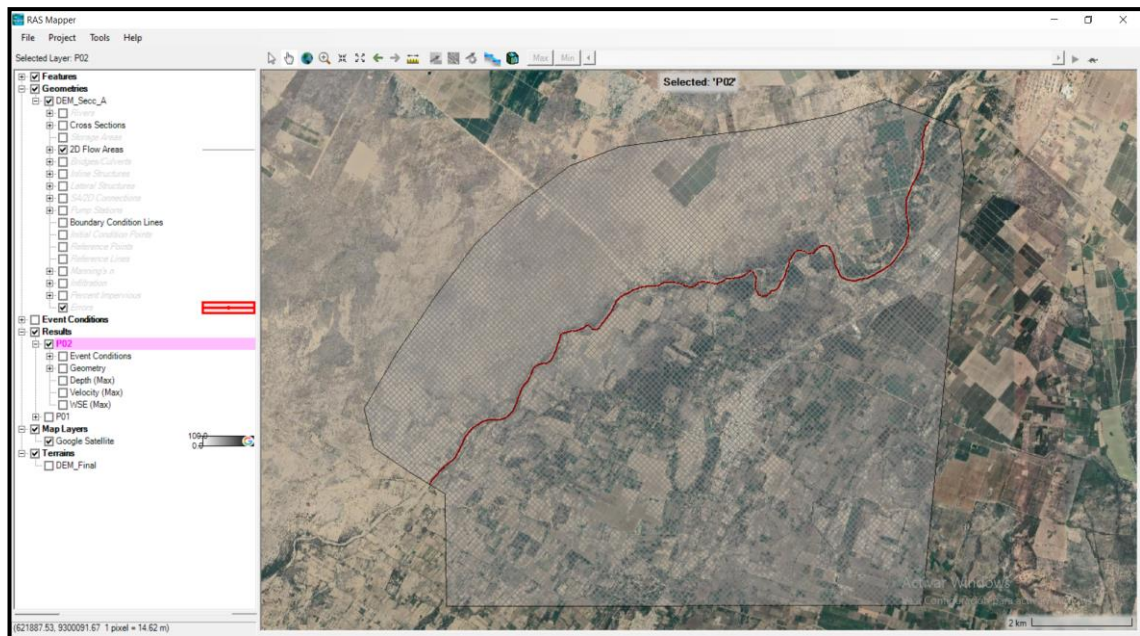
Figura 8: Secciones transversales del río en HEC-RAS



Una vez realizada esta corrección se procedió a generar la malla de inundación y ingresar los datos de los hidrogramas resultantes del modelo hidrológico, con esto se obtuvieron resultados muy satisfactorios para los diferentes periodos de retorno.

En la siguiente imagen se puede observar la malla con la cual se ejecutó el programa:

Figura 9: Malla de inundación para la zona de estudio



Los resultados obtenidos para el periodo de retorno de 50 años son los siguientes:

Figura 10: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 50 años

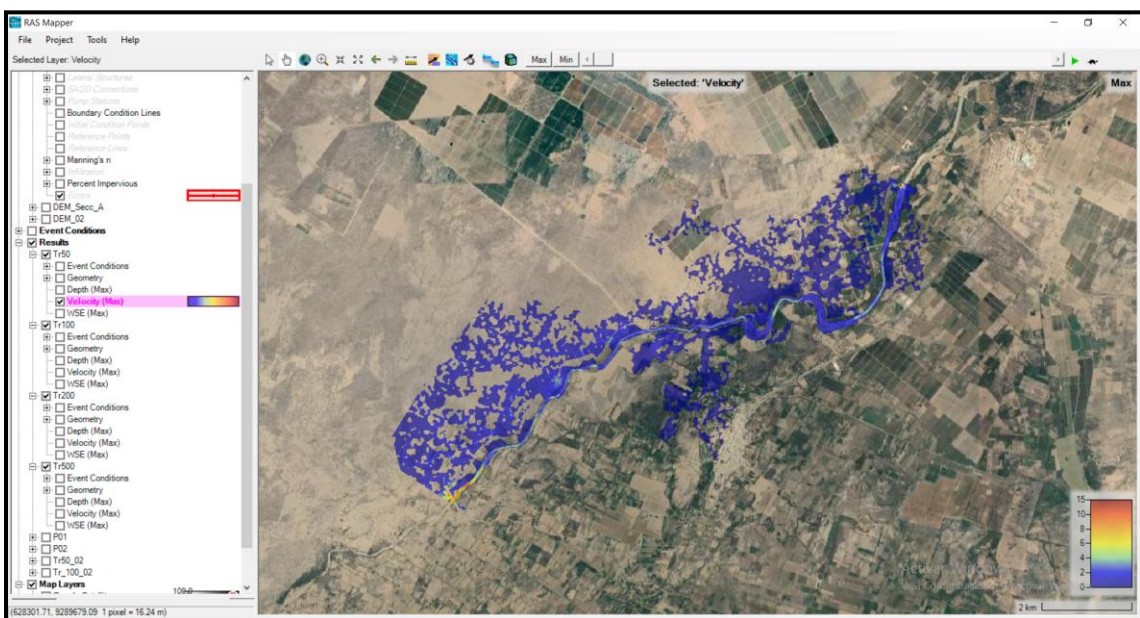
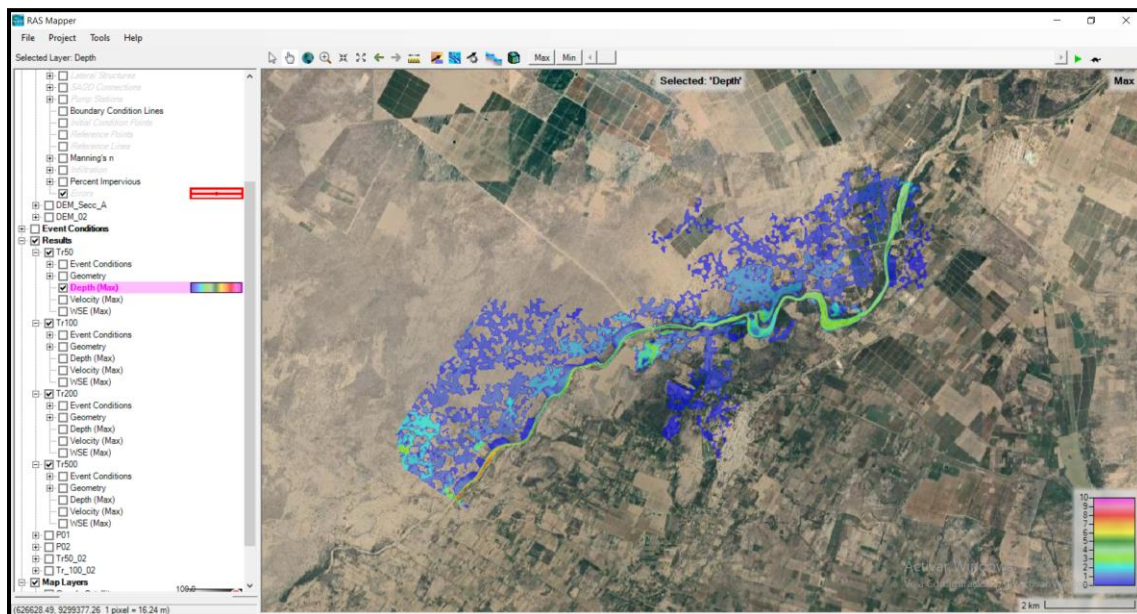


Figura 11: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 50 años



Los resultados obtenidos para el periodo de retorno de 100 años son los siguientes:

Figura 12: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 100 años

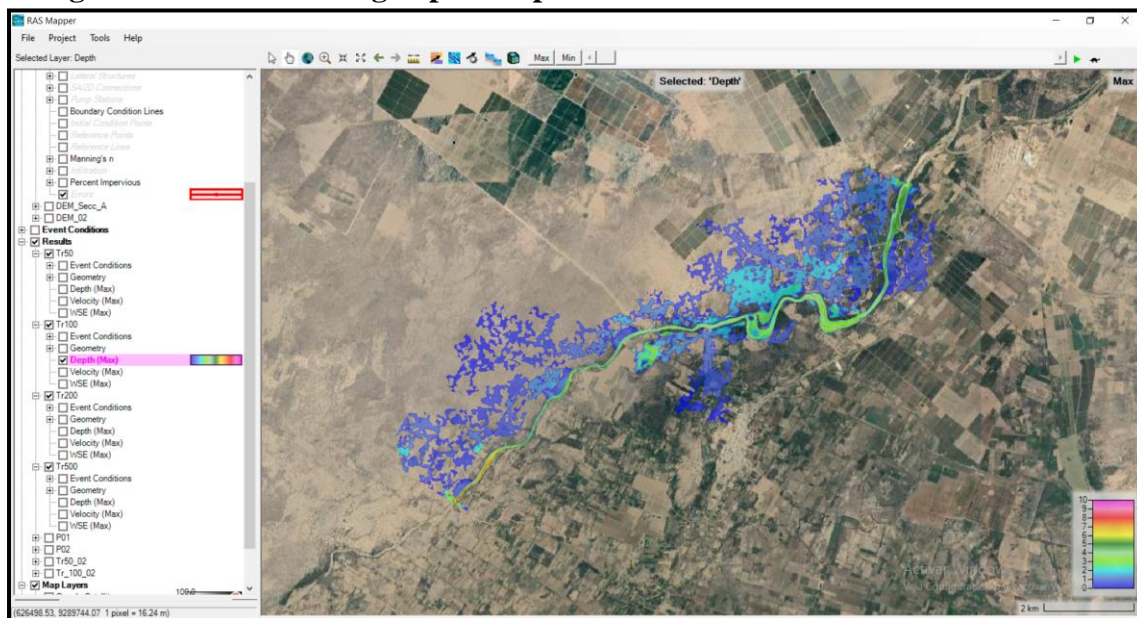
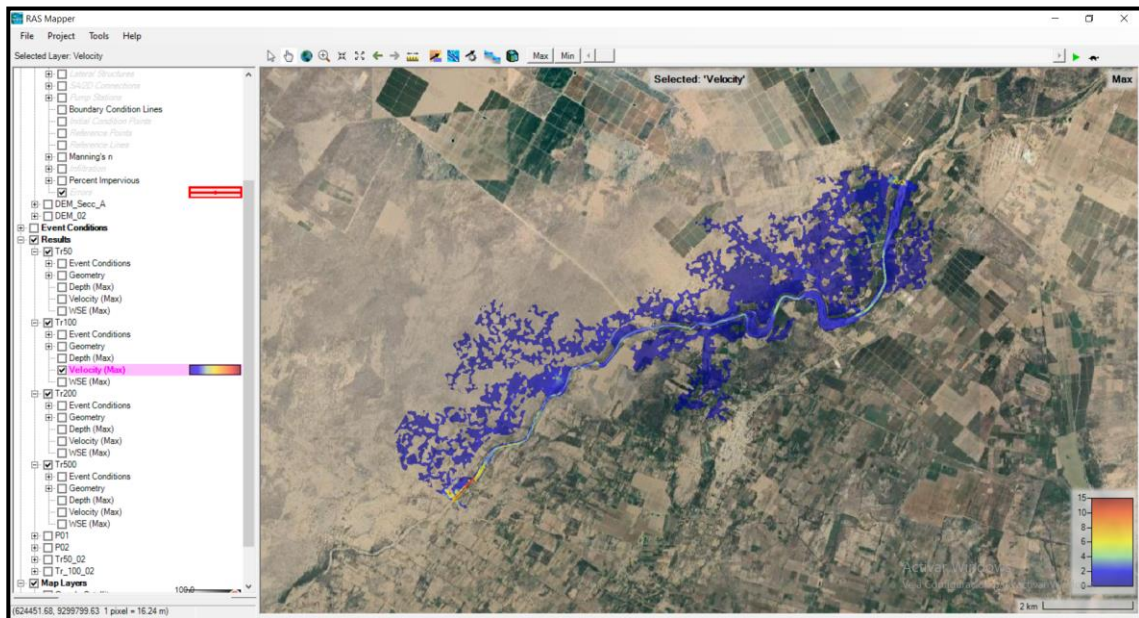


Figura 13: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 100 años



Los resultados obtenidos para el periodo de retorno de 200 años son los siguientes:

Figura 14: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 200 años

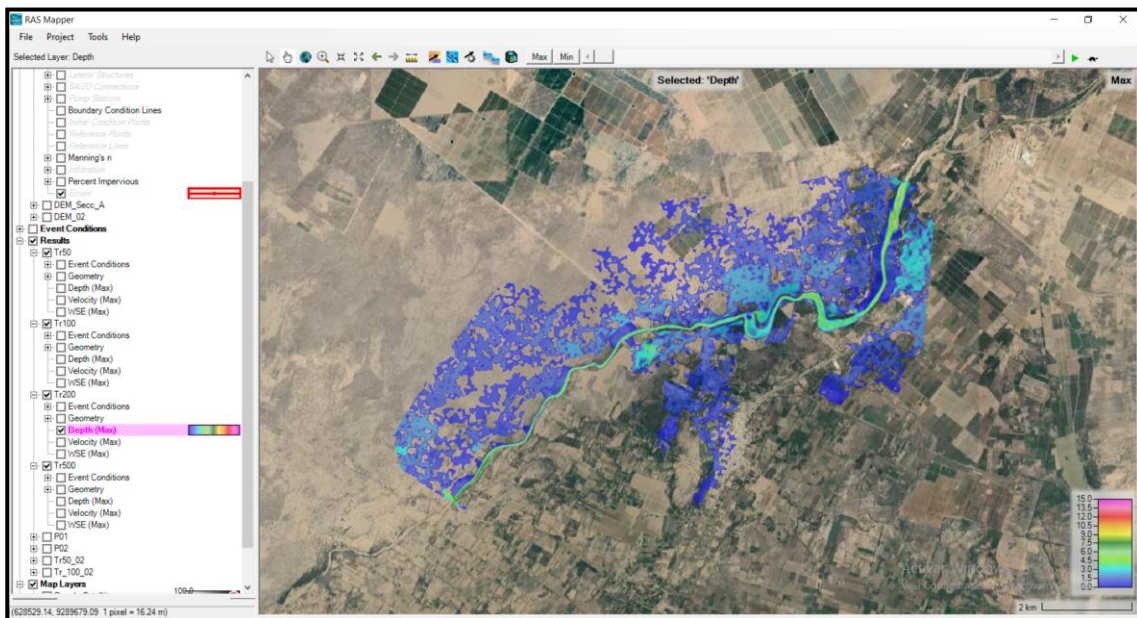
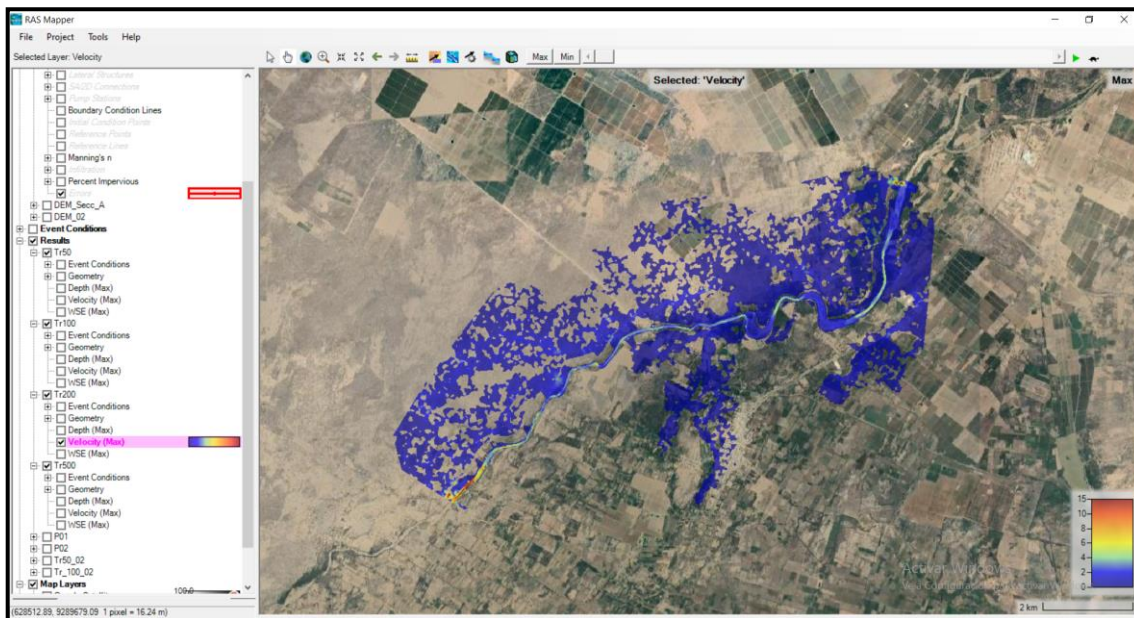


Figura 15: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 200 años



Los resultados obtenidos para el periodo de retorno de 500 años son los siguientes:

Figura 16: Tirantes de agua para el periodo de retorno de 500 años

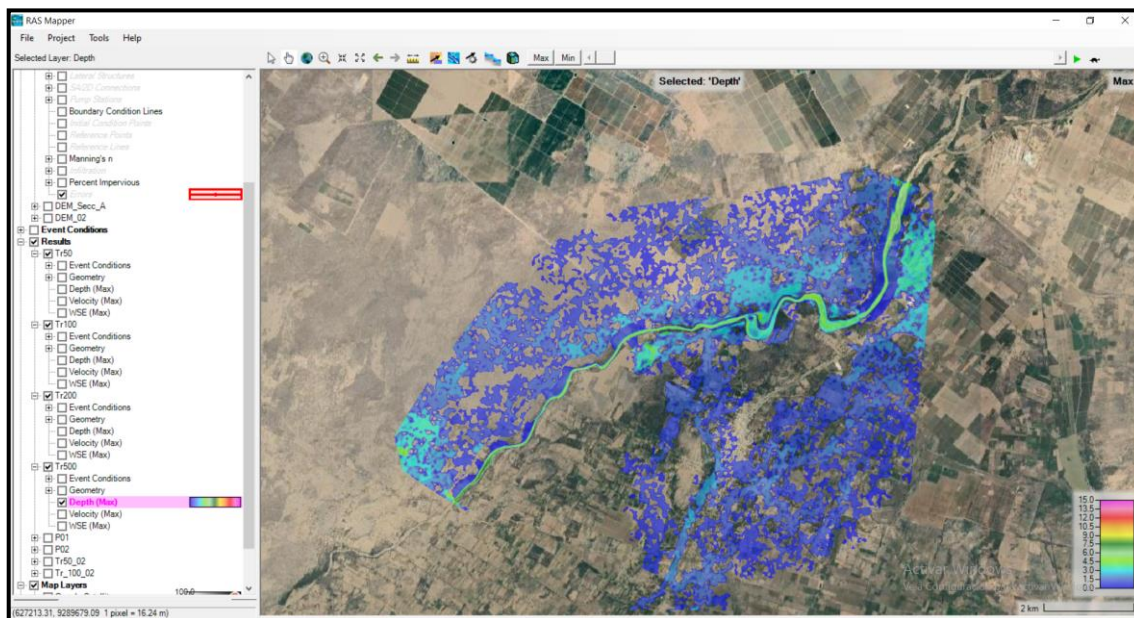
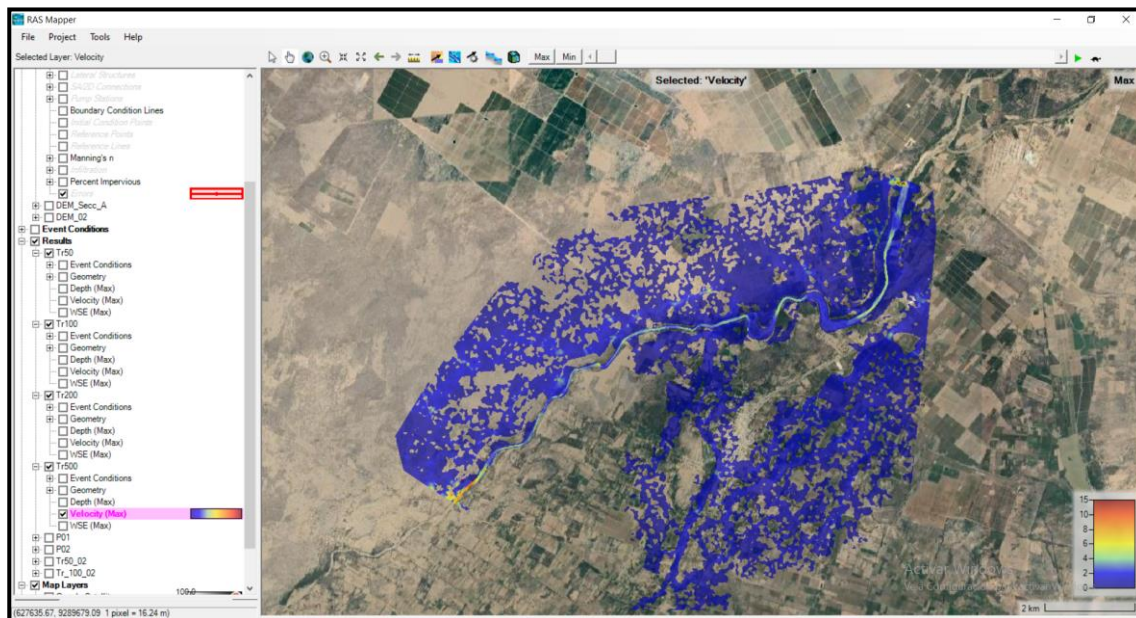


Figura 17: Velocidades obtenidas para el periodo de retorno de 500 años



4.7. Propuesta de Solución

Defensas Enrocadas

- **Propuesta A**

La propuesta de solución A será planteada para el caudal correspondiente al periodo de retorno de 50 años, el cual es de 822.30 m³/s.

Para la propuesta se ha utilizado el programa River para el predimensionamiento de la estructura, el programa tiene 5 fórmulas para calcular el ancho estable del río para lo cual se debe ingresar el Caudal, Periodo de Retorno y Pendiente correspondientes.

Luego de calcular el ancho estable por estos 5 métodos se optó por tomar el ancho promedio, que resultado:

Tabla 15: Cálculo del ancho estable del cauce

Ancho Estable del Cauce (B)	
Recomendación Practica	90.87
Método de Petits	127.32
Método de Simons y Henderson	163.45
Método de Blench y Altunin	179.8
Método de Manning y Strickler	87.7
Promedio	129.83

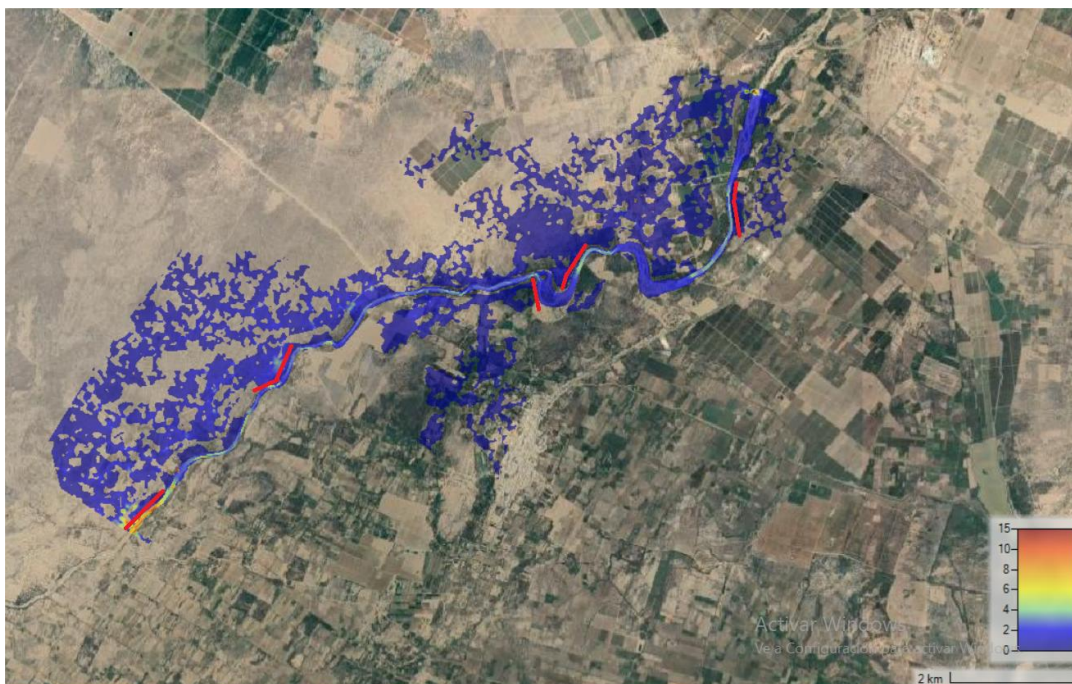
Luego de elegir el ancho promedio del cauce se obtiene la sección teórica del cauce con las siguientes dimensiones:

- **Ancho de corona:** 2.50 m
- **Altura de dique:** 3.60 m

Con estas dimensiones se procede a modificar el modelo digital de terreno y verificar como influye este en las áreas de inundación.

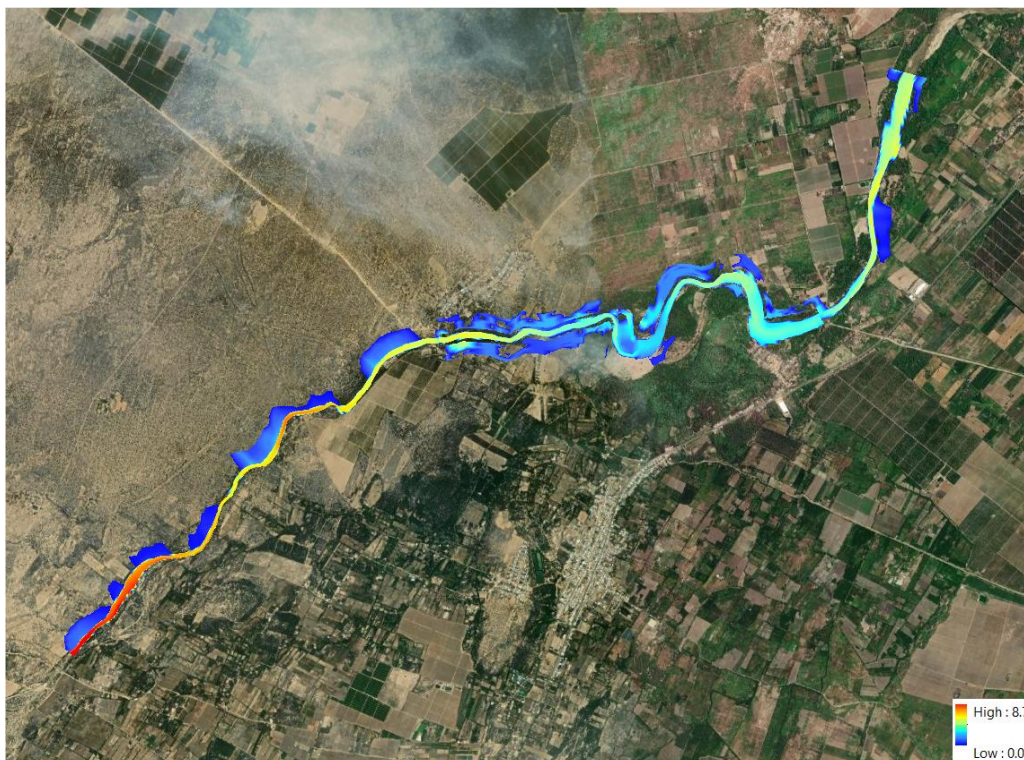
En la siguiente imagen se puede observar los puntos críticos en los cuales se modelo las defensas enrocadas para solucionar el problema de la inundación.

Figura 18: Ubicación de los puntos críticos



Luego de realizar el respectivo modelo de los puntos críticos los resultados obtenidos son los siguientes:

Figura 19: Modelo incluyendo las defensas enrocadas en los puntos críticos



En la anterior imagen se puede observar que con la propuesta A de solución de defensas enrocadas en puntos estratégicos se resuelve el problema de la inundación en gran medida, siendo esta una solución al para el problema.

- **Propuesta B**

La propuesta B será planteada para el caudal correspondiente al periodo de retorno de 100 años, el cual es de 1293.20 m³/s.

Para la propuesta se ha utilizado el programa River para el predimensionamiento de la estructura, el programa tiene 5 fórmulas para calcular el ancho estable del río para lo cual se debe ingresar el Caudal, Periodo de Retorno y Pendiente correspondientes.

Luego de calcular el ancho estable por estos 5 métodos se optó por tomar el ancho promedio, que resulto:

Tabla 16: Cálculo del ancho estable del cauce

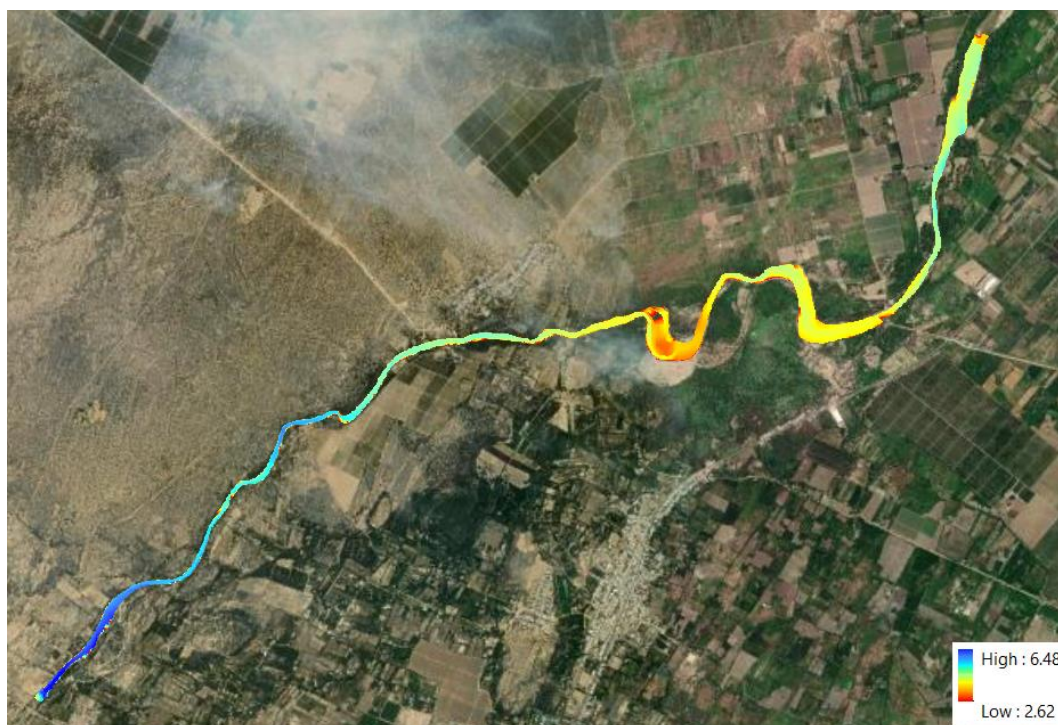
Ancho Estable del Cauce (B)	
Recomendación Practica	87.46
Método de Petits	123.87
Método de Simons y Henderson	155.63
Método de Blench y Altunin	163.65
Método de Manning y Strickler	85.7
Promedio	123.26

Luego de elegir el ancho promedio del cauce se obtiene la sección teórica del cauce con las siguientes dimensiones:

- **Ancho de corona:** 2.80 m
- **Altura de dique:** 5.20 m

Con estas dimensiones se procede a modificar el modelo digital de terreno y verificar como influye este en las áreas de inundación.

Luego de realizar el respectivo modelo de los puntos críticos los resultados obtenidos son los siguientes:

Figura 2020: Modelo incluyendo las defensas enrocadas en todo el tramo.

En la anterior imagen se puede observar que con la propuesta de solución B de defensas enrocadas en todo el tramo se resuelve el problema de la inundación, siendo esta una solución al para el problema.

V. Conclusiones

- Se identificaron las zonas con riesgo de inundación para los diferentes periodos de retorno, los resultados obtenidos fueron para 50 años un área de inundación de 1369.23 Hectáreas, para 100 años un área de inundación de 1260.81 Hectáreas, para 200 años un área de inundación de 2087.32 Hectáreas y para 500 años un área de inundación de 3603.79 Hectáreas.
- Se obtuvo la topografía de la zona de estudio a través de modelos digitales de elevación (DEM), proporcionados por la página Land Viewer de donde se obtuvo modelos de una precisión de 5 metros.
- Los parámetros geomorfológicos de la cuenca son: Área 1367.89 km², Perímetro 198.80 km, Longitud de máximo recorrido 75.27 km, Ancho promedio de la cuenca 18.18 km, Cota máxima 4048 m.s.n.m., Cota mínima 84 m.s.n.m., Desnivel altitudinal 3964 metros, Índice o factor de forma 0.24, Índice de Gravelius 1.52, Coeficiente de masividad 0.66, Densidad de drenaje 0.30 km/km² y Orden de drenaje 4.
- Los caudales de diseño obtenidos fueron de: Periodo de retorno de 50 años un caudal de 822.30 m³/s, para 100 años un caudal de 1293.20 m³/s, 200 años un caudal de 1884.00 m³/s y para el periodo de retorno de 500 años el caudal obtenido fue de 2861.90 m³/s.
- Se realizó el modelo hidráulico de la zona de estudio mediante el software HEC-RAS v6.1.0 del cual se obtuvieron las zonas de inundación para los distintos periodos de retorno.
- Los tirantes máximos para cada periodo de inundación fueron de: 7.41 metros para el periodo de retorno de 50 años, para el de 100 años fue de 8.41 metros, 8.58 metros para el de 200 años y para el de 500 años de 8.66 metros.
- Se planteó como alternativa de solución A la colocación de una defensa enrocada de una altura de 3.60 metros en los puntos críticos donde se obtuvo mayor área de inundación y que por su ubicación son puntos estratégicos para proteger y como alternativa de solución B la colocación de una defensa enrocada de una altura de 5.20 m en todo el tramo analizado.

- Se verifico que con ambas alternativas de solución planteadas se logra resolver el problema de inundación, en la alternativa A en gran medida ya que protege los puntos estratégicos y en el caso de la alternativa B protege todo el tramo de estudio.

VI. Recomendaciones

- Se recomienda tener una topografía más exacta de la zona de estudio para así poder obtener mejores resultados de las áreas inundables.
- Se recomienda instalar una estación hidrométrica automática en la cuenca, ya que de esta manera se podrá obtener de manera más exacta parámetros como el tiempo de concentración y con la información se podrá calibrar los modelos hidrológicos. Así tendremos la certeza de que los caudales obtenidos están dentro de los límites adecuados y no están sobredimensionados o subdimensionados, lo cual repercutirá en las obras planteadas para solucionar el problema.
- Se recomienda realizar un Estudio de Suelos a fin de tener información del tipo de suelos de la zona, parámetro que será de mucha importancia tanto para la hidrología como para el diseño de obras de protección.
- Se recomienda realizar un diseño definitivo de las obras de protección ante la inundación ya que la solución planteada es solamente teórica y para que sea integral se debe hacer cálculos más precisos.

VII. Referencias Bibliográficas

- Autoridad Nacional del Agua (ANA), «Faja Marginal del Río Motupe,» Lima, [1] 1999.
- J. Z. Chagua Cierto , «Estudio de inundación de la zona correspondiente al [2] distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC-RAS,» Lima, 2018.
- F. Y. Escarcena Quiza, «Determinación de áreas inundables de la parte media de [3] la Microcuenca del Río Zapatilla - Centro Poblado de Ancoamaya - Ilave,» Puno, 2014.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), «Resultados [4] Definitivos,» Lima, 2018.
- J. Julon Cabrera , «Diseño de la Bocatoma y Canal de derivación de Pueblo [5] Escondido, Secto Marripón, Distrito de Motupe, Provincia y Departamento de Lambayeque, 2017,» Chiclayo, 2019.
- E. V. Lobo Reyes , «Estudio Hidrológico e Hidráulico para la identificación de [6] la vulnerabilidad a desbordes de la Cuenca Baja del Río Coata - Puno,» , Lima, 2017.
- C. Moreno Palacios y O. A. Bermúdez Ordoñez , «Análisis del riesgo por [7] inundación utilizando herramientas SIG para la Cuenca del Río Quito,» 2016.
- Municipalidad Distrital de Jayanca , «Informe de Evaluación del Riesgo de [8] Inundación Pluvial y Fluvial originado por lluvias intensas en el área urbana del distrito de Jayanca Lambayeque,» Lambayeque , 2017.
- F. A. Quispe Orosco y F. A. Valeriano Salcedo, «Modelación Hidrológica- [9] Hidráulica con las plataformas IRIC, HEC-HMS, HEC-RAS y Diseño de los muros de encauzamiento del Río Tambo,» Arequipa, 2018.
- G. d. R. Rivera Urrego y D. Y. Quiroz Frías , «Impacto Agrosocioeconómico [10] ocasionado por el Fenómeno de " El niño del 2017", en el Distrito de Jayanca Provincia y Región de Lambayeque,» , Lambayeque, 2018.
- J. M. Rivas Parraguez , «Cuantificación de los efectos de la erosión y socavación [11] en la estructura de puentes y su aplicación en el puente del Río Motuope del Departamento de Lambayeque,» Chiclayo, 2018.
- L. R. Vasquez Chavez, «Diseño de defensas ribereñas y su aplicación en el cauce [12] del Río la Leche, Distrito de Pacora - Lambayeque,» Chiclayo, 2018.

VIII. Anexos

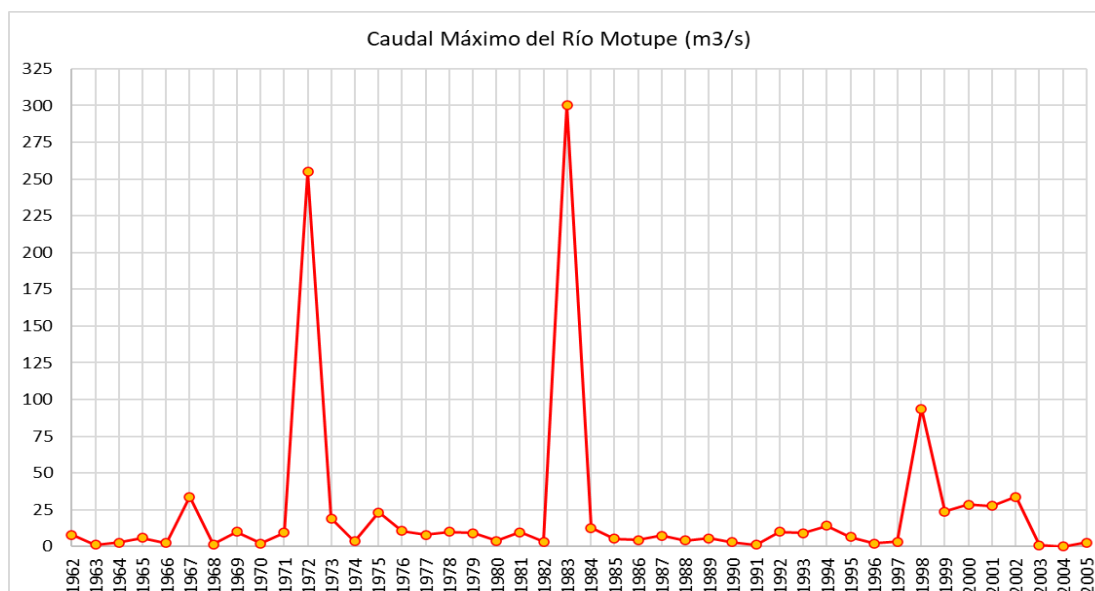
Anexo 01

Tabla 17: Registro de descargas medias mensuales del río Motupe (m3/s) para el periodo de 1962 a 1998.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL
1962	0.43	8.00	7.00	2.50	1.86	1.11	0.82	1.31	0.57	0.14	0.39	0.12	2.02
1963	0.39	0.32	1.01	1.26	0.53	0.35	0.23	0.19	0.18	0.66	0.77	0.97	0.57
1964	1.26	1.69	1.72	2.53	1.90	1.46	0.70	0.44	0.00	0.72	0.90	0.10	1.12
1965	0.88	0.91	3.50	6.00	1.50	0.70	1.24	0.92	0.05	0.00	0.40	1.13	1.44
1966	1.43	1.45	1.89	2.10	2.30	1.17	0.71	0.66	0.35	0.12	0.00	0.84	1.09
1967	2.11	3.64	33.82	2.59	1.49	1.30	0.94	0.67	0.63	1.02	1.38	0.55	4.18
1968	1.35	0.73	1.31	1.50	0.71	0.24	0.46	0.81	0.76	0.87	0.87	0.37	0.83
1969	1.18	1.21	10.00	2.64	0.59	0.74	0.65	0.46	0.79	0.30	0.10	0.16	1.57
1970	1.24	1.26	1.80	1.32	1.93	0.86	0.90	0.90	0.85	0.85	1.07	1.74	1.23
1971	1.38	2.55	9.00	9.44	0.94	0.40	0.25	0.25	0.18	0.16	0.16	0.34	2.09
1972	0.34	1.00	255.00	16.50	1.67	1.71	1.36	1.30	1.05	0.77	1.15	1.05	23.58
1973	0.89	19.20	12.20	4.05	2.89	2.27	2.04	2.33	2.06	2.35	1.79	1.49	4.46
1974	1.66	3.43	2.50	1.58	1.91	1.69	1.72	1.50	1.82	2.18	1.34	1.97	1.94
1975	2.74	4.69	23.18	3.74	1.93	2.07	1.65	3.10	1.87	2.63	0.57	0.43	4.05
1976	2.86	10.69	4.35	6.70	3.27	1.70	1.09	0.58	0.58	0.45	0.59	0.63	2.79
1977	0.76	3.90	6.52	4.01	2.80	1.12	0.67	0.47	8.06	0.45	0.83	1.05	2.55
1978	1.73	1.56	10.00	8.00	2.40	1.91	1.74	1.07	1.46	1.70	1.98	1.30	2.90
1979	1.68	1.48	8.14	9.14	6.30	1.49	1.00	0.66	1.34	0.80	0.40	0.49	2.74
1980	0.71	1.18	1.81	3.70	1.20	1.10	1.00	0.72	0.52	0.26	1.30	1.12	1.23
1981	0.61	3.12	6.00	1.89	1.53	1.50	0.99	0.85	0.41	9.68	1.75	1.11	2.45
1982	0.85	1.00	1.14	2.37	1.66	0.97	1.04	0.40	0.63	1.40	1.25	3.36	1.34
1983	11.50	11.22	240.00	240.00	300.00	20.00	2.00	1.52	2.15	1.62	1.26	1.71	69.42
1984	1.55	12.50	8.53	2.86	2.88	1.44	1.93	0.72	0.91	2.76	2.24	2.51	3.40
1985	2.30	4.46	5.24	1.96	1.86	1.19	0.75	0.77	0.98	1.90	0.76	1.96	2.01
1986	3.09	0.99	1.66	4.43	2.89	1.32	0.74	1.11	0.79	0.97	1.24	1.51	1.73
1987	2.79	6.50	7.20	5.20	2.83	1.11	1.51	1.73	0.53	0.74	0.08	0.81	2.59
1988	2.26	4.20	1.82	2.90	-1.00	1.34	0.40	0.32	0.33	0.98	2.26	0.89	1.61
1989	2.26	4.22	5.50	3.20	2.40	2.22	1.61	0.99	0.74	0.51	0.37	0.32	2.03
1990	0.99	1.90	2.85	1.80	1.05	0.99	0.87	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.31
1991	-1.00	-1.00	1.13	0.81	0.32	0.11	0.23	0.25	0.30	0.24	0.18	0.24	0.38
1992	0.75	0.90	3.20	10.00	4.22	1.10	0.49	0.42	0.65	0.93	0.78	1.08	2.04
1993	0.60	1.98	9.00	5.00	3.80	1.56	1.20	0.78	0.80	1.04	1.20	1.96	2.41
1994	1.84	14.00	3.20	6.20	2.00	1.29	0.26	0.70	1.04	1.12	0.84	0.96	2.79
1995	1.28	6.40	4.10	1.50	1.28	0.88	0.58	0.48	0.36	0.48	0.96	1.04	1.61
1996	1.04	1.12	2.04	1.40	1.64	0.88	0.32	0.12	0.16	0.00	0.38	0.48	0.80
1997	0.38	1.36	3.08	2.24	1.36	0.45	0.24	0.32	0.00	0.00	0.77	3.20	1.12
1998	10.53	20.75	93.75	31.25	21.88	2.40	1.44	1.44	1.20	-1.00	-1.00	-1.00	20.52
MEDIA	1.93	4.60	21.46	11.20	10.88	1.73	0.96	0.84	0.97	1.20	0.92	1.11	4.92
MÁXIMO	11.50	20.75	255.00	240.00	300.00	20.00	2.04	3.10	8.06	9.68	2.26	3.36	69.42
MÍNIMO	0.34	0.32	1.01	0.81	0.32	0.11	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.38
SUMA	69.64	165.51	794.19	414.31	391.72	64.14	35.49	31.06	34.84	41.84	32.13	38.99	181.92

Fuente: Delimitación de la Faja Marginal del Río Motupe [2]

Gráfico 17: Caudales máximos del Río Motupe (m3/s) entre los años 1962 y 2005



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 18: Caudales totales anuales del Río Motupe (m3/s) entre los años 1962 y 1998

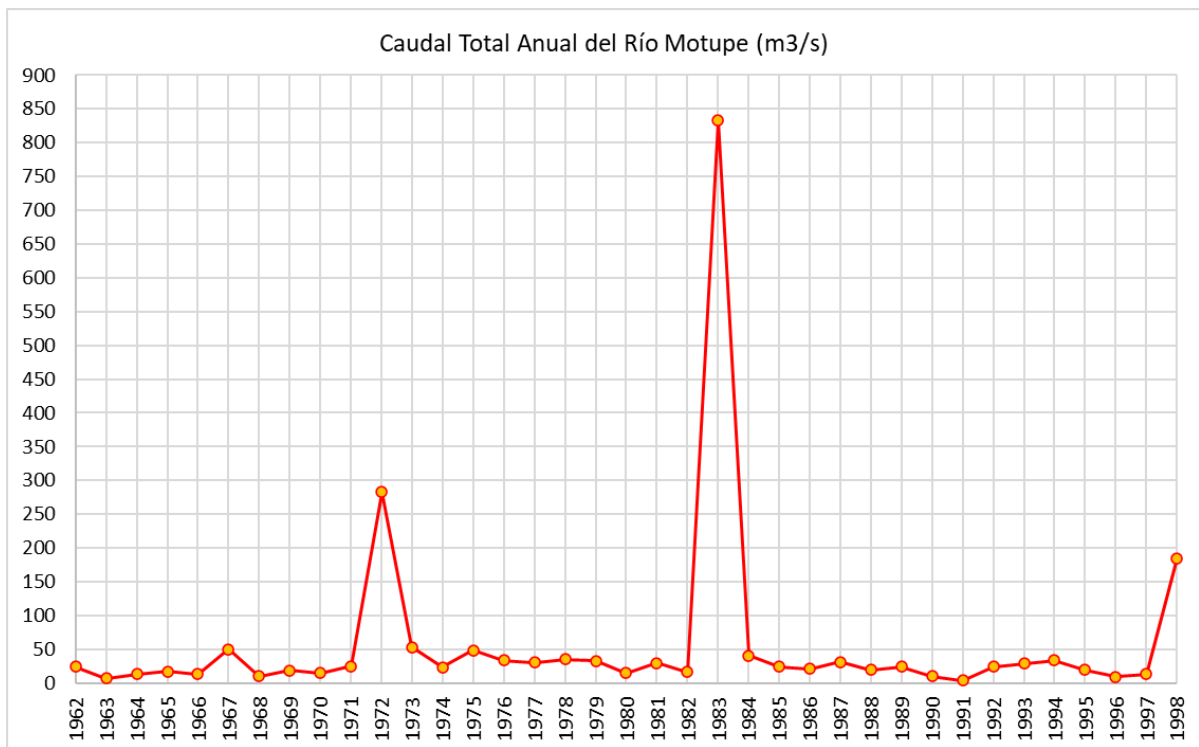


Gráfico 19: Caudal máximo del Río Motupe por mes (m3/s)

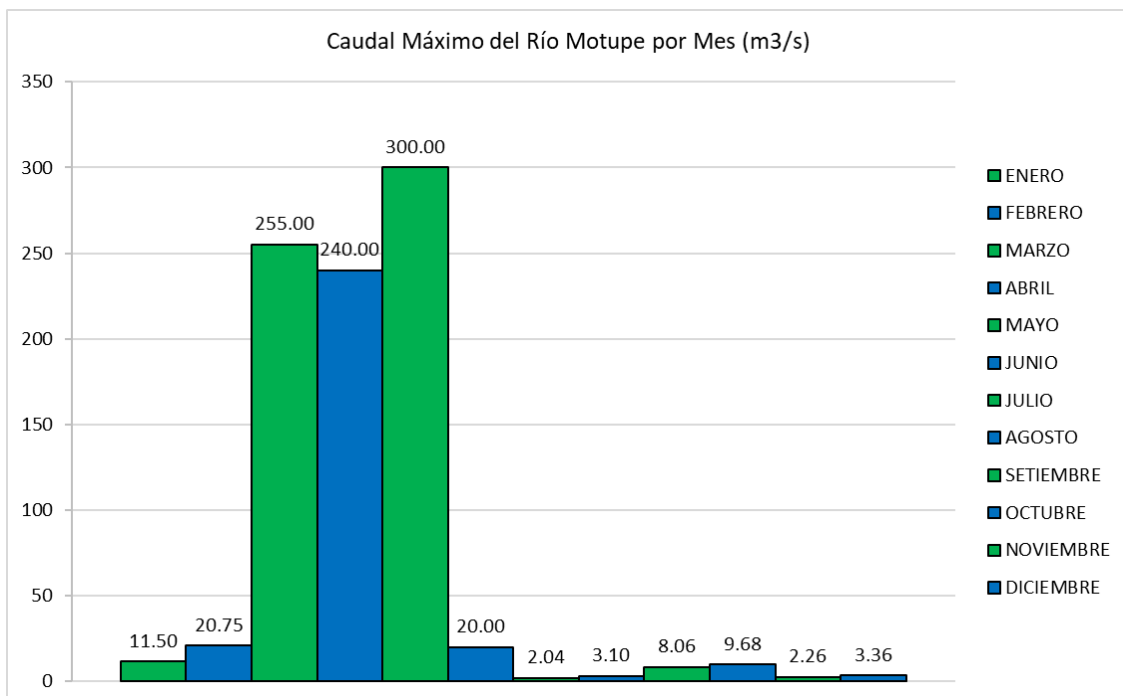


Tabla 18: Información histórica de los episodios registrados del Fenómeno de “El Niño” hasta el año de 1998

AÑO	INTERVALO DE TIEMPO	DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO
1578		Fuertes lluvias en Lambayeque durante 40 días, copiosas lluvias en Ferreñafe, Túcumpe, Illimo, Pacora, Jayanca, Chiclayo, Chicama, Chocope, Trujillo y Zaña. Desborde de ríos, destrucción de canales, gran daño a la agricultura, epidemias y plaga de langostas. No hay mediciones, pero si numerosas descripciones. Solo hay información del Perú.
1720	142	Copiosas lluvias en Trujillo, Piura y Paita. Desborde de ríos, destrucción de Zaña, enormes daños económicos a la agricultura especialmente en Lambayeque. No hay mediciones y solo se cuenta con información de Perú.
1728	8	Lluvias en Piura (hubo relámpagos y truenos), Paita, Zaña (12 días), Chocope, Trujillo (40 días corrieron ríos de agua por las calles), desborde de ríos, reubicación de Sechura, ruina económica de la agricultura especialmente en Lambayeque.
1791	63	Fuertes lluvias en Piura, Paita, Lambayeque, Chiclayo y en otros lugares de la costa norte. Daños a la agricultura en Lambayeque, fuertes lluvias entre Chinchá y Pativilca.
1828	37	Importantes lluvias entre Trujillo y Piura (14 días), tempestades, desborde de ríos, inundación de Lambayeque y formación de un río en Sechura.
1877-1878	49	Periodo húmedo de dos años seguidos, fuertes lluvias en la costa norte, grandes daños en el departamento de Lambayeque, fue una ruina total para la agricultura, impacto mundial. El Índice de Oscilación Sur se volvió negativo durante 19 meses casi continuos.
1891	14	Torrenciales lluvias en toda la costa norte. En Piura, Trujillo y Chiclayo llovió dos meses. Chimbote, Casma y Supe quedaron en ruinas, 2000 muertos, 50 000 damnificados, desbordes del río Rímac. Fue el primero que empezó a estudiarse científicamente en el Perú. El Índice de Oscilación Sur no adquirió valores negativos.
1925	34	Fortísimas lluvias en todo el norte. En Tumbes llovió 1524 mm. Cuenca baja del río Chancay – Lambayeque llovió 1000 mm. El río Rímac alcanzó 600 m³/s, desborde de ríos, lluvias hasta Pisco. Aumento de la temperatura del mar (frente al Callao fue de 10°C) y del ambiente. Plagas, epidemias y enfermedades, grandes daños económicos. El Índice de Oscilación Sur no adquirió valores negativos.
1926	1	Fortísimas lluvias en todo el norte durante 03 meses, en Tumbes llovió 1265 mm, plagas, epidemias y enfermedades. El Índice de Oscilación Sur se volvió negativo.
1983	57	Fuertes y largas precipitaciones en toda la costa norte, llovió durante 6 meses en Piura y Tumbes (2500 mm en Piura), interrupción de carreteras, fuertes pérdidas en la pesquería, gran impacto mundial. El Índice de Oscilación Sur se volvió negativo.
1998	15	Grandes lluvias en todo el norte, fuertes descargas de los ríos, cuantiosas pérdidas, cayeron 58 puentes, plagas de langostas, grandes pérdidas económicas, gran impacto mundial. El Índice de Oscilación Sur se volvió negativo.
INTERVALO PROMEDIO	42	Arturo Rocha (Mayo del 2012)

Fuente: Informe de evaluación del riesgo de inundación pluvial y fluvial originado por lluvias intensas en el área urbana del distrito de Jayanca Lambayeque [1]

Anexo 02

Tabla 19: Daños a la vida y la salud por efectos del Niño Costero 2017

DPTO.	DAÑOS A LA VIDA Y SALUD (PERSONAS)					TOTAL
	DAMNIFICADAS	AFECTADAS	FALLECIDAS	HERIDAS	DESAPARECIDAS	
LA LIBERTAD	79623	386521	24	70	4	466,242
PIURA	89709	375265	18	40	3	465,035
LAMBAYEQUE	44619	138336	9	5	2	182,971
ANCASH	34313	116848	27	126	1	151,315
LORETO	67	117506	1	1	0	117,575
ICA	4611	106703	0	60	0	111,374
TUMBES	1327	73757	0	0	0	75,084
LIMA	18775	40176	16	76	1	59,044
AREQUIPA	2110	48914	17	40	5	51,086
HUANCAVELICA	6227	30770	6	4	0	37,007
CAJAMARCA	1655	11468	8	6	2	13,139
AYACUCHO	1264	6890	9	6	0	8,169
JUNÍN	1153	897	3	25	0	2,078
TOTAL NIÑO COSTERO PERÚ	285,453	1,454,051	138	459	18	1,740,119

Fuente: Compendio estadístico del INDECI 2017

Gráfico 20: Total de personas afectadas por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”

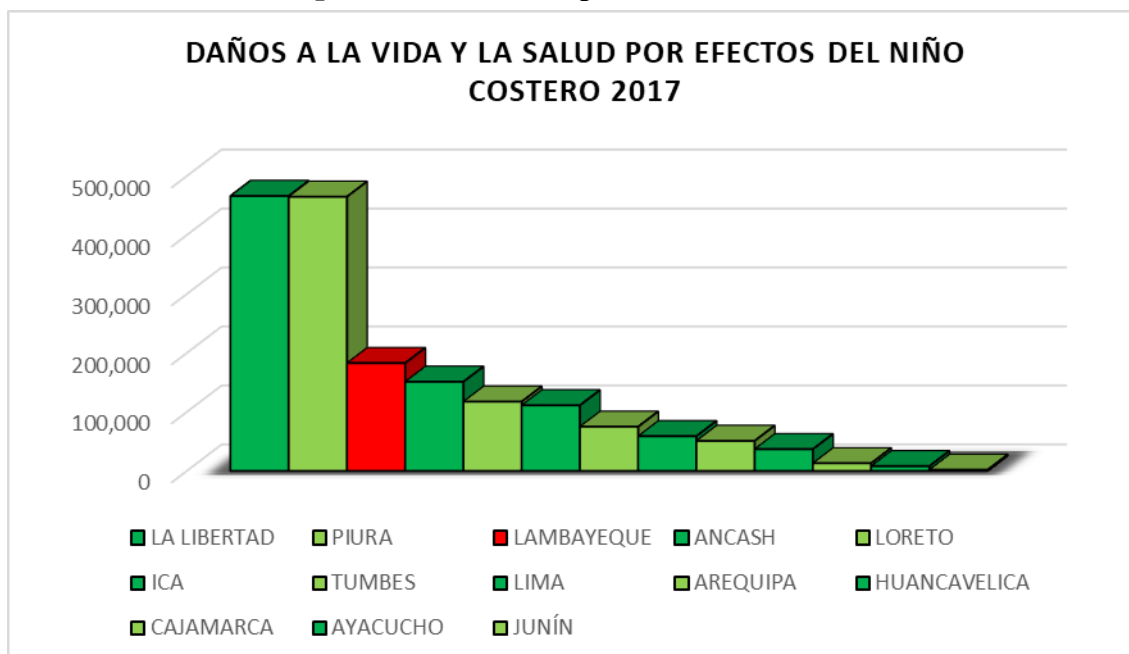


Tabla 20: Daños en viviendas y locales públicos por efectos del Niño Costero 2017

DPTO.	VIVIENDAS DESTRUIDAS	VIVIENDAS AFECTADAS	II.EE. DESTRUIDOS E INHABITABLES	II.EE. AFECTADAS	EE.SS. DESTRUIDOS E INHABITABLES	EE.SS. AFECTADOS	TOTAL
LA LIBERTAD	19151	104174	47	457	3	167	123,999
PIURA	21412	83957	58	831	3	237	106,498
LAMBAYEQUE	10051	30285	33	275	11	85	40,740
ANCASH	5186	27210	67	298	17	93	32,871
LORETO	22	28487	0	61	0	6	28,576
ICA	1149	23783	3	78	1	35	25,049
TUMBES	313	20390	0	93	0	40	20,836
LIMA	3850	9934	60	263	23	75	14,205
AREQUIPA	451	11687	9	168	0	52	12,367
HUANCAVELICA	1242	5868	15	149	0	100	7,374
CAJAMARCA	427	2416	8	94	2	19	2,966
AYACUCHO	254	1734	16	98	1	24	2,127
JUNÍN	294	256	2	5	1	1	559
TOTAL NIÑO COSTERO PERÚ	63,802	350,181	318	2,870	62	934	0

Fuente: Compendio estadístico del INDECI 2017

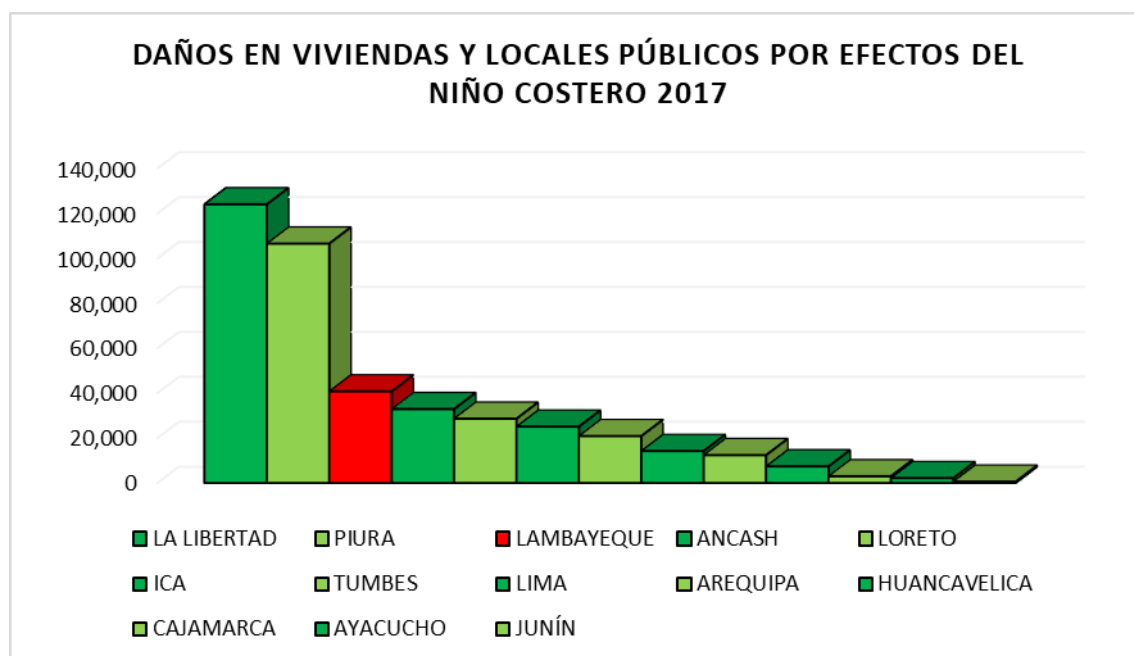
Gráfico 21: Infraestructura afectadas por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”

Tabla 21: Daños en transporte y comunicaciones por efectos del Niño Costero 2017

DPTO.	CAMINOS RURALES DESTRUIDOS (Km)	CAMINOS RURALES AFECTADOS (Km)	CARRETERAS DESTRUIDAS (Km)	CARRETERAS AFECTADAS (Km)	PUENTES DESTRUIDOS	TOTAL DAÑO VIAL (Km)
PIURA	7099	182691	345	1032	27	191,167
LA LIBERTAD	369	22338	1038	701	38	24,446
LIMA	3742	707	1498	6471	124	12,418
HUANCAVELICA	33	8461	160	916	21	9,570
AYACUCHO	534	3931	210	869	14	5,544
ANCASH	235	1311	462	1321	116	3,329
AREQUIPA	185	532	738	514	18	1,969
LAMBAYEQUE	346	705	98	122	63	1,271
CAJAMARCA	102	198	103	517	23	920
ICA	132	89	112	529	5	862
TUMBES	49	169	10	96	0	324
JUNÍN	7	18	5	210	0	240
LORETO	0	68	0	13	0	81
TOTAL NIÑO COSTERO PERÚ	56	255	15	319	0	645

Fuente: Compendio estadístico del INDECI 2017

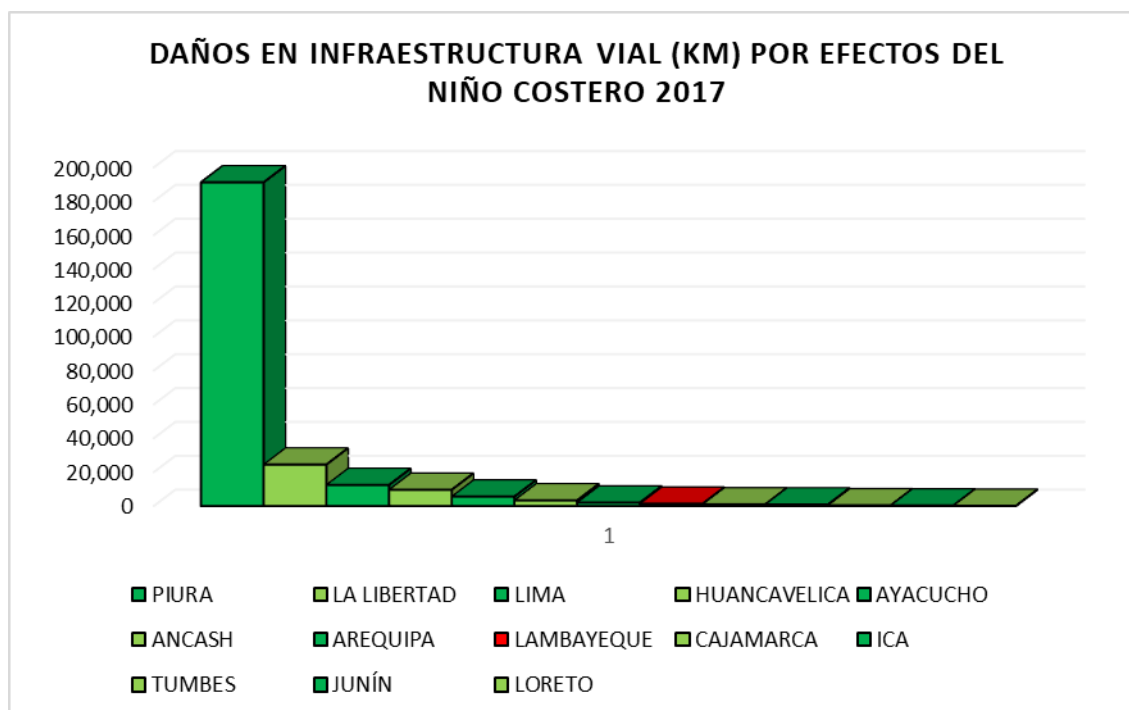
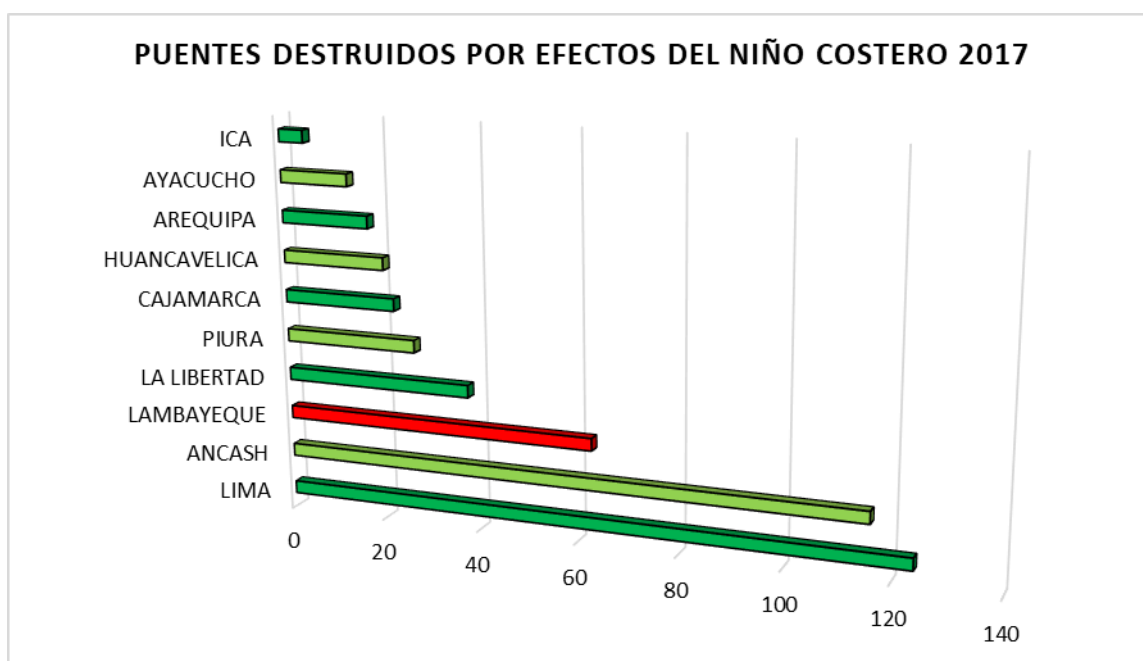
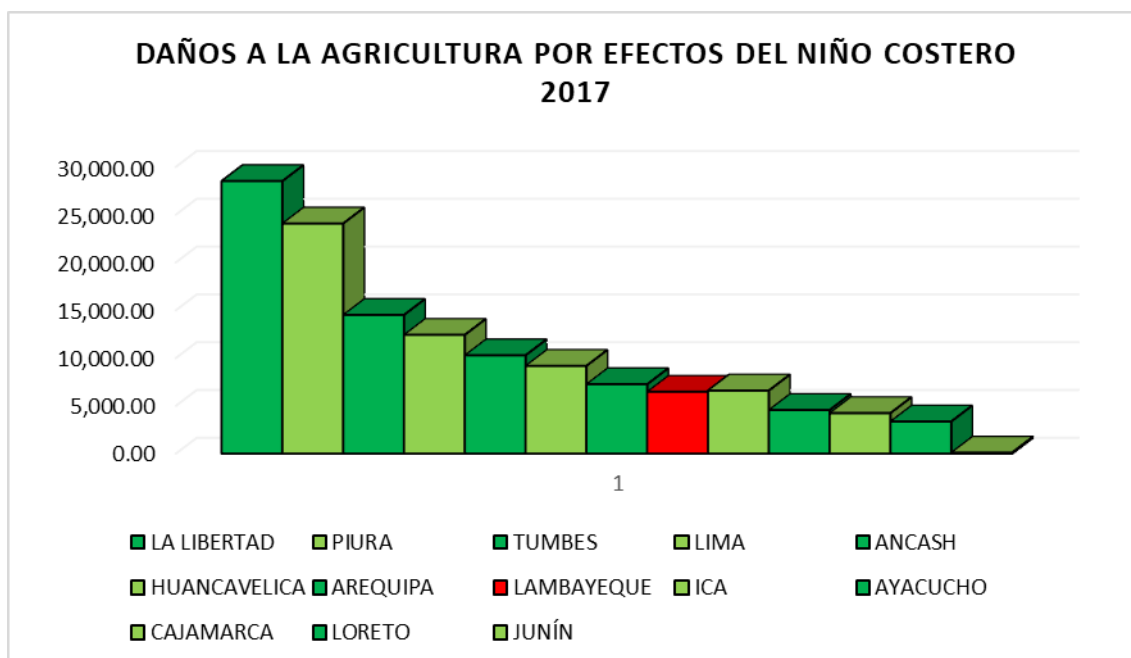
Gráfico 22: Infraestructura vial afectadas por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”

Gráfico 23: Puentes destruidos por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”**Tabla 22: Daños a la agricultura por efectos del Niño Costero 2017**

DPTO.	AREA DE CULTIVO AFECTADO (Has)	AREA DE CULTIVO PERDIDO (Has)	TOTAL
LA LIBERTAD	16954	11557	28,511.00
PIURA	15342	8733	24,075.00
TUMBES	10842	3668	14,510.00
LIMA	10108	2318	12,426.00
ANCASH	8178	2110	10,288.00
HUANCAVELICA	8573	611	9,184.00
AREQUIPA	6657	605	7,262.00
LAMBAYEQUE	4009	2464	6,473.00
ICA	2942	3660	6,602.00
AYACUCHO	2990	1579	4,569.00
CAJAMARCA	2950	1290	4,240.00
LORETO	2300	1065	3,365.00
JUNÍN	63	45	108.00
TOTAL NIÑO COSTERO PERÚ	59,612.00	19,415.00	79,027.00

Fuente: Compendio estadístico del INDECI 2017

Gráfico 24: Daños a la agricultura durante el Fenómeno “El Niño Costero 2017”**Tabla 23: Departamentos declarados en emergencia por el Fenómeno “El Niño Costero 2017”**

N°	REGIÓN	N° PROVINCIAS	N° DISTRITOS
1	ANCASH	20	166
2	AREQUIPA	8	49
3	AYACUCHO	11	58
4	CAJAMARCA	13	127
5	HUANCAVELICA	7	57
6	ICA	5	27
7	JUNÍN	1	1
8	LA LIBERTAD	12	83
9	LAMBAYEQUE	3	38
10	LIMA	10	145
11	LORETO	7	47
12	PIURA	8	65
13	TUMBES	3	13
TOTAL		108	876

Anexo 03

Tabla 24: Áreas de cultivo perdidas (hectáreas) en el año 2017 por los pobladores de Jayanca a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.

RANGO DE ÁREA(HA)	FRECUENCIA	PARTICIPACIÓN%
Ninguna	56.00	28.00
Todo lo sembrado	25.00	12.50
0.5 a 2	81.00	40.50
2.5 a 5	37.00	18.50
5.5 a 8	1.00	0.50
8.5 a 10	0.00	0.00
Total	200.00	100.00

Tabla 25: Áreas afectadas de cultivos (hectáreas) en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño”

RANGO DE ÁREA(HA)	CANTIDAD	PORCENTAJE
Ninguna	63	31.5%
Todo lo sembrado	10	5%
0.5 a 2	89	44.5%
2.5 a 5	35	17.5%
5.5 a 8	3	1.5%
8.5 a 10	0	0%
Total	200	100%

Tabla 26: Estado de caminos rurales de Jayanca en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.

ESTADO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Afectados	131	65.5%
Normales	55	27.5%
Destruídos	9	4.5%
Colapsados	5	2.5%
Total	200	100%

Tabla 27: Estado de puentes de la localidad en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.

ESTADO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Afectados	91	45.5%
No tenemos	78	39%
Normales	25	12.5%
Destruídos	4	2%
Colapsados	2	1%
Total	200	100%

Tabla 28: Estado de canales de riego en el año 2017 a consecuencia del Fenómeno “El Niño”.

ESTADO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Afectados	107	53.5%
Buen estado	17	8.5%
No tenemos	52	26%
Destruídos	21	10.5%
Colapsados	3	1.5%
Total	200	100.00%

Tabla 29: Estado de la carretera principal a Jayanca por efecto del Fenómeno “El Niño” en el año 2017.

ESTADO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Afectado	156	78%
Buen estado	5	3%
Destruído	30	15%
Colapsado	9	5%
Total	200	100%

Tabla 30: Perdida agrícola de los pobladores de Jayanca por efecto del Fenómeno “El Niño” en el año 2017.

PERDIDA EN SOLES (S/.)	CANTIDAD	PERDIDA TOTAL
0	61	S/0
5000	90	S/450,000
10000	40	S/400,000
20000	9	S/180,000
30000	0	S/0
40000	0	S/0
Total	200	S/1,030,000

Tabla 31: Perdida monetaria por animales en Jayanca por efecto del Fenómeno “El Niño” en el año 2017.

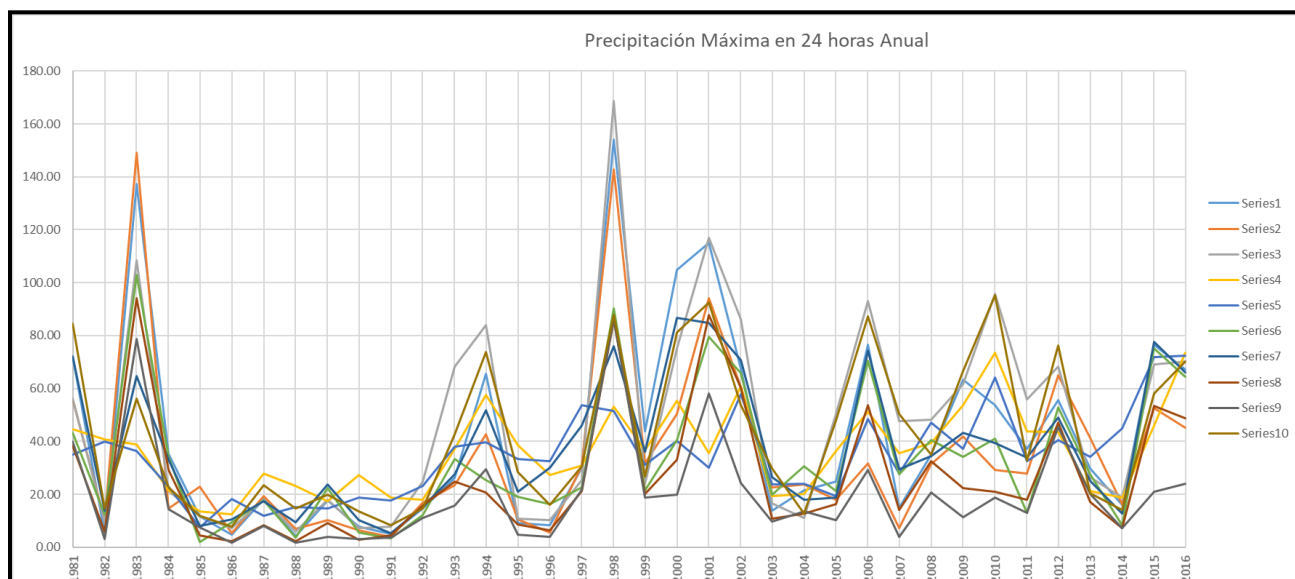
PERDIDA EN SOLES (S/.)	CANTIDAD	PERDIDA TOTAL
Ninguno	57	S/0
1000.00	107	S/107,000
5000.00	13	S/65,000
10000.00	1	S/10,000
3000.00	22	S/66,000
Total	200	S/248,000

Anexo 04

Tabla 32: Precipitación máxima en 24 horas para cada estación y año del registro

Año	Máx. de E1	Máx. de E2	Máx. de E3	Máx. de E4	Máx. de E5	Máx. de E6	Máx. de E7	Máx. de E8	Máx. de E9	Máx. de E10
1981	71.99	55.84	56.26	44.71	34.95	43.17	72.06	38.32	39.92	84.61
1982	5.23	10.29	9.49	40.66	40.06	12.33	13.83	5.77	2.98	14.54
1983	137.38	149.10	108.34	38.94	36.45	102.81	64.76	94.03	78.81	56.09
1984	35.36	14.51	21.10	21.49	22.86	34.19	33.10	29.17	14.31	22.64
1985	11.67	22.96	11.52	13.55	7.47	1.89	8.12	4.52	7.45	11.77
1986	4.64	5.37	7.30	12.41	18.10	9.35	10.47	2.38	1.75	7.63
1987	18.12	19.20	18.01	27.89	11.88	17.55	17.31	8.16	8.04	23.39
1988	4.07	6.97	5.76	23.15	15.24	3.73	9.28	2.22	1.72	14.49
1989	17.69	10.36	17.94	17.30	14.61	22.30	23.60	9.06	3.99	19.95
1990	7.67	6.35	7.13	27.26	18.76	5.50	10.14	2.81	2.95	13.56
1991	4.92	3.91	7.66	18.71	17.57	3.34	5.22	4.50	3.75	8.28
1992	14.72	16.80	24.70	17.84	23.06	12.03	15.18	15.74	11.19	14.72
1993	26.09	23.45	68.18	37.29	38.13	33.23	27.69	24.82	15.73	42.75
1994	65.37	42.58	84.02	57.66	39.52	25.41	51.82	20.80	29.58	73.70
1995	9.14	10.48	10.85	38.62	33.37	18.91	20.88	8.66	4.72	28.45
1996	8.42	5.50	10.20	27.17	32.57	16.23	30.01	6.39	3.86	15.93
1997	29.91	30.92	25.41	30.72	53.57	22.62	45.95	21.10	21.84	30.70
1998	154.20	142.87	168.57	53.21	51.62	90.17	75.85	85.74	86.28	87.67
1999	43.74	31.60	23.97	36.74	31.12	21.42	36.04	20.10	18.82	26.78
2000	104.88	50.45	75.00	55.22	40.13	40.39	86.76	33.12	19.88	81.21
2001	114.97	94.05	117.04	35.63	29.91	79.48	84.78	87.72	58.22	92.48
2002	67.34	60.52	86.13	60.88	57.79	65.86	70.69	60.35	24.39	53.68
2003	13.89	22.51	16.61	19.30	23.83	19.90	26.34	10.80	9.58	29.74
2004	21.43	23.82	11.14	20.24	24.10	30.59	17.85	12.71	13.53	12.81
2005	24.69	18.00	50.37	36.35	19.37	21.20	18.71	16.26	10.33	48.03
2006	76.57	31.60	93.12	51.25	48.53	70.33	74.44	53.58	29.32	87.36
2007	14.86	7.33	47.73	35.39	27.73	27.68	29.45	14.05	3.87	50.48
2008	35.04	31.33	48.17	39.45	47.06	40.53	34.43	32.52	20.61	34.99
2009	63.35	41.73	61.75	53.76	37.09	34.11	43.12	22.22	11.24	66.68
2010	53.81	29.34	95.68	73.42	64.15	41.07	39.26	21.03	18.84	95.11
2011	37.31	27.87	55.96	43.86	32.54	13.03	33.78	17.83	12.95	32.78
2012	55.50	64.84	68.38	43.64	40.37	52.91	49.02	46.99	45.43	76.28
2013	29.77	41.41	26.57	21.10	34.23	27.45	25.20	16.99	20.01	20.34
2014	16.03	16.23	18.83	18.65	44.88	8.34	12.57	7.27	7.24	14.14
2015	76.45	52.55	69.15	46.06	71.92	75.04	77.67	53.33	20.95	58.17
2016	67.05	45.24	70.07	73.61	72.35	64.38	66.17	48.69	23.99	70.23
Total general	154.20	149.10	168.57	73.61	72.35	102.81	86.76	94.03	86.28	95.11

Gráfico 25: Precipitación máxima en 24 horas anual



Anexo 05: Análisis Estadístico de las Estaciones

ESTACION 01

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

		n	36			
Ppmáx	j	Ppmáx	bo	b1	b2	
71.99	1	4.07	42.87	31.77	25.69	
5.23	2	4.64	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	
137.38	3	4.92	4.07	0.00	0.00	
35.36	4	5.23	4.64	0.13	0.00	
11.67	5	7.67	4.92	0.28	0.01	
4.64	6	8.42	5.23	0.45	0.03	
18.12	7	9.14	7.67	0.88	0.08	
4.07	8	11.67	8.42	1.20	0.14	
17.69	9	13.89	9.14	1.57	0.23	
7.67	10	14.72	11.67	2.33	0.41	
4.92	11	14.86	13.89	3.17	0.65	
14.72	12	16.03	14.72	3.79	0.89	
26.09	13	17.69	14.86	4.25	1.12	
65.37	14	18.12	16.03	5.04	1.48	
9.14	15	21.43	17.69	6.07	1.96	
8.42	16	24.69	18.12	6.73	2.38	
29.91	17	26.09	21.43	8.57	3.28	
154.20	18	29.77	24.69	10.58	4.36	
43.74	19	29.91	26.09	11.93	5.26	
104.88	20	35.04	29.77	14.46	6.80	
114.97	21	35.36	29.91	15.38	7.69	
67.34	22	37.31	35.04	19.02	10.07	
13.89	23	43.74	35.36	20.20	11.29	
21.43	24	53.81	37.31	22.39	13.17	
24.69	25	55.50	43.74	27.49	16.98	
76.57	26	63.35	53.81	35.36	22.88	
14.86	27	65.37	55.50	38.05	25.74	
35.04	28	67.05	63.35	45.25	31.94	
63.35	29	67.34	65.37	48.56	35.71	
53.81	30	71.99	67.05	51.72	39.55	
37.31	31	76.45	67.34	53.88	42.78	
55.50	32	76.57	71.99	59.65	49.12	
29.77	33	104.88	76.45	65.53	55.89	
16.03	34	114.97	76.57	67.82	59.84	
76.45	35	137.38	104.88	95.89	87.43	
67.05	36	154.20	114.97	108.40	102.02	
			137.38	133.46	129.53	
			154.20	154.20	154.20	

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.2070
f(k)=0	0.0001
k	-0.2070

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3}$$

c	-0.0267
Kaprox	-0.2080

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \xi = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}$$

α	23.658
ξ	23.190

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

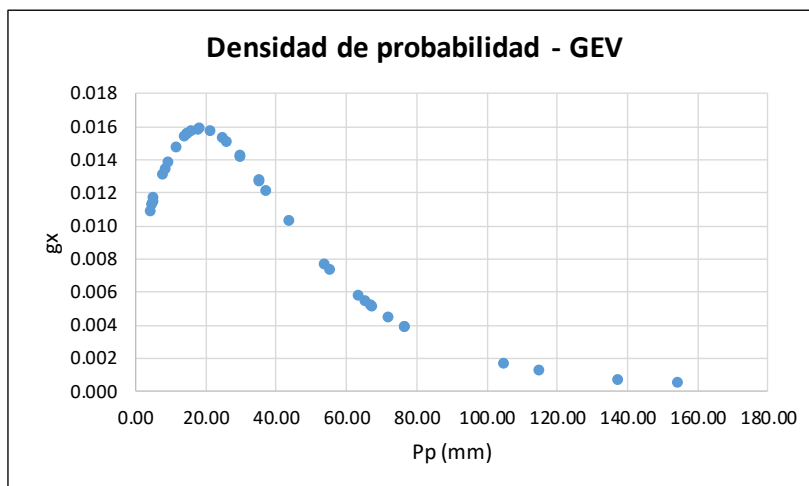
k	-0.20698
α	23.658
ξ	23.190

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

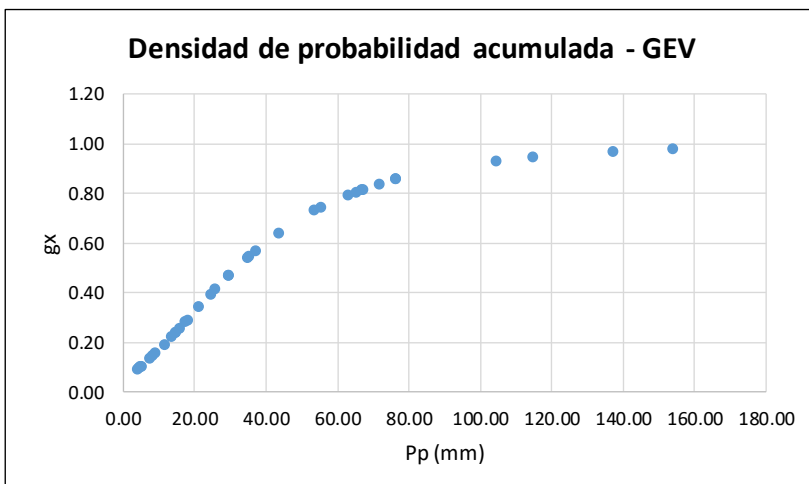
$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	4.07	0.09	0.011	4.07
2	4.64	0.10	0.011	4.64
3	4.92	0.10	0.011	4.92
4	5.23	0.10	0.012	5.23
5	7.67	0.13	0.013	7.67
6	8.42	0.14	0.013	8.42
7	9.14	0.15	0.014	9.14
8	11.67	0.19	0.015	11.67
9	13.89	0.22	0.015	13.89
10	14.72	0.23	0.016	14.72
11	14.86	0.24	0.016	14.86
12	16.03	0.25	0.016	16.03
13	17.69	0.28	0.016	17.69
14	18.12	0.29	0.016	18.12
15	21.43	0.34	0.016	21.43
16	24.69	0.39	0.015	24.69
17	26.09	0.41	0.015	26.09
18	29.77	0.47	0.014	29.77
19	29.91	0.47	0.014	29.91
20	35.04	0.54	0.013	35.04
21	35.36	0.54	0.013	35.36
22	37.31	0.57	0.012	37.31
23	43.74	0.64	0.010	43.74
24	53.81	0.73	0.008	53.81
25	55.50	0.74	0.007	55.50
26	63.35	0.79	0.006	63.35
27	65.37	0.80	0.005	65.37
28	67.05	0.81	0.005	67.05
29	67.34	0.81	0.005	67.34
30	71.99	0.84	0.004	71.99
31	76.45	0.85	0.004	76.45
32	76.57	0.85	0.004	76.57
33	104.88	0.93	0.002	104.88
34	114.97	0.94	0.001	114.97
35	137.38	0.97	0.001	137.38
36	154.20	0.98	0.000	154.20

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



TEST DE KOLMOGOROV

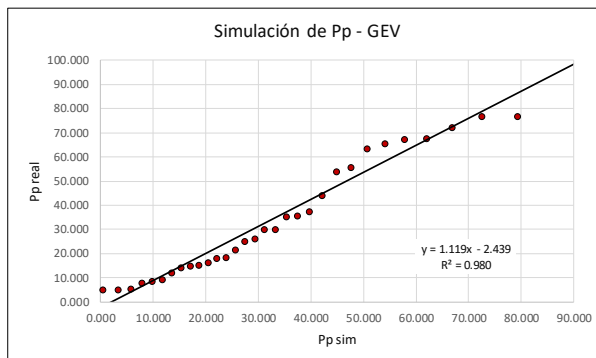
n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	154.199	0.027	37.0	0.025	0.002
2	137.383	0.054	18.5	0.035	0.019
3	114.968	0.081	12.3	0.056	0.025
4	104.880	0.108	9.3	0.071	0.037
5	76.571	0.135	7.4	0.145	0.010
6	76.447	0.162	6.2	0.146	0.016
7	71.986	0.189	5.3	0.164	0.025
8	67.344	0.216	4.6	0.186	0.030
9	67.048	0.243	4.1	0.188	0.055
10	65.375	0.270	3.7	0.197	0.073
11	63.355	0.297	3.4	0.208	0.089
12	55.496	0.324	3.1	0.259	0.065
13	53.807	0.351	2.8	0.272	0.079
14	43.737	0.378	2.6	0.362	0.016
15	37.312	0.405	2.5	0.434	0.029
16	35.358	0.432	2.3	0.458	0.026
17	35.039	0.459	2.2	0.463	0.003
18	29.912	0.486	2.1	0.532	0.045
19	29.769	0.514	1.9	0.534	0.020
20	26.088	0.541	1.9	0.588	0.047
21	24.691	0.568	1.8	0.609	0.041
22	21.432	0.595	1.7	0.660	0.065
23	18.124	0.622	1.6	0.712	0.090
24	17.693	0.649	1.5	0.719	0.070
25	16.026	0.676	1.5	0.745	0.069
26	14.863	0.703	1.4	0.763	0.061
27	14.724	0.730	1.4	0.766	0.036
28	13.889	0.757	1.3	0.778	0.022
29	11.675	0.784	1.3	0.812	0.028
30	9.141	0.811	1.2	0.848	0.037
31	8.425	0.838	1.2	0.858	0.020
32	7.670	0.865	1.2	0.868	0.003
33	5.225	0.892	1.1	0.898	0.006
34	4.917	0.919	1.1	0.902	0.017
35	4.636	0.946	1.1	0.905	0.041
36	4.073	0.973	1.0	0.911	0.062
				$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.090
<i>Nivel de significancia...</i>				α	0.05
				$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
<i>Criterio de desición...</i>				$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Acceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales X_{real}	Precipitaciones simuladas X_{sim}
1	154.199	149.551
2	137.383	116.784
3	114.968	99.483
4	104.880	87.920
5	76.571	79.308
6	76.447	72.473
7	71.986	66.816
8	67.344	61.993
9	67.048	57.788
10	65.375	54.056
11	63.355	50.696
12	55.496	47.636
13	53.807	44.820
14	43.737	42.207
15	37.312	39.763
16	35.358	37.462
17	35.039	35.282
18	29.912	33.204
19	29.769	31.213
20	26.088	29.296
21	24.691	27.439
22	21.432	25.633
23	18.124	23.868
24	17.693	22.132
25	16.026	20.417
26	14.863	18.712
27	14.724	17.006
28	13.889	15.286
29	11.675	13.539
30	9.141	11.743
31	8.425	9.876
32	7.670	7.899
33	5.225	5.756
34	4.917	3.348
35	4.636	0.468
36	4.073	-3.484

R^2 **0.980**



ESTACION 02

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

		n	36			
Ppmáx	j	Ppmáx	b0	b1	b2	
56.26	1	5.76	47.17	34.23	27.23	
9.49	2	7.13	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	
108.34	3	7.30	5.76	0.00	0.00	
21.10	4	7.66	7.13	0.20	0.00	
11.52	5	9.49	7.30	0.42	0.01	
7.30	6	10.20	7.66	0.66	0.04	
18.01	7	10.85	9.49	1.08	0.10	
5.76	8	11.14	10.20	1.46	0.17	
17.94	9	11.52	10.85	1.86	0.27	
7.13	10	16.61	11.14	2.23	0.39	
7.66	11	17.94	11.52	2.63	0.54	
24.70	12	18.01	16.61	4.27	1.01	
68.18	13	18.83	17.94	5.12	1.36	
84.02	14	21.10	18.01	5.66	1.66	
10.85	15	23.97	18.83	6.46	2.09	
10.20	16	24.70	21.10	7.84	2.77	
25.41	17	25.41	23.97	9.59	3.67	
168.57	18	26.57	24.70	10.58	4.36	
23.97	19	47.73	25.41	11.62	5.12	
75.00	20	48.17	26.57	12.91	6.07	
117.04	21	50.37	26.57	12.91	6.07	
86.13	22	55.96	47.73	24.55	12.27	
16.61	23	56.26	48.17	26.15	13.84	
11.14	24	61.75	50.37	28.78	16.08	
50.37	25	68.18	55.96	33.57	19.75	
93.12	26	68.38	56.26	35.36	21.84	
47.73	27	69.15	61.75	40.58	26.26	
48.17	28	70.07	68.18	46.75	31.63	
61.75	29	75.00	68.38	48.84	34.48	
95.68	30	84.02	69.15	51.37	37.77	
55.96	31	86.13	70.07	54.05	41.33	
68.38	32	93.12	75.00	60.00	47.65	
26.57	33	95.68	84.02	69.62	57.33	
18.83	34	108.34	86.13	73.82	62.97	
69.15	35	117.04	93.12	82.47	72.77	
70.07	36	168.57	95.68	87.47	79.76	
			108.34	102.15	96.14	
			117.04	113.70	110.35	
			168.57	168.57	168.57	

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

n	36
---	----

j	Ppmáx
1	3.91
2	5.37
3	5.50
4	6.35
5	6.97
6	7.33
7	10.29
8	10.36
9	10.48
10	14.51
11	16.23
12	16.80
13	18.00
14	19.20
15	22.51
16	22.96
17	23.45
18	23.82
19	27.87
20	29.34
21	30.92
22	31.33
23	31.60
24	31.60
25	41.41
26	41.73
27	42.58
28	45.24
29	50.45
30	52.55
31	55.84
32	60.52
33	64.84
34	94.05
35	142.87
36	149.10

bo	b1	b2
35.22	25.85	21.03
P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj
3.91	0.00	0.00
5.37	0.15	0.00
5.50	0.31	0.01
6.35	0.54	0.03
6.97	0.80	0.07
7.33	1.05	0.12
10.29	1.76	0.26
10.36	2.07	0.37
10.48	2.40	0.49
14.51	3.73	0.88
16.23	4.64	1.23
16.80	5.28	1.55
18.00	6.17	2.00
19.20	7.13	2.52
22.51	9.00	3.44
22.96	9.84	4.05
23.45	10.72	4.73
23.82	11.57	5.44
27.87	14.33	7.17
29.34	15.93	8.43
30.92	17.67	9.87
31.33	18.80	11.06
31.60	19.86	12.27
31.60	20.77	13.44
41.41	28.40	19.21
41.73	29.81	21.04
42.58	31.63	23.26
45.24	34.90	26.69
50.45	40.36	32.05
52.55	43.54	35.86
55.84	47.86	40.82
60.52	53.61	47.30
64.84	59.28	54.05
94.05	88.67	83.46
142.87	138.79	134.71
149.10	149.10	149.10

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3b_2 - b_0}{2b_1 - b_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.3069
f(k)=0	-0.0002
k	-0.3069

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3};$$

c	-0.0397
k _{aprox}	-0.3070

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}.$$

α	16.293
ξ	18.809

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{- (x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

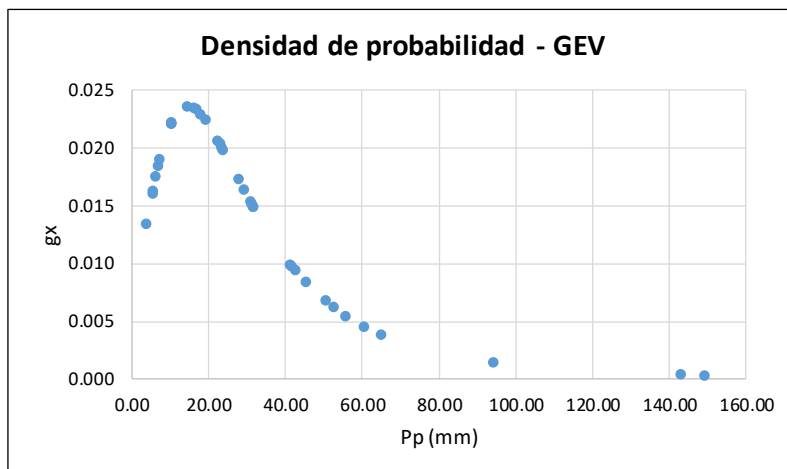
k	-0.30686
α	16.293
ξ	18.809

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

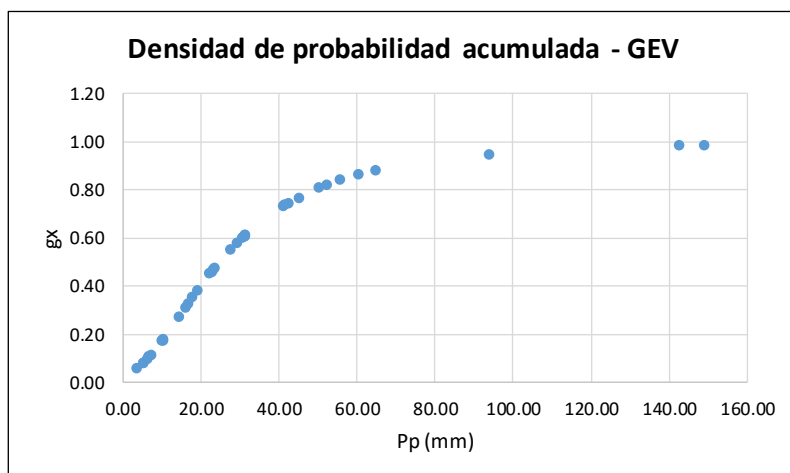
$$= \exp[-\exp\{- (x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	3.91	0.05	0.013	3.91
2	5.37	0.08	0.016	5.37
3	5.50	0.08	0.016	5.50
4	6.35	0.09	0.018	6.35
5	6.97	0.10	0.018	6.97
6	7.33	0.11	0.019	7.33
7	10.29	0.17	0.022	10.29
8	10.36	0.17	0.022	10.36
9	10.48	0.17	0.022	10.48
10	14.51	0.27	0.024	14.51
11	16.23	0.31	0.023	16.23
12	16.80	0.32	0.023	16.80
13	18.00	0.35	0.023	18.00
14	19.20	0.38	0.022	19.20
15	22.51	0.45	0.021	22.51
16	22.96	0.46	0.020	22.96
17	23.45	0.47	0.020	23.45
18	23.82	0.47	0.020	23.82
19	27.87	0.55	0.017	27.87
20	29.34	0.57	0.016	29.34
21	30.92	0.60	0.015	30.92
22	31.33	0.61	0.015	31.33
23	31.60	0.61	0.015	31.60
24	31.60	0.61	0.015	31.60
25	41.41	0.73	0.010	41.41
26	41.73	0.73	0.010	41.73
27	42.58	0.74	0.009	42.58
28	45.24	0.76	0.008	45.24
29	50.45	0.80	0.007	50.45
30	52.55	0.82	0.006	52.55
31	55.84	0.84	0.005	55.84
32	60.52	0.86	0.004	60.52
33	64.84	0.88	0.004	64.84
34	94.05	0.95	0.001	94.05
35	142.87	0.98	0.000	142.87
36	149.10	0.98	0.000	149.10

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



TEST DE KOLMOGOROV

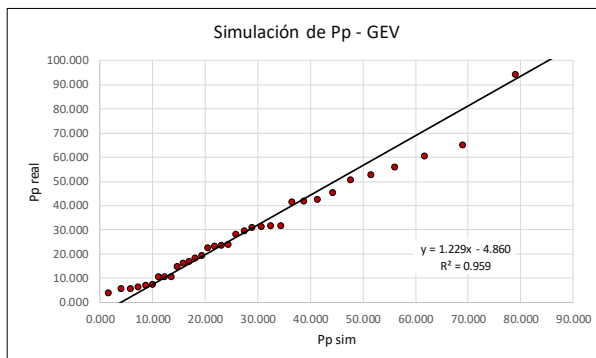
n°	Precipitaciones ordenadas	Prob. de exced. Empírica - Weibull	Tr (años)	Prob. de exced. Teórica - GEV	Delta calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	149.098	0.027	37.0	0.017	0.010
2	142.869	0.054	18.5	0.020	0.035
3	94.045	0.081	12.3	0.055	0.026
4	64.841	0.108	9.3	0.123	0.014
5	60.523	0.135	7.4	0.140	0.005
6	55.839	0.162	6.2	0.163	0.001
7	52.551	0.189	5.3	0.182	0.007
8	50.446	0.216	4.6	0.196	0.020
9	45.239	0.243	4.1	0.235	0.008
10	42.585	0.270	3.7	0.259	0.012
11	41.728	0.297	3.4	0.267	0.030
12	41.413	0.324	3.1	0.270	0.054
13	31.601	0.351	2.8	0.390	0.039
14	31.598	0.378	2.6	0.390	0.012
15	31.335	0.405	2.5	0.394	0.011
16	30.917	0.432	2.3	0.401	0.032
17	29.336	0.459	2.2	0.426	0.034
18	27.869	0.486	2.1	0.450	0.036
19	23.818	0.514	1.9	0.525	0.012
20	23.450	0.541	1.9	0.533	0.008
21	22.956	0.568	1.8	0.543	0.025
22	22.506	0.595	1.7	0.552	0.043
23	19.200	0.622	1.6	0.623	0.002
24	18.000	0.649	1.5	0.651	0.002
25	16.798	0.676	1.5	0.678	0.003
26	16.232	0.703	1.4	0.691	0.011
27	14.512	0.730	1.4	0.732	0.002
28	10.484	0.757	1.3	0.825	0.068
29	10.359	0.784	1.3	0.828	0.044
30	10.285	0.811	1.2	0.829	0.019
31	7.333	0.838	1.2	0.890	0.053
32	6.971	0.865	1.2	0.897	0.032
33	6.347	0.892	1.1	0.908	0.017
34	5.504	0.919	1.1	0.923	0.004
35	5.365	0.946	1.1	0.925	0.021
36	3.912	0.973	1.0	0.946	0.027

	$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.068
<i>Nivel de significancia...</i>	α	0.05
	$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
<i>Criterio de desición...</i>	$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	149.098	125.840
2	142.869	94.605
3	94.045	79.026
4	64.841	68.985
5	60.523	61.706
6	55.839	56.054
7	52.551	51.461
8	50.446	47.608
9	45.239	44.295
10	42.585	41.392
11	41.728	38.810
12	41.413	36.483
13	31.601	34.365
14	31.598	32.417
15	31.335	30.612
16	30.917	28.928
17	29.336	27.345
18	27.869	25.849
19	23.818	24.426
20	23.450	23.067
21	22.956	21.761
22	22.506	20.500
23	19.200	19.276
24	18.000	18.081
25	16.798	16.910
26	16.232	15.754
27	14.512	14.605
28	10.484	13.457
29	10.359	12.299
30	10.285	11.119
31	7.333	9.902
32	6.971	8.626
33	6.347	7.256
34	5.504	5.734
35	5.365	3.938
36	3.912	1.518
	R ²	0.959



ESTACION 03

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

		n	36			
Ppmáx	j	Ppmáx	bo	b1	b2	
56.26	1	5.76	47.17	34.23	27.23	
9.49	2	7.13	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	
108.34	3	7.30	5.76	0.00	0.00	
21.10	4	7.66	7.13	0.20	0.00	
11.52	5	9.49	7.30	0.42	0.01	
7.30	6	10.20	7.66	0.66	0.04	
18.01	7	10.85	9.49	1.08	0.10	
5.76	8	11.14	10.20	1.46	0.17	
17.94	9	11.52	10.85	1.86	0.27	
7.13	10	16.61	11.14	2.23	0.39	
7.66	11	17.94	11.52	2.63	0.54	
24.70	12	18.01	16.61	4.27	1.01	
68.18	13	18.83	17.94	5.12	1.36	
84.02	14	21.10	18.01	5.66	1.66	
10.85	15	23.97	18.83	6.46	2.09	
10.20	16	24.70	21.10	7.84	2.77	
25.41	17	25.41	23.97	9.59	3.67	
168.57	18	26.57	24.70	10.58	4.36	
23.97	19	47.73	25.41	11.62	5.12	
75.00	20	48.17	26.57	12.91	6.07	
117.04	21	50.37	47.73	24.55	12.27	
86.13	22	55.96	48.17	26.15	13.84	
16.61	23	56.26	50.37	28.78	16.08	
11.14	24	61.75	55.96	33.57	19.75	
50.37	25	68.18	56.26	35.36	21.84	
93.12	26	68.38	61.75	40.58	26.26	
47.73	27	69.15	68.18	46.75	31.63	
48.17	28	70.07	68.38	48.84	34.48	
61.75	29	75.00	69.15	51.37	37.77	
95.68	30	84.02	70.07	54.05	41.33	
55.96	31	86.13	75.00	60.00	47.65	
68.38	32	93.12	84.02	69.62	57.33	
26.57	33	95.68	86.13	73.82	62.97	
18.83	34	108.34	93.12	82.47	72.77	
69.15	35	117.04	95.68	87.47	79.76	
70.07	36	168.57	108.34	102.15	96.14	
			117.04	113.70	110.35	
			168.57	168.57	168.57	

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2^{-\beta_0}}{2\beta_1^{-\beta_0}} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.1110
f(k)=0	-0.0002
k	-0.1110

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3};$$

c	-0.0142
k _{aprox}	-0.1110

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}.$$

α	27.429
ξ	27.976

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

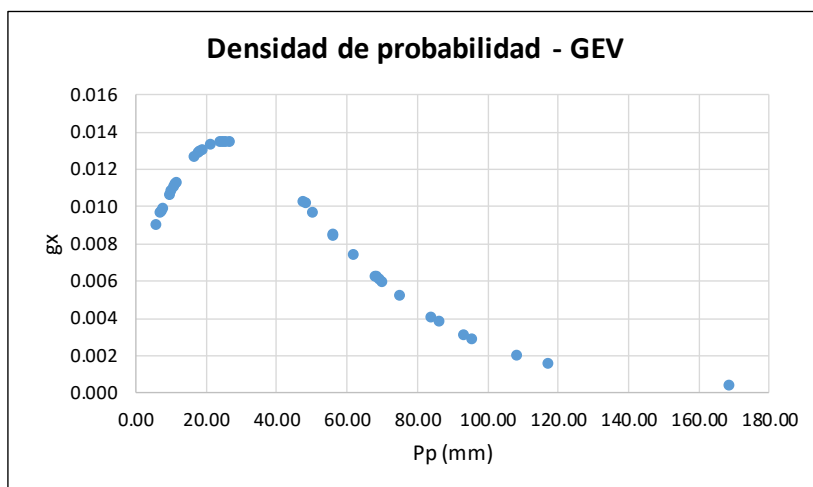
k	-0.11102
α	27.429
ξ	27.976

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

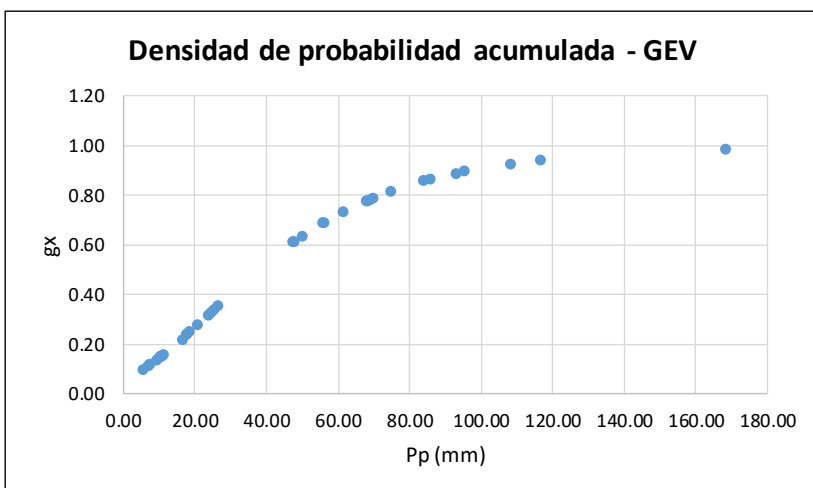
$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	5.76	0.10	0.009	5.76
2	7.13	0.11	0.010	7.13
3	7.30	0.11	0.010	7.30
4	7.66	0.11	0.010	7.66
5	9.49	0.13	0.011	9.49
6	10.20	0.14	0.011	10.20
7	10.85	0.15	0.011	10.85
8	11.14	0.15	0.011	11.14
9	11.52	0.16	0.011	11.52
10	16.61	0.22	0.013	16.61
11	17.94	0.23	0.013	17.94
12	18.01	0.23	0.013	18.01
13	18.83	0.25	0.013	18.83
14	21.10	0.28	0.013	21.10
15	23.97	0.31	0.013	23.97
16	24.70	0.32	0.013	24.70
17	25.41	0.33	0.013	25.41
18	26.57	0.35	0.013	26.57
19	47.73	0.61	0.010	47.73
20	48.17	0.61	0.010	48.17
21	50.37	0.63	0.010	50.37
22	55.96	0.68	0.009	55.96
23	56.26	0.69	0.008	56.26
24	61.75	0.73	0.007	61.75
25	68.18	0.77	0.006	68.18
26	68.38	0.77	0.006	68.38
27	69.15	0.78	0.006	69.15
28	70.07	0.78	0.006	70.07
29	75.00	0.81	0.005	75.00
30	84.02	0.85	0.004	84.02
31	86.13	0.86	0.004	86.13
32	93.12	0.89	0.003	93.12
33	95.68	0.89	0.003	95.68
34	108.34	0.92	0.002	108.34
35	117.04	0.94	0.002	117.04
36	168.57	0.98	0.000	168.57

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



TEST DE KOLMOGOROV

n°	Precipitaciones ordenadas	Prob. de exced. Empírica - Weibull	Tr (años)	Prob. de exced. Teórica - GEV	Delta calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	168.570	0.027	37.0	0.017	0.010
2	117.043	0.054	18.5	0.061	0.007
3	108.339	0.081	12.3	0.076	0.005
4	95.675	0.108	9.3	0.107	0.001
5	93.115	0.135	7.4	0.114	0.021
6	86.128	0.162	6.2	0.138	0.024
7	84.021	0.189	5.3	0.147	0.043
8	75.003	0.216	4.6	0.188	0.028
9	70.067	0.243	4.1	0.215	0.028
10	69.153	0.270	3.7	0.221	0.049
11	68.376	0.297	3.4	0.226	0.072
12	68.183	0.324	3.1	0.227	0.098
13	61.753	0.351	2.8	0.270	0.081
14	56.260	0.378	2.6	0.314	0.064
15	55.958	0.405	2.5	0.316	0.089
16	50.370	0.432	2.3	0.367	0.065
17	48.172	0.459	2.2	0.389	0.070
18	47.730	0.486	2.1	0.394	0.093
19	26.572	0.514	1.9	0.651	0.137
20	25.411	0.541	1.9	0.667	0.126
21	24.695	0.568	1.8	0.676	0.109
22	23.966	0.595	1.7	0.686	0.092
23	21.099	0.622	1.6	0.725	0.103
24	18.827	0.649	1.5	0.755	0.106
25	18.007	0.676	1.5	0.765	0.090
26	17.936	0.703	1.4	0.766	0.063
27	16.612	0.730	1.4	0.783	0.053
28	11.517	0.757	1.3	0.844	0.088
29	11.142	0.784	1.3	0.849	0.065
30	10.849	0.811	1.2	0.852	0.041
31	10.197	0.838	1.2	0.859	0.021
32	9.486	0.865	1.2	0.867	0.002
33	7.660	0.892	1.1	0.885	0.007
34	7.296	0.919	1.1	0.889	0.030
35	7.127	0.946	1.1	0.891	0.055
36	5.756	0.973	1.0	0.903	0.070

 $\Delta_{cal} \text{ máx}$ 0.137

Nivel de significancia...

 α 0.05 $\Delta_{teo} \text{ máx}$ 0.22119

Criterio de decisión...

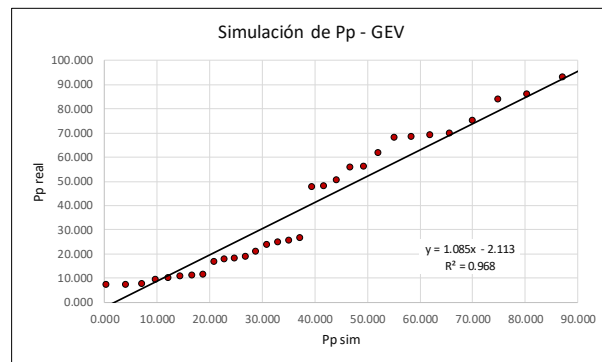
 $\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$

Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	168.570	149.255
2	117.043	121.444
3	108.339	105.937
4	95.675	95.208
5	93.115	87.005
6	86.128	80.358
7	84.021	74.759
8	75.003	69.911
9	70.067	65.626
10	69.153	61.775
11	68.376	58.270
12	68.183	55.043
13	61.753	52.045
14	56.260	49.236
15	55.958	46.587
16	50.370	44.071
17	48.172	41.668
18	47.730	39.360
19	26.572	37.131
20	25.411	34.969
21	24.695	32.861
22	23.966	30.795
23	21.099	28.760
24	18.827	26.747
25	18.007	24.742
26	17.936	22.736
27	16.612	20.713
28	11.517	18.660
29	11.142	16.557
30	10.849	14.380
31	10.197	12.097
32	9.486	9.658
33	7.660	6.990
34	7.296	3.958
35	7.127	0.283
36	5.756	-4.847
	R ²	0.968



ESTACION 04

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

		n	36			
Ppmáx	j	Ppmáx	b0	b1	b2	
44.71	1	12.41	36.48	22.86	16.96	
40.66	2	13.55	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	
38.94	3	17.30	12.41	0.00	0.00	
21.49	4	17.84	13.55	0.39	0.00	
13.55	5	18.65	17.30	0.99	0.03	
12.41	6	18.71	17.84	1.53	0.09	
27.89	7	19.30	18.65	2.13	0.19	
23.15	8	20.24	18.71	2.67	0.31	
17.30	9	21.10	19.30	3.31	0.49	
27.26	10	21.49	20.24	4.05	0.71	
18.71	11	23.15	21.10	4.82	0.99	
17.84	12	27.17	21.49	5.53	1.30	
37.29	13	27.26	23.15	6.61	1.75	
57.66	14	27.89	27.17	8.54	2.51	
38.62	15	30.72	27.26	9.34	3.02	
27.17	16	35.39	27.89	10.36	3.66	
30.72	17	35.63	30.72	12.29	4.70	
53.21	18	36.35	35.39	15.17	6.25	
36.74	19	36.74	35.63	16.29	7.18	
55.22	20	37.29	36.35	17.65	8.31	
35.63	21	38.62	36.74	18.89	9.45	
60.88	22	38.94	37.29	20.24	10.72	
19.30	23	39.45	38.62	22.07	12.33	
20.24	24	40.66	38.94	23.36	13.74	
36.35	25	43.64	39.45	24.80	15.32	
51.25	26	43.86	40.66	26.72	17.29	
35.39	27	44.71	43.64	29.93	20.24	
39.45	28	46.06	43.86	31.33	22.12	
53.76	29	51.25	44.71	33.22	24.42	
73.42	30	53.21	46.06	35.53	27.17	
43.86	31	53.76	51.25	41.00	32.56	
43.64	32	55.22	53.21	44.09	36.31	
21.10	33	57.66	53.76	46.08	39.31	
18.65	34	60.88	55.22	48.91	43.16	
46.06	35	73.42	57.66	52.72	48.07	
73.61	36	73.61	60.88	57.40	54.02	
			73.42	71.33	69.23	
			73.61	73.61	73.61	

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	0.0830
f(k)=0	-0.0001
k	0.0830

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3};$$

c	0.0106
k _{aprox}	0.0837

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}.$$

α	14.314
ξ	29.307

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

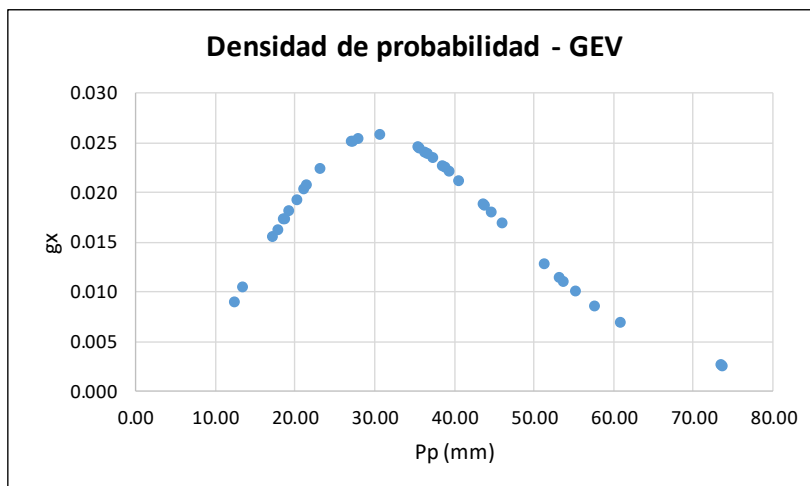
k	0.08304
α	14.314
ξ	29.307

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

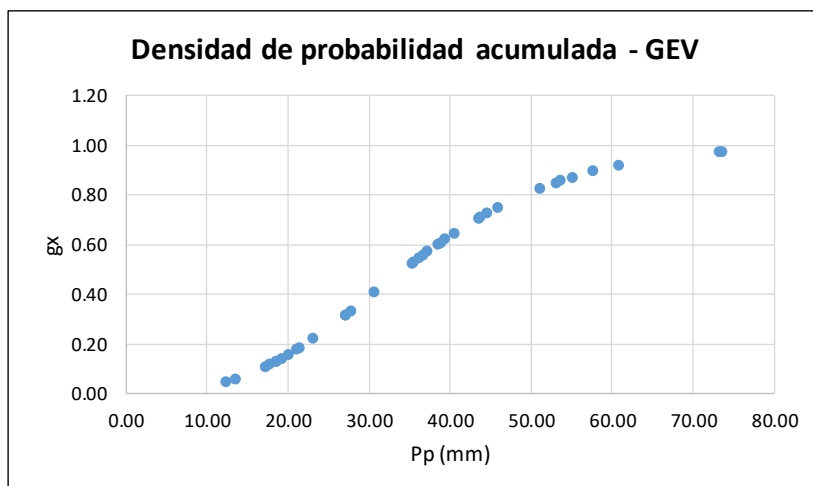
$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	12.41	0.05	0.009	12.41
2	13.55	0.06	0.010	13.55
3	17.30	0.11	0.015	17.30
4	17.84	0.11	0.016	17.84
5	18.65	0.13	0.017	18.65
6	18.71	0.13	0.017	18.71
7	19.30	0.14	0.018	19.30
8	20.24	0.16	0.019	20.24
9	21.10	0.17	0.020	21.10
10	21.49	0.18	0.021	21.49
11	23.15	0.22	0.022	23.15
12	27.17	0.31	0.025	27.17
13	27.26	0.32	0.025	27.26
14	27.89	0.33	0.025	27.89
15	30.72	0.40	0.026	30.72
16	35.39	0.52	0.025	35.39
17	35.63	0.53	0.024	35.63
18	36.35	0.55	0.024	36.35
19	36.74	0.56	0.024	36.74
20	37.29	0.57	0.024	37.29
21	38.62	0.60	0.023	38.62
22	38.94	0.61	0.022	38.94
23	39.45	0.62	0.022	39.45
24	40.66	0.64	0.021	40.66
25	43.64	0.70	0.019	43.64
26	43.86	0.71	0.019	43.86
27	44.71	0.72	0.018	44.71
28	46.06	0.75	0.017	46.06
29	51.25	0.82	0.013	51.25
30	53.21	0.85	0.011	53.21
31	53.76	0.85	0.011	53.76
32	55.22	0.87	0.010	55.22
33	57.66	0.89	0.009	57.66
34	60.88	0.92	0.007	60.88
35	73.42	0.97	0.003	73.42
36	73.61	0.97	0.003	73.61

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



TEST DE KOLMOGOROV

n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	73.614	0.027	37.0	0.028	0.001
2	73.423	0.054	18.5	0.028	0.026
3	60.879	0.081	12.3	0.084	0.003
4	57.662	0.108	9.3	0.108	0.000
5	55.225	0.135	7.4	0.131	0.004
6	53.764	0.162	6.2	0.146	0.016
7	53.210	0.189	5.3	0.153	0.036
8	51.255	0.216	4.6	0.176	0.040
9	46.056	0.243	4.1	0.253	0.010
10	44.713	0.270	3.7	0.277	0.006
11	43.864	0.297	3.4	0.292	0.005
12	43.643	0.324	3.1	0.296	0.028
13	40.663	0.351	2.8	0.356	0.005
14	39.448	0.378	2.6	0.382	0.004
15	38.938	0.405	2.5	0.394	0.012
16	38.616	0.432	2.3	0.401	0.031
17	37.291	0.459	2.2	0.432	0.028
18	36.739	0.486	2.1	0.445	0.042
19	36.347	0.514	1.9	0.454	0.059
20	35.625	0.541	1.9	0.472	0.069
21	35.395	0.568	1.8	0.477	0.090
22	30.721	0.595	1.7	0.596	0.001
23	27.886	0.622	1.6	0.668	0.047
24	27.256	0.649	1.5	0.684	0.036
25	27.165	0.676	1.5	0.687	0.011
26	23.148	0.703	1.4	0.783	0.080
27	21.492	0.730	1.4	0.818	0.089
28	21.097	0.757	1.3	0.826	0.070
29	20.239	0.784	1.3	0.843	0.060
30	19.303	0.811	1.2	0.861	0.050
31	18.712	0.838	1.2	0.871	0.034
32	18.654	0.865	1.2	0.872	0.008
33	17.839	0.892	1.1	0.886	0.006
34	17.299	0.919	1.1	0.895	0.024
35	13.548	0.946	1.1	0.943	0.003
36	12.410	0.973	1.0	0.954	0.019

 $\Delta_{cal} \text{ máx}$ 0.090 α 0.05 $\Delta_{teo} \text{ máx}$ 0.22119

Nivel de significancia...

Criterio de decisión...

 $\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$ Aceptado

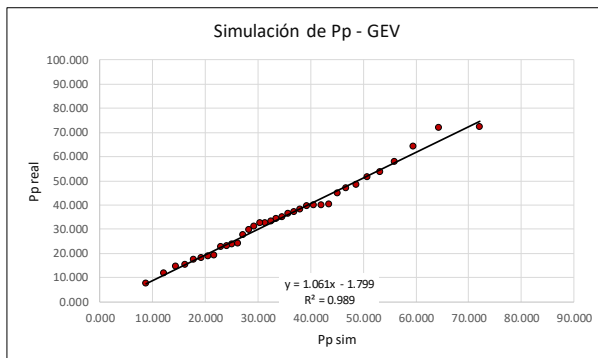
SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones	Precipitaciones
	reales	simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	72.353	72.036
2	71.915	64.305
3	64.146	59.507
4	57.787	55.950
5	53.565	53.087
6	51.619	50.669
7	48.531	48.559
8	47.060	46.676
9	44.876	44.966
10	40.373	43.391
11	40.126	41.925
12	40.061	40.547
13	39.519	39.242
14	38.125	37.996
15	37.088	36.800
16	36.454	35.646
17	34.954	34.525
18	34.235	33.432
19	33.370	32.361
20	32.566	31.306
21	32.537	30.262
22	31.125	29.225
23	29.906	28.189
24	27.730	27.149
25	24.096	26.100
26	23.832	25.034
27	23.057	23.945
28	22.864	22.823
29	19.367	21.656
30	18.758	20.429
31	18.099	19.121
32	17.569	17.699
33	15.239	16.113
34	14.609	14.272
35	11.878	11.982
36	7.466	8.673

R²

0.989



ESTACIÓN 05

Cálculo de los estimadores estadísticos br			
$b_0 = n^{-1} \sum x_j$			
$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$			
	n	36	
P_{ppmáx}	j	P_{ppmáx}	
34.95	1	7.47	
40.06	2	11.88	
36.45	3	14.61	
22.86	4	15.24	
7.47	5	17.57	
18.10	6	18.10	
11.88	7	18.76	
15.24	8	19.37	
14.61	9	22.86	
18.76	10	23.06	
17.57	11	23.83	
23.06	12	24.10	
38.13	13	27.73	
39.52	14	29.91	
33.37	15	31.12	
32.57	16	32.54	
53.57	17	32.57	
51.62	18	33.37	
31.12	19	34.23	
40.13	20	34.95	
29.91	21	36.45	
57.79	22	37.09	
23.83	23	38.13	
24.10	24	39.52	
19.37	25	40.06	
48.53	26	40.13	
27.73	27	40.37	
47.06	28	44.88	
37.09	29	47.06	
64.15	30	48.53	
32.54	31	51.62	
40.37	32	53.57	
34.23	33	57.79	
44.88	34	64.15	
71.92	35	71.92	
72.35	36	72.35	
	b₀	b₁	b₂
	34.91	22.03	16.40
	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj
	7.47	0.00	0.00
	11.88	0.34	0.00
	14.61	0.83	0.02
	15.24	1.31	0.08
	17.57	2.01	0.18
	18.10	2.59	0.30
	18.76	3.22	0.47
	19.37	3.87	0.68
	22.86	5.23	1.08
	23.06	5.93	1.40
	23.83	6.81	1.80
	24.10	7.57	2.23
	27.73	9.51	3.08
	29.91	11.11	3.92
	31.12	12.45	4.76
	32.54	13.94	5.74
	32.57	14.89	6.57
	33.37	16.21	7.63
	34.23	17.61	8.80
	34.95	18.97	10.05
	36.45	20.83	11.64
	37.09	22.25	13.09
	38.13	23.96	14.80
	39.52	25.97	16.80
	40.06	27.47	18.58
	40.13	28.66	20.23
	40.37	29.99	22.05
	44.88	34.62	26.47
	47.06	37.65	29.90
	48.53	40.21	33.12
	51.62	44.25	37.74
	53.57	47.44	41.86
	57.79	52.83	48.17
	64.15	60.48	56.92
	71.92	69.86	67.81
	72.35	72.35	72.35

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	0.0794
f(k)=0	-0.0001
k	0.0794

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3};$$

c	0.0101
k _{aprox}	0.0800

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}.$$

α	14.141
ξ	27.786

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

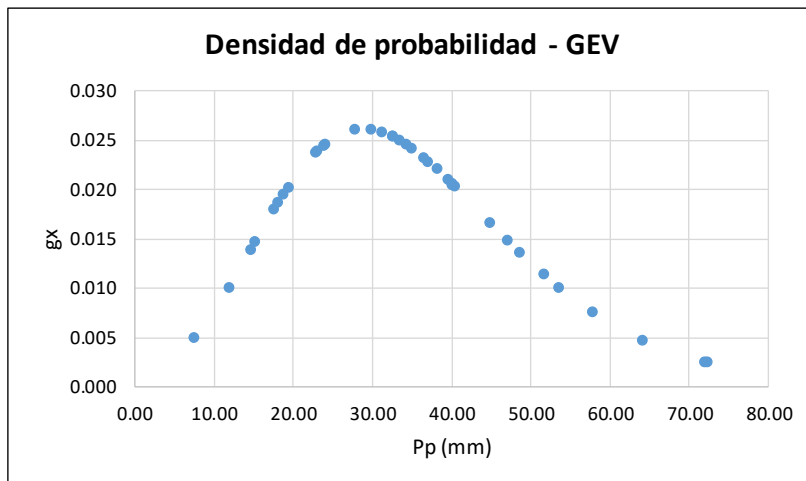
$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

k	0.07937
α	14.141
ξ	27.786

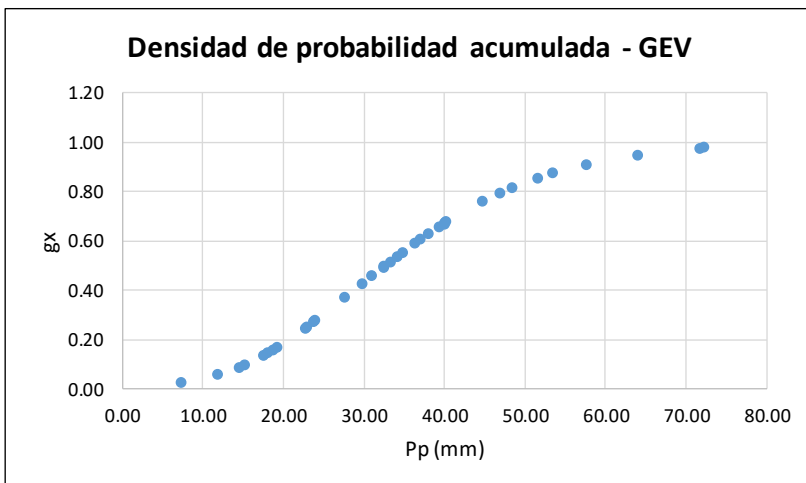
$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$				
$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$				

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	7.47	0.02	0.005	7.47
2	11.88	0.05	0.010	11.88
3	14.61	0.09	0.014	14.61
4	15.24	0.09	0.015	15.24
5	17.57	0.13	0.018	17.57
6	18.10	0.14	0.019	18.10
7	18.76	0.16	0.019	18.76
8	19.37	0.17	0.020	19.37
9	22.86	0.24	0.024	22.86
10	23.06	0.25	0.024	23.06
11	23.83	0.27	0.024	23.83
12	24.10	0.27	0.025	24.10
13	27.73	0.37	0.026	27.73
14	29.91	0.42	0.026	29.91
15	31.12	0.45	0.026	31.12
16	32.54	0.49	0.025	32.54
17	32.57	0.49	0.025	32.57
18	33.37	0.51	0.025	33.37
19	34.23	0.53	0.025	34.23
20	34.95	0.55	0.024	34.95
21	36.45	0.59	0.023	36.45
22	37.09	0.60	0.023	37.09
23	38.13	0.62	0.022	38.13
24	39.52	0.65	0.021	39.52
25	40.06	0.67	0.021	40.06
26	40.13	0.67	0.021	40.13
27	40.37	0.67	0.020	40.37
28	44.88	0.76	0.017	44.88
29	47.06	0.79	0.015	47.06
30	48.53	0.81	0.014	48.53
31	51.62	0.85	0.011	51.62
32	53.57	0.87	0.010	53.57
33	57.79	0.91	0.008	57.79
34	64.15	0.95	0.005	64.15
35	71.92	0.97	0.003	71.92
36	72.35	0.97	0.002	72.35

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



TEST DE KOLMOGOROV

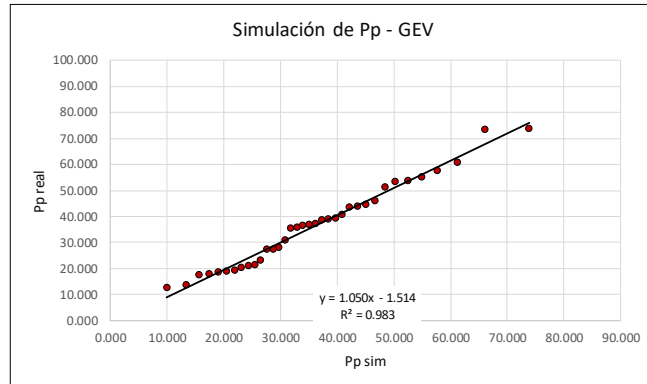
n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	72.353	0.027	37.0	0.026	0.001
2	71.915	0.054	18.5	0.027	0.027
3	64.146	0.081	12.3	0.055	0.026
4	57.787	0.108	9.3	0.093	0.015
5	53.565	0.135	7.4	0.130	0.005
6	51.619	0.162	6.2	0.151	0.011
7	48.531	0.189	5.3	0.190	0.000
8	47.060	0.216	4.6	0.210	0.006
9	44.876	0.243	4.1	0.245	0.001
10	40.373	0.270	3.7	0.328	0.058
11	40.126	0.297	3.4	0.333	0.036
12	40.061	0.324	3.1	0.334	0.010
13	39.519	0.351	2.8	0.345	0.006
14	38.125	0.378	2.6	0.376	0.003
15	37.088	0.405	2.5	0.399	0.007
16	36.454	0.432	2.3	0.413	0.019
17	34.954	0.459	2.2	0.449	0.010
18	34.235	0.486	2.1	0.467	0.020
19	33.370	0.514	1.9	0.488	0.025
20	32.566	0.541	1.9	0.508	0.032
21	32.537	0.568	1.8	0.509	0.059
22	31.125	0.595	1.7	0.545	0.049
23	29.906	0.622	1.6	0.577	0.045
24	27.730	0.649	1.5	0.634	0.015
25	24.096	0.676	1.5	0.726	0.050
26	23.832	0.703	1.4	0.732	0.030
27	23.057	0.730	1.4	0.751	0.021
28	22.864	0.757	1.3	0.756	0.001
29	19.367	0.784	1.3	0.833	0.049
30	18.758	0.811	1.2	0.845	0.034
31	18.099	0.838	1.2	0.858	0.020
32	17.569	0.865	1.2	0.867	0.002
33	15.239	0.892	1.1	0.905	0.013
34	14.609	0.919	1.1	0.914	0.005
35	11.878	0.946	1.1	0.947	0.001
36	7.466	0.973	1.0	0.980	0.007
				$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.059
				α	0.05
				$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
				$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	73.614	73.820
2	73.423	66.087
3	60.879	61.277
4	57.662	57.707
5	55.225	54.830
6	53.764	52.399
7	53.210	50.276
8	51.255	48.381
9	46.056	46.658
10	44.713	45.071
11	43.864	43.593
12	43.643	42.203
13	40.663	40.886
14	39.448	39.628
15	38.938	38.421
16	38.616	37.255
17	37.291	36.123
18	36.739	35.018
19	36.347	33.935
20	35.625	32.869
21	35.395	31.813
22	30.721	30.764
23	27.886	29.715
24	27.256	28.663
25	27.165	27.600
26	23.148	26.521
27	21.492	25.417
28	21.097	24.280
29	20.239	23.097
30	19.303	21.853
31	18.712	20.526
32	18.654	19.083
33	17.839	17.473
34	17.299	15.604
35	13.548	13.277
36	12.410	9.913

R² **0.983**



ESTACIÓN 06

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

		n	36			
Pp_{máx}	j	Pp_{máx}	b₀	b₁	b₂	
43.17	1	1.89	33.57	23.90	18.92	
12.33	2	3.34	P(j,n)r*X_j	P(j,n)r*X_j	P(j,n)r*X_j	
102.81	3	3.73	1.89	0.00	0.00	
34.19	4	5.50	3.34	0.10	0.00	
1.89	5	8.34	3.73	0.21	0.01	
9.35	6	9.35	5.50	0.47	0.03	
17.55	7	12.03	8.34	0.95	0.08	
3.73	8	12.33	9.35	1.34	0.16	
22.30	9	13.03	12.03	2.06	0.30	
5.50	10	16.23	12.33	2.47	0.44	
3.34	11	17.55	13.03	2.98	0.61	
12.03	12	18.91	16.23	4.17	0.98	
33.23	13	19.90	17.55	5.01	1.33	
25.41	14	21.20	18.91	5.94	1.75	
18.91	15	21.42	19.90	6.82	2.21	
16.23	16	22.30	21.20	7.87	2.78	
22.62	17	22.62	21.42	8.57	3.28	
90.17	18	25.41	22.30	9.56	3.94	
21.42	19	27.45	22.62	10.34	4.56	
40.39	20	27.68	25.41	12.34	5.81	
79.48	21	30.59	27.45	14.12	7.06	
65.86	22	33.23	27.68	15.03	7.96	
19.90	23	34.11	30.59	17.48	9.77	
30.59	24	34.19	33.23	19.94	11.73	
21.20	25	40.39	34.11	21.44	13.24	
70.33	26	40.53	34.19	22.47	14.54	
27.68	27	41.07	40.39	27.69	18.73	
40.53	28	43.17	40.53	28.95	20.44	
34.11	29	52.91	41.07	30.51	22.43	
41.07	30	64.38	43.17	33.30	25.47	
13.03	31	65.86	52.91	42.33	33.61	
52.91	32	70.33	64.38	53.34	43.93	
27.45	33	75.04	65.86	56.45	48.15	
8.34	34	79.48	70.33	62.29	54.97	
75.04	35	90.17	75.04	68.61	62.56	
64.38	36	102.81	79.48	74.94	70.53	
			90.17	87.60	85.02	
			102.81	102.81	102.81	

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.1336
f(k)=0	0.0000
k	-0.1336

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3}$$

c	-0.0172
kaprox	-0.1341

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}$$

α	17.866
ξ	20.559

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

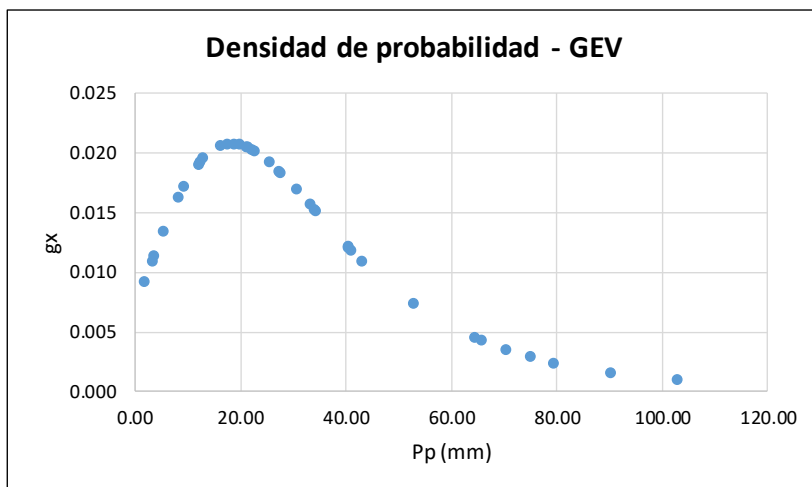
k	-0.13356
α	17.866
ξ	20.559

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

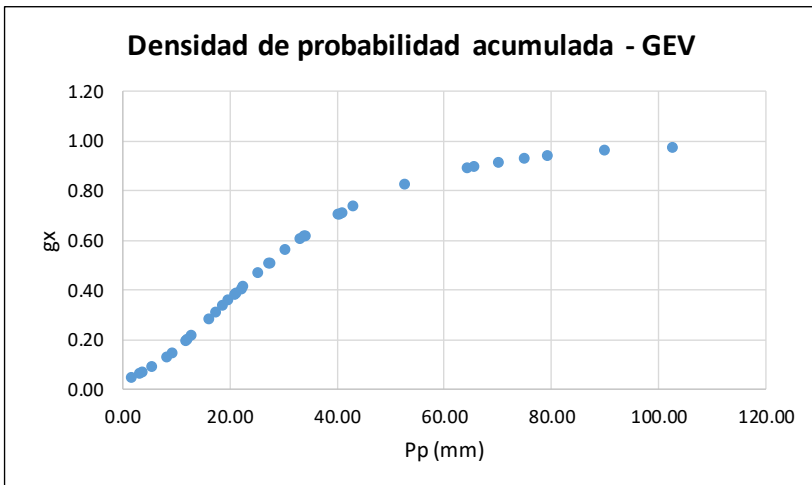
$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	1.89	0.05	0.009	1.89
2	3.34	0.06	0.011	3.34
3	3.73	0.06	0.011	3.73
4	5.50	0.09	0.013	5.50
5	8.34	0.13	0.016	8.34
6	9.35	0.15	0.017	9.35
7	12.03	0.19	0.019	12.03
8	12.33	0.20	0.019	12.33
9	13.03	0.21	0.020	13.03
10	16.23	0.28	0.021	16.23
11	17.55	0.31	0.021	17.55
12	18.91	0.33	0.021	18.91
13	19.90	0.35	0.021	19.90
14	21.20	0.38	0.020	21.20
15	21.42	0.39	0.020	21.42
16	22.30	0.40	0.020	22.30
17	22.62	0.41	0.020	22.62
18	25.41	0.46	0.019	25.41
19	27.45	0.50	0.018	27.45
20	27.68	0.51	0.018	27.68
21	30.59	0.56	0.017	30.59
22	33.23	0.60	0.016	33.23
23	34.11	0.62	0.015	34.11
24	34.19	0.62	0.015	34.19
25	40.39	0.70	0.012	40.39
26	40.53	0.70	0.012	40.53
27	41.07	0.71	0.012	41.07
28	43.17	0.73	0.011	43.17
29	52.91	0.82	0.007	52.91
30	64.38	0.89	0.004	64.38
31	65.86	0.89	0.004	65.86
32	70.33	0.91	0.003	70.33
33	75.04	0.93	0.003	75.04
34	79.48	0.94	0.002	79.48
35	90.17	0.96	0.002	90.17
36	102.81	0.97	0.001	102.81

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



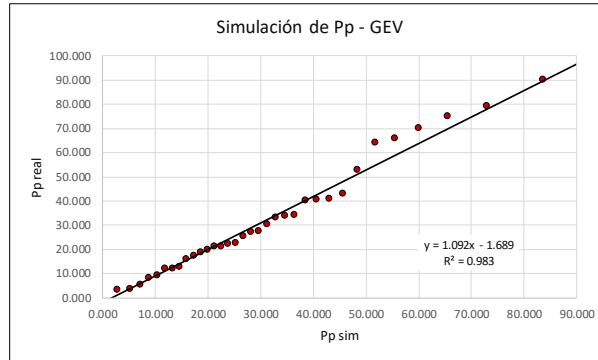
TEST DE KOLMOGOROV

n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	102.808	0.027	37.0	0.027	0.000
2	90.173	0.054	18.5	0.042	0.012
3	79.478	0.081	12.3	0.063	0.018
4	75.042	0.108	9.3	0.075	0.034
5	70.332	0.135	7.4	0.089	0.046
6	65.863	0.162	6.2	0.106	0.056
7	64.377	0.189	5.3	0.113	0.076
8	52.909	0.216	4.6	0.179	0.037
9	43.168	0.243	4.1	0.267	0.024
10	41.070	0.270	3.7	0.291	0.021
11	40.534	0.297	3.4	0.297	0.000
12	40.387	0.324	3.1	0.299	0.025
13	34.188	0.351	2.8	0.383	0.032
14	34.114	0.378	2.6	0.385	0.006
15	33.229	0.405	2.5	0.398	0.007
16	30.591	0.432	2.3	0.441	0.009
17	27.680	0.459	2.2	0.492	0.033
18	27.448	0.486	2.1	0.497	0.010
19	25.409	0.514	1.9	0.535	0.022
20	22.623	0.541	1.9	0.590	0.049
21	22.299	0.568	1.8	0.597	0.029
22	21.423	0.595	1.7	0.614	0.020
23	21.197	0.622	1.6	0.619	0.003
24	19.897	0.649	1.5	0.646	0.003
25	18.913	0.676	1.5	0.666	0.010
26	17.548	0.703	1.4	0.695	0.008
27	16.234	0.730	1.4	0.722	0.008
28	13.025	0.757	1.3	0.786	0.030
29	12.327	0.784	1.3	0.800	0.016
30	12.031	0.811	1.2	0.806	0.005
31	9.351	0.838	1.2	0.854	0.016
32	8.338	0.865	1.2	0.871	0.006
33	5.502	0.892	1.1	0.913	0.021
34	3.729	0.919	1.1	0.935	0.016
35	3.344	0.946	1.1	0.939	0.006
36	1.890	0.973	1.0	0.954	0.019
				$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.076
		<i>Nivel de significancia...</i>		α	0.05
				$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
		<i>Criterio de desición...</i>		$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	102.808	103.067
2	90.173	83.576
3	79.478	72.846
4	75.042	65.482
5	70.332	59.887
6	65.863	55.374
7	64.377	51.589
8	52.909	48.324
9	43.168	45.447
10	41.070	42.869
11	40.534	40.528
12	40.387	38.379
13	34.188	36.387
14	34.114	34.525
15	33.229	32.772
16	30.591	31.110
17	27.680	29.526
18	27.448	28.008
19	25.409	26.544
20	22.623	25.126
21	22.299	23.746
22	21.423	22.397
23	21.197	21.069
24	19.897	19.758
25	18.913	18.455
26	17.548	17.152
27	16.234	15.842
28	13.025	14.514
29	12.327	13.156
30	12.031	11.753
31	9.351	10.284
32	8.338	8.719
33	5.502	7.009
34	3.729	5.072
35	3.344	2.732
36	1.890	-0.522
	R²	0.983



ESTACIÓN 07

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

		n	36			
Ppmáx	j	Ppmáx	bo	b1	b2	
72.06	1	5.22	37.82	25.94	20.06	
13.83	2	8.12	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	
64.76	3	9.28	5.22	0.00	0.00	
33.10	4	10.14	8.12	0.23	0.00	
8.12	5	10.47	9.28	0.53	0.02	
10.47	6	12.57	10.14	0.87	0.05	
17.31	7	13.83	10.47	1.20	0.11	
9.28	8	15.18	12.57	1.80	0.21	
23.60	9	17.31	13.83	2.37	0.35	
10.14	10	17.85	15.18	3.04	0.54	
5.22	11	18.71	17.31	3.96	0.81	
15.18	12	20.88	17.85	4.59	1.08	
27.69	13	23.60	18.71	5.35	1.42	
51.82	14	25.20	20.88	6.56	1.93	
20.88	15	26.34	23.60	8.09	2.62	
30.01	16	27.69	25.20	9.36	3.30	
45.95	17	29.45	26.34	10.54	4.03	
75.85	18	30.01	27.69	11.87	4.89	
36.04	19	33.10	29.45	13.46	5.94	
86.76	20	33.78	30.01	14.58	6.86	
84.78	21	34.43	33.10	17.03	8.51	
70.69	22	36.04	33.78	18.34	9.71	
26.34	23	39.26	34.43	19.68	11.00	
17.85	24	43.12	36.04	21.62	12.72	
18.71	25	45.95	39.26	24.68	15.24	
74.44	26	49.02	43.12	28.34	18.34	
29.45	27	51.82	45.95	31.51	21.32	
34.43	28	64.76	49.02	35.02	24.72	
43.12	29	66.17	51.82	38.49	28.30	
39.26	30	70.69	64.76	49.96	38.20	
33.78	31	72.06	66.17	52.93	42.04	
49.02	32	74.44	70.69	58.57	48.24	
25.20	33	75.85	72.06	61.76	52.68	
12.57	34	77.67	74.44	65.93	58.18	
77.67	35	84.78	75.85	69.35	63.23	
66.17	36	86.76	77.67	73.23	68.92	
			84.78	82.36	79.94	
			86.76	86.76	86.76	

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.0166
f(k)=0	-0.0005
k	-0.0166

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3};$$

c	-0.0019
k _{aprox}	-0.0153

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}.$$

α	19.977
ξ	25.957

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{- (x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

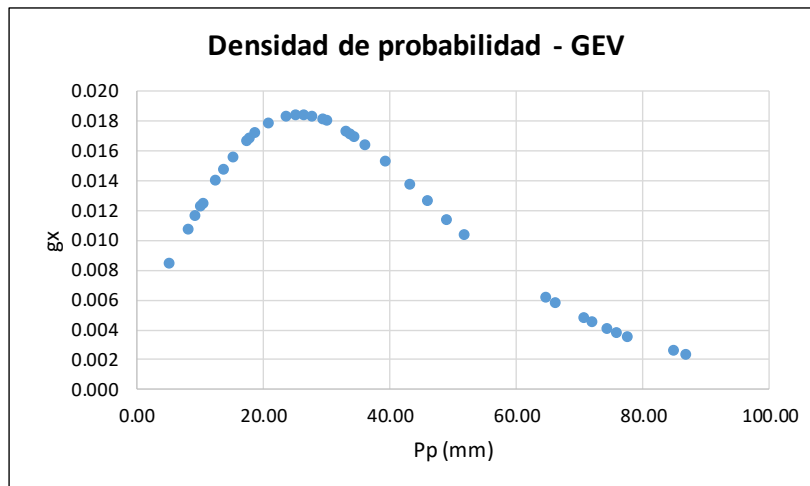
k	-0.01661
α	19.977
ξ	25.957

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

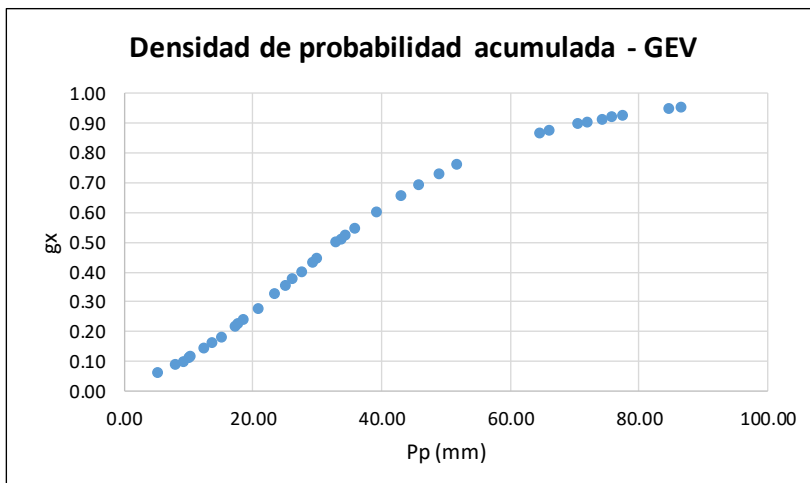
$$= \exp[-\exp\{- (x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	5.22	0.06	0.008	5.22
2	8.12	0.09	0.011	8.12
3	9.28	0.10	0.012	9.28
4	10.14	0.11	0.012	10.14
5	10.47	0.11	0.012	10.47
6	12.57	0.14	0.014	12.57
7	13.83	0.16	0.015	13.83
8	15.18	0.18	0.016	15.18
9	17.31	0.21	0.017	17.31
10	17.85	0.22	0.017	17.85
11	18.71	0.24	0.017	18.71
12	20.88	0.28	0.018	20.88
13	23.60	0.32	0.018	23.60
14	25.20	0.35	0.018	25.20
15	26.34	0.37	0.018	26.34
16	27.69	0.40	0.018	27.69
17	29.45	0.43	0.018	29.45
18	30.01	0.44	0.018	30.01
19	33.10	0.50	0.017	33.10
20	33.78	0.51	0.017	33.78
21	34.43	0.52	0.017	34.43
22	36.04	0.55	0.016	36.04
23	39.26	0.60	0.015	39.26
24	43.12	0.65	0.014	43.12
25	45.95	0.69	0.013	45.95
26	49.02	0.73	0.011	49.02
27	51.82	0.76	0.010	51.82
28	64.76	0.86	0.006	64.76
29	66.17	0.87	0.006	66.17
30	70.69	0.89	0.005	70.69
31	72.06	0.90	0.005	72.06
32	74.44	0.91	0.004	74.44
33	75.85	0.92	0.004	75.85
34	77.67	0.92	0.004	77.67
35	84.78	0.95	0.003	84.78
36	86.76	0.95	0.002	86.76

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



TEST DE KOLMOGOROV

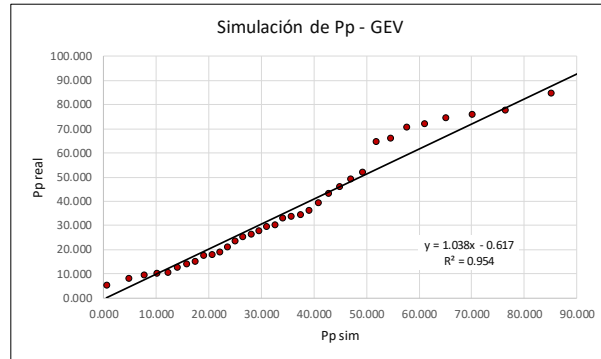
n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	86.763	0.027	37.0	0.050	0.023
2	84.785	0.054	18.5	0.055	0.001
3	77.670	0.081	12.3	0.076	0.005
4	75.847	0.108	9.3	0.083	0.025
5	74.441	0.135	7.4	0.088	0.047
6	72.056	0.162	6.2	0.099	0.063
7	70.692	0.189	5.3	0.105	0.084
8	66.167	0.216	4.6	0.129	0.087
9	64.760	0.243	4.1	0.137	0.106
10	51.817	0.270	3.7	0.243	0.028
11	49.021	0.297	3.4	0.273	0.024
12	45.954	0.324	3.1	0.310	0.015
13	43.121	0.351	2.8	0.347	0.004
14	39.264	0.378	2.6	0.403	0.024
15	36.038	0.405	2.5	0.454	0.049
16	34.433	0.432	2.3	0.481	0.048
17	33.782	0.459	2.2	0.492	0.032
18	33.105	0.486	2.1	0.503	0.017
19	30.012	0.514	1.9	0.558	0.045
20	29.449	0.541	1.9	0.568	0.028
21	27.689	0.568	1.8	0.600	0.033
22	26.342	0.595	1.7	0.625	0.030
23	25.198	0.622	1.6	0.646	0.024
24	23.595	0.649	1.5	0.676	0.027
25	20.880	0.676	1.5	0.725	0.049
26	18.714	0.703	1.4	0.763	0.060
27	17.855	0.730	1.4	0.777	0.048
28	17.306	0.757	1.3	0.787	0.030
29	15.178	0.784	1.3	0.821	0.037
30	13.826	0.811	1.2	0.841	0.031
31	12.570	0.838	1.2	0.859	0.022
32	10.474	0.865	1.2	0.887	0.022
33	10.140	0.892	1.1	0.891	0.001
34	9.278	0.919	1.1	0.902	0.017
35	8.125	0.946	1.1	0.914	0.032
36	5.218	0.973	1.0	0.942	0.031
				$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.106
		<i>Nivel de significancia...</i>		α	0.05
				$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
		<i>Criterio de desición...</i>		$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	86.763	100.009
2	84.785	85.101
3	77.670	76.333
4	75.847	70.056
5	74.441	65.132
6	72.056	61.060
7	70.692	57.569
8	66.167	54.501
9	64.760	51.752
10	51.817	49.252
11	49.021	46.950
12	45.954	44.809
13	43.121	42.801
14	39.264	40.903
15	36.038	39.096
16	34.433	37.367
17	33.782	35.702
18	33.105	34.090
19	30.012	32.522
20	29.449	30.990
21	27.689	29.485
22	26.342	28.000
23	25.198	26.527
24	23.595	25.059
25	20.880	23.588
26	18.714	22.105
27	17.855	20.600
28	17.306	19.061
29	15.178	17.472
30	13.826	15.815
31	12.570	14.062
32	10.474	12.175
33	10.140	10.089
34	9.278	7.694
35	8.125	4.754
36	5.218	0.579

R² 0.954



ESTACIÓN 08

Cálculo de los estimadores estadísticos br			
$b_0 = n^{-1} \sum x_j$			
$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$			
	n	36	
Ppmáx	j	Ppmáx	
38.32	1	2.22	
5.77	2	2.38	
94.03	3	2.81	
29.17	4	4.50	
4.52	5	4.52	
2.38	6	5.77	
8.16	7	6.39	
2.22	8	7.27	
9.06	9	8.16	
2.81	10	8.66	
4.50	11	9.06	
15.74	12	10.80	
24.82	13	12.71	
20.80	14	14.05	
8.66	15	15.74	
6.39	16	16.26	
21.10	17	16.99	
85.74	18	17.83	
20.10	19	20.10	
33.12	20	20.80	
87.72	21	21.03	
60.35	22	21.10	
10.80	23	22.22	
12.71	24	24.82	
16.26	25	29.17	
53.58	26	32.52	
14.05	27	33.12	
32.52	28	38.32	
22.22	29	46.99	
21.03	30	48.69	
17.83	31	53.33	
46.99	32	53.58	
16.99	33	60.35	
7.27	34	85.74	
53.33	35	87.72	
48.69	36	94.03	
	b0	b1	b2
	26.66	19.84	16.15
	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj
	2.22	0.00	0.00
	2.38	0.07	0.00
	2.81	0.16	0.00
	4.50	0.39	0.02
	4.52	0.52	0.05
	5.77	0.82	0.10
	6.39	1.09	0.16
	7.27	1.45	0.26
	8.16	1.87	0.38
	8.66	2.23	0.52
	9.06	2.59	0.69
	10.80	3.39	1.00
	12.71	4.36	1.41
	14.05	5.22	1.84
	15.74	6.30	2.41
	16.26	6.97	2.87
	16.99	7.77	3.43
	17.83	8.66	4.07
	20.10	10.34	5.17
	20.80	11.29	5.98
	21.03	12.02	6.72
	21.10	12.66	7.45
	22.22	13.97	8.63
	24.82	16.31	10.55
	29.17	20.00	13.53
	32.52	23.23	16.40
	33.12	24.60	18.09
	38.32	29.56	22.61
	46.99	37.59	29.85
	48.69	40.34	33.22
	53.33	45.71	38.99
	53.58	47.46	41.88
	60.35	55.18	50.31
	85.74	80.84	76.08
	87.72	85.22	82.71
	94.03	94.03	94.03

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.2596
f(k)=0	-0.0001
k	-0.2596

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3};$$

c	-0.0335
Kaprox	-0.2601

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \xi = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}.$$

α	13.842
ξ	13.949

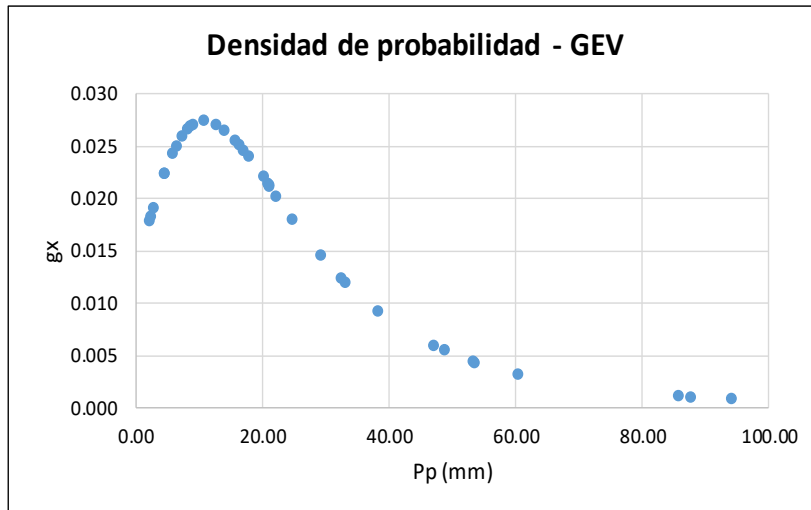
$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0, \\ = \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

k	-0.25956
α	13.842
ξ	13.949

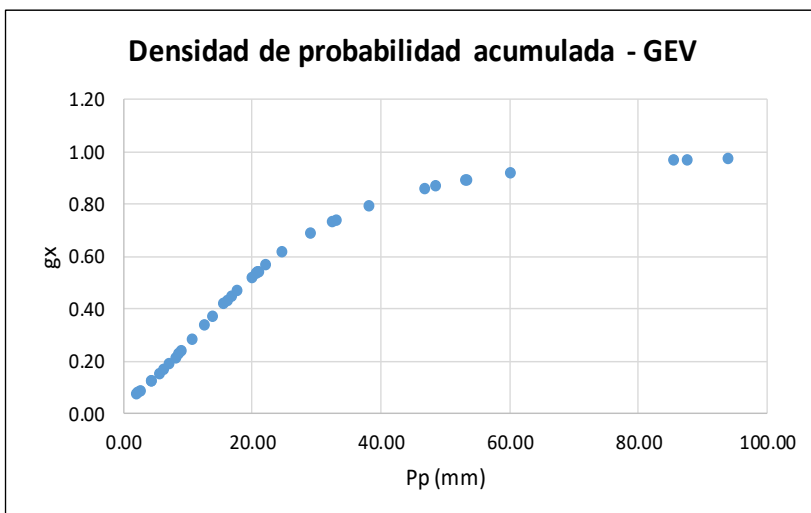
$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0, \\ = \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	2.22	0.07	0.018	2.22
2	2.38	0.08	0.018	2.38
3	2.81	0.08	0.019	2.81
4	4.50	0.12	0.022	4.50
5	4.52	0.12	0.022	4.52
6	5.77	0.15	0.024	5.77
7	6.39	0.16	0.025	6.39
8	7.27	0.19	0.026	7.27
9	8.16	0.21	0.027	8.16
10	8.66	0.22	0.027	8.66
11	9.06	0.23	0.027	9.06
12	10.80	0.28	0.027	10.80
13	12.71	0.33	0.027	12.71
14	14.05	0.37	0.027	14.05
15	15.74	0.41	0.026	15.74
16	16.26	0.43	0.025	16.26
17	16.99	0.45	0.025	16.99
18	17.83	0.47	0.024	17.83
19	20.10	0.52	0.022	20.10
20	20.80	0.53	0.021	20.80
21	21.03	0.54	0.021	21.03
22	21.10	0.54	0.021	21.10
23	22.22	0.56	0.020	22.22
24	24.82	0.61	0.018	24.82
25	29.17	0.68	0.015	29.17
26	32.52	0.73	0.012	32.52
27	33.12	0.74	0.012	33.12
28	38.32	0.79	0.009	38.32
29	46.99	0.86	0.006	46.99
30	48.69	0.87	0.005	48.69
31	53.33	0.89	0.004	53.33
32	53.58	0.89	0.004	53.58
33	60.35	0.91	0.003	60.35
34	85.74	0.96	0.001	85.74
35	87.72	0.97	0.001	87.72
36	94.03	0.97	0.001	94.03

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



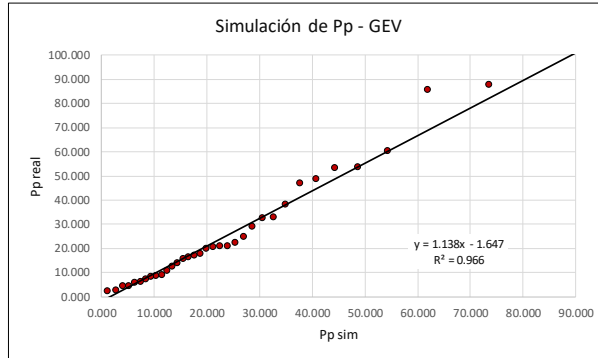
TEST DE KOLMOGOROV

n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	94.028	0.027	37.0	0.029	0.002
2	87.722	0.054	18.5	0.035	0.019
3	85.736	0.081	12.3	0.037	0.044
4	60.350	0.108	9.3	0.086	0.022
5	53.585	0.135	7.4	0.111	0.024
6	53.331	0.162	6.2	0.112	0.050
7	48.692	0.189	5.3	0.135	0.054
8	46.991	0.216	4.6	0.144	0.072
9	38.322	0.243	4.1	0.209	0.034
10	33.119	0.270	3.7	0.264	0.006
11	32.519	0.297	3.4	0.271	0.026
12	29.168	0.324	3.1	0.316	0.008
13	24.818	0.351	2.8	0.387	0.036
14	22.221	0.378	2.6	0.437	0.058
15	21.100	0.405	2.5	0.460	0.054
16	21.029	0.432	2.3	0.461	0.029
17	20.804	0.459	2.2	0.466	0.007
18	20.098	0.486	2.1	0.481	0.005
19	17.825	0.514	1.9	0.534	0.020
20	16.990	0.541	1.9	0.554	0.014
21	16.262	0.568	1.8	0.572	0.005
22	15.743	0.595	1.7	0.585	0.009
23	14.052	0.622	1.6	0.629	0.008
24	12.715	0.649	1.5	0.665	0.017
25	10.801	0.676	1.5	0.718	0.042
26	9.059	0.703	1.4	0.765	0.062
27	8.662	0.730	1.4	0.776	0.046
28	8.164	0.757	1.3	0.789	0.032
29	7.273	0.784	1.3	0.813	0.029
30	6.387	0.811	1.2	0.835	0.024
31	5.771	0.838	1.2	0.850	0.012
32	4.520	0.865	1.2	0.880	0.015
33	4.501	0.892	1.1	0.880	0.012
34	2.807	0.919	1.1	0.915	0.004
35	2.383	0.946	1.1	0.923	0.023
36	2.220	0.973	1.0	0.926	0.047
				$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.072
				α	0.05
				$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
				$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	94.028	96.285
2	87.722	73.536
3	85.736	61.879
4	60.350	54.236
5	53.585	48.623
6	53.331	44.220
7	48.692	40.611
8	46.991	37.559
9	38.322	34.919
10	33.119	32.591
11	32.519	30.508
12	29.168	28.622
13	24.818	26.896
14	22.221	25.302
15	21.100	23.819
16	21.029	22.428
17	20.804	21.117
18	20.098	19.872
19	17.825	18.685
20	16.990	17.545
21	16.262	16.447
22	15.743	15.383
23	14.052	14.346
24	12.715	13.331
25	10.801	12.332
26	9.059	11.342
27	8.662	10.356
28	8.164	9.366
29	7.273	8.364
30	6.387	7.339
31	5.771	6.278
32	4.520	5.160
33	4.501	3.954
34	2.807	2.608
35	2.383	1.009
36	2.220	-1.165



R² **0.966**

ESTACIÓN 09

Cálculo de los estimadores estadísticos br			
$b_0 = n^{-1} \sum x_j$			
$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$			
	n	36	
Ppmáx	j	Ppmáx	
39.92	1	1.72	
2.98	2	1.75	
78.81	3	2.95	
14.31	4	2.98	
7.45	5	3.75	
1.75	6	3.86	
8.04	7	3.87	
1.72	8	3.99	
3.99	9	4.72	
2.95	10	7.24	
3.75	11	7.45	
11.19	12	8.04	
15.73	13	9.58	
29.58	14	10.33	
4.72	15	11.19	
3.86	16	11.24	
21.84	17	12.95	
86.28	18	13.53	
18.82	19	14.31	
19.88	20	15.73	
58.22	21	18.82	
24.39	22	18.84	
9.58	23	19.88	
13.53	24	20.01	
10.33	25	20.61	
29.32	26	20.95	
3.87	27	21.84	
20.61	28	23.99	
11.24	29	24.39	
18.84	30	29.32	
12.95	31	29.58	
45.43	32	39.92	
20.01	33	45.43	
7.24	34	58.22	
20.95	35	78.81	
23.99	36	86.28	
	b0	b1	b2
	19.67	14.74	12.11
	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj
	1.72	0.00	0.00
	1.75	0.05	0.00
	2.95	0.17	0.00
	2.98	0.26	0.02
	3.75	0.43	0.04
	3.86	0.55	0.06
	3.87	0.66	0.10
	3.99	0.80	0.14
	4.72	1.08	0.22
	7.24	1.86	0.44
	7.45	2.13	0.56
	8.04	2.53	0.74
	9.58	3.28	1.06
	10.33	3.84	1.35
	11.19	4.47	1.71
	11.24	4.82	1.98
	12.95	5.92	2.61
	13.53	6.57	3.09
	14.31	7.36	3.68
	15.73	8.54	4.52
	18.82	10.75	6.01
	18.84	11.30	6.65
	19.88	12.50	7.72
	20.01	13.15	8.51
	20.61	14.13	9.56
	20.95	14.96	10.56
	21.84	16.22	11.93
	23.99	18.51	14.15
	24.39	19.51	15.49
	29.32	24.29	20.01
	29.58	25.36	21.63
	39.92	35.36	31.20
	45.43	41.53	37.87
	58.22	54.89	51.66
	78.81	76.56	74.30
	86.28	86.28	86.28

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.3243
f(k)=0	-0.0005
k	-0.3243

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} \frac{\log 2}{\log 3};$$

c	-0.0419
k _{aprox}	-0.3238

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}.$$

α	9.433
ξ	9.830

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

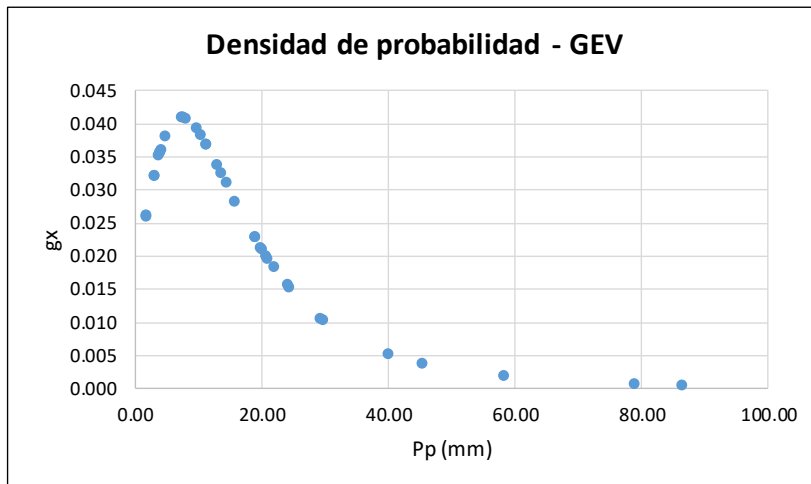
k	-0.32427
α	9.433
ξ	9.830

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

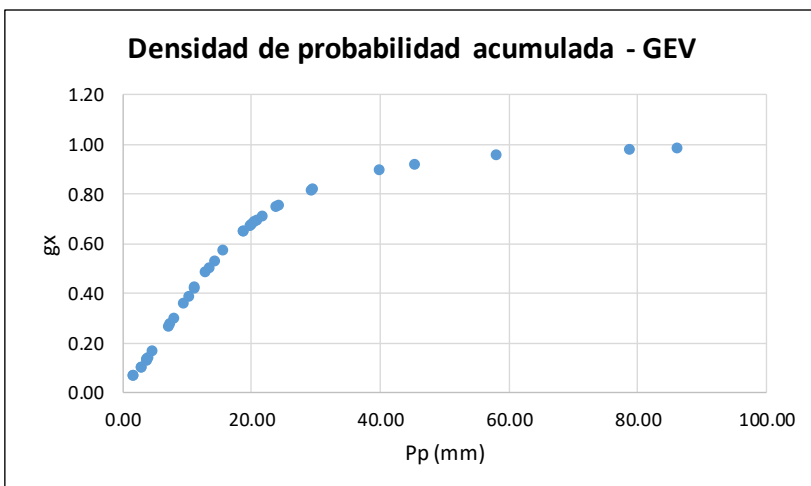
$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	Ppmax	Gx	gx	x
1	1.72	0.06	0.026	1.72
2	1.75	0.07	0.026	1.75
3	2.95	0.10	0.032	2.95
4	2.98	0.10	0.032	2.98
5	3.75	0.13	0.035	3.75
6	3.86	0.13	0.036	3.86
7	3.87	0.13	0.036	3.87
8	3.99	0.14	0.036	3.99
9	4.72	0.16	0.038	4.72
10	7.24	0.26	0.041	7.24
11	7.45	0.27	0.041	7.45
12	8.04	0.30	0.041	8.04
13	9.58	0.36	0.039	9.58
14	10.33	0.39	0.038	10.33
15	11.19	0.42	0.037	11.19
16	11.24	0.42	0.037	11.24
17	12.95	0.48	0.034	12.95
18	13.53	0.50	0.033	13.53
19	14.31	0.53	0.031	14.31
20	15.73	0.57	0.028	15.73
21	18.82	0.65	0.023	18.82
22	18.84	0.65	0.023	18.84
23	19.88	0.67	0.021	19.88
24	20.01	0.67	0.021	20.01
25	20.61	0.69	0.020	20.61
26	20.95	0.69	0.020	20.95
27	21.84	0.71	0.018	21.84
28	23.99	0.75	0.016	23.99
29	24.39	0.75	0.015	24.39
30	29.32	0.81	0.011	29.32
31	29.58	0.82	0.010	29.58
32	39.92	0.89	0.005	39.92
33	45.43	0.92	0.004	45.43
34	58.22	0.95	0.002	58.22
35	78.81	0.98	0.001	78.81
36	86.28	0.98	0.001	86.28

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



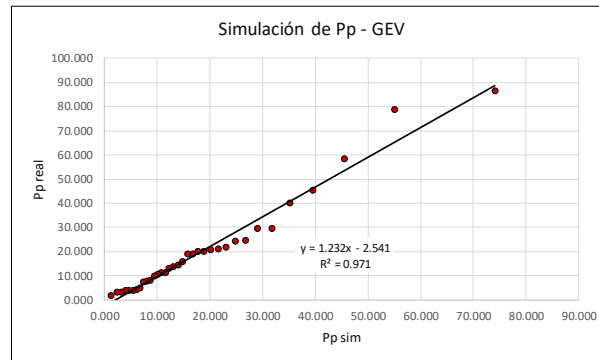
TEST DE KOLMOGOROV

n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	86.285	0.027	37.0	0.019	0.008
2	78.807	0.054	18.5	0.023	0.031
3	58.217	0.081	12.3	0.048	0.033
4	45.428	0.108	9.3	0.082	0.027
5	39.920	0.135	7.4	0.106	0.029
6	29.582	0.162	6.2	0.183	0.021
7	29.321	0.189	5.3	0.186	0.003
8	24.386	0.216	4.6	0.249	0.033
9	23.989	0.243	4.1	0.255	0.012
10	21.837	0.270	3.7	0.291	0.021
11	20.949	0.297	3.4	0.308	0.011
12	20.610	0.324	3.1	0.315	0.009
13	20.008	0.351	2.8	0.327	0.024
14	19.879	0.378	2.6	0.330	0.048
15	18.840	0.405	2.5	0.353	0.053
16	18.819	0.432	2.3	0.353	0.079
17	15.733	0.459	2.2	0.432	0.027
18	14.311	0.486	2.1	0.474	0.012
19	13.525	0.514	1.9	0.499	0.014
20	12.946	0.541	1.9	0.518	0.022
21	11.237	0.568	1.8	0.579	0.011
22	11.186	0.595	1.7	0.581	0.014
23	10.326	0.622	1.6	0.613	0.009
24	9.581	0.649	1.5	0.642	0.007
25	8.045	0.676	1.5	0.703	0.028
26	7.447	0.703	1.4	0.728	0.025
27	7.241	0.730	1.4	0.736	0.007
28	4.721	0.757	1.3	0.837	0.080
29	3.985	0.784	1.3	0.864	0.080
30	3.865	0.811	1.2	0.869	0.058
31	3.860	0.838	1.2	0.869	0.031
32	3.750	0.865	1.2	0.873	0.008
33	2.979	0.892	1.1	0.899	0.007
34	2.954	0.919	1.1	0.899	0.019
35	1.753	0.946	1.1	0.935	0.011
36	1.717	0.973	1.0	0.935	0.037
				$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.080
		<i>Nivel de significancia...</i>		α	0.05
				$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
		<i>Criterio de desición...</i>		$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	86.285	74.137
2	78.807	54.999
3	58.217	45.548
4	45.428	39.495
5	39.920	35.128
6	29.582	31.750
7	29.321	29.013
8	24.386	26.724
9	23.989	24.761
10	21.837	23.044
11	20.949	21.520
12	20.610	20.150
13	20.008	18.904
14	19.879	17.761
15	18.840	16.704
16	18.819	15.718
17	15.733	14.793
18	14.311	13.920
19	13.525	13.091
20	12.946	12.300
21	11.237	11.541
22	11.186	10.810
23	10.326	10.100
24	9.581	9.409
25	8.045	8.731
26	7.447	8.064
27	7.241	7.402
28	4.721	6.741
29	3.985	6.075
30	3.865	5.397
31	3.860	4.699
32	3.750	3.968
33	2.979	3.186
34	2.954	2.318
35	1.753	1.296
36	1.717	-0.077

R²**0.971**

ESTACIÓN 10

Cálculo de los estimadores estadísticos br

$$b_0 = n^{-1} \sum x_j$$

$$b_r = n^{-1} \sum_{j=1}^n \frac{(j-1)(j-2) \cdots (j-r)}{(n-1)(n-2) \cdots (n-r)} x_j$$

n	36
---	----

Ppmáx
84.61
14.54
56.09
22.64
11.77
7.63
23.39
14.49
19.95
13.56
8.28
14.72
42.75
73.70
28.45
15.93
30.70
87.67
26.78
81.21
92.48
53.68
29.74
12.81
48.03
87.36
50.48
34.99
66.68
95.11
32.78
76.28
20.34
14.14
58.17
70.23

j	Ppmáx
1	7.63
2	8.28
3	11.77
4	12.81
5	13.56
6	14.14
7	14.49
8	14.54
9	14.72
10	15.93
11	19.95
12	20.34
13	22.64
14	23.39
15	26.78
16	28.45
17	29.74
18	30.70
19	32.78
20	34.99
21	42.75
22	48.03
23	50.48
24	53.68
25	56.09
26	58.17
27	66.68
28	70.23
29	73.70
30	76.28
31	81.21
32	84.61
33	87.36
34	87.67
35	92.48
36	95.11

bo	b1	b2
42.28	29.23	22.67
P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj	P(j,n)r*Xj
7.63	0.00	0.00
8.28	0.24	0.00
11.77	0.67	0.02
12.81	1.10	0.06
13.56	1.55	0.14
14.14	2.02	0.24
14.49	2.48	0.37
14.54	2.91	0.51
14.72	3.36	0.69
15.93	4.10	0.96
19.95	5.70	1.51
20.34	6.39	1.88
22.64	7.76	2.51
23.39	8.69	3.07
26.78	10.71	4.10
28.45	12.19	5.02
29.74	13.59	6.00
30.70	14.91	7.02
32.78	16.86	8.43
34.99	18.99	10.05
42.75	24.43	13.65
48.03	28.82	16.95
50.48	31.73	19.60
53.68	35.27	22.82
56.09	38.46	26.02
58.17	41.55	29.33
66.68	49.53	36.42
70.23	54.18	41.43
73.70	58.96	46.82
76.28	63.20	52.05
81.21	69.61	59.38
84.61	74.94	66.12
87.36	79.87	72.82
87.67	82.66	77.80
92.48	89.84	87.20
95.11	95.11	95.11

Cálculo del parámetro k (Método iterativo)

$$\frac{3\beta_2 - \beta_0}{2\beta_1 - \beta_0} = \frac{1-3^{-k}}{1-2^{-k}}$$

k asum	-0.0156
f(k)=0	-0.0005
k	-0.0156

Cálculo del parámetro k (Método aproximado)

$$\hat{k} = 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2b_1 - b_0}{3b_2 - b_0} - \frac{\log 2}{\log 3}$$

c	-0.0018
k _{aprox}	-0.0142

Cálculo de ξ y α

$$\hat{\alpha} = \frac{(2b_1 - b_0)\hat{k}}{\Gamma(1 + \hat{k})(1 - 2^{-\hat{k}})}, \quad \hat{\xi} = b_0 + \hat{\alpha}\{\Gamma(1 + \hat{k}) - 1\}/\hat{k}$$

α	23.010
ξ	28.639

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

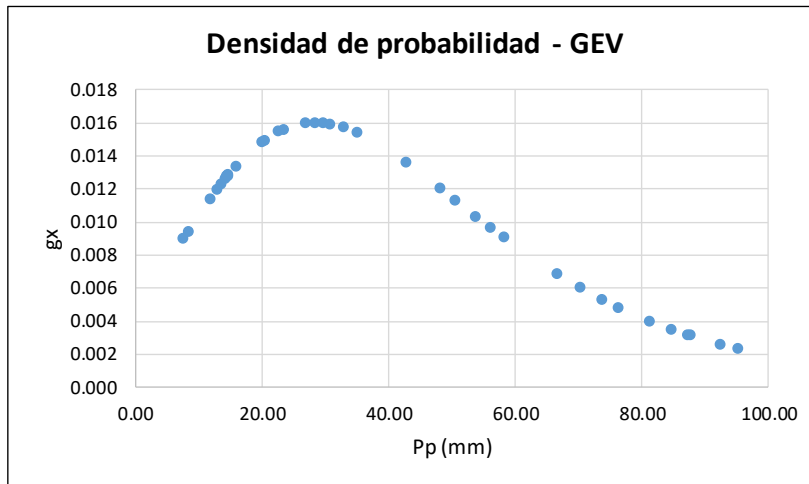
k	-0.01561
α	23.010
ξ	28.639

$$F(x) = \exp[-\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}^{1/k}], \quad k \neq 0,$$

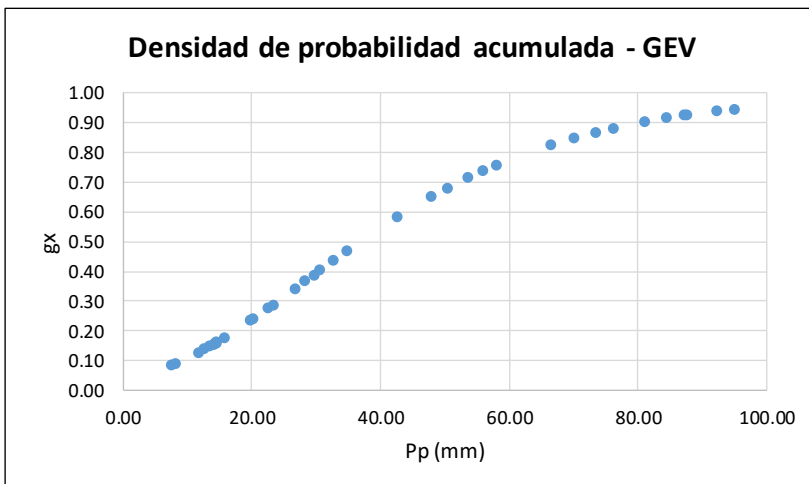
$$= \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad k = 0,$$

j	P _{pmax}	G _x	g _x	x
1	7.63	0.08	0.009	7.63
2	8.28	0.09	0.009	8.28
3	11.77	0.12	0.011	11.77
4	12.81	0.14	0.012	12.81
5	13.56	0.14	0.012	13.56
6	14.14	0.15	0.013	14.14
7	14.49	0.16	0.013	14.49
8	14.54	0.16	0.013	14.54
9	14.72	0.16	0.013	14.72
10	15.93	0.18	0.013	15.93
11	19.95	0.23	0.015	19.95
12	20.34	0.24	0.015	20.34
13	22.64	0.27	0.015	22.64
14	23.39	0.28	0.016	23.39
15	26.78	0.34	0.016	26.78
16	28.45	0.36	0.016	28.45
17	29.74	0.39	0.016	29.74
18	30.70	0.40	0.016	30.70
19	32.78	0.43	0.016	32.78
20	34.99	0.47	0.015	34.99
21	42.75	0.58	0.014	42.75
22	48.03	0.65	0.012	48.03
23	50.48	0.68	0.011	50.48
24	53.68	0.71	0.010	53.68
25	56.09	0.74	0.010	56.09
26	58.17	0.76	0.009	58.17
27	66.68	0.82	0.007	66.68
28	70.23	0.85	0.006	70.23
29	73.70	0.86	0.005	73.70
30	76.28	0.88	0.005	76.28
31	81.21	0.90	0.004	81.21
32	84.61	0.91	0.004	84.61
33	87.36	0.92	0.003	87.36
34	87.67	0.92	0.003	87.67
35	92.48	0.94	0.003	92.48
36	95.11	0.94	0.002	95.11

$$g_x = \frac{1}{\alpha} \left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{\left(\frac{1}{k} - 1\right)} e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [2]$$



$$G_x = e^{-\left[1 - k \frac{(x - \xi)}{\alpha} \right]^{1/k}} \quad [1]$$



TEST DE KOLMOGOROV

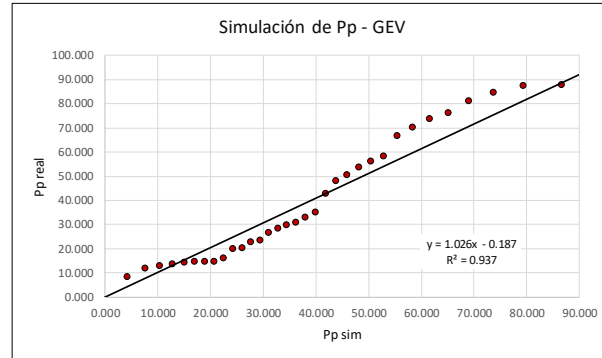
n°	Precipitaciones	Prob. de exced.	Tr	Prob. de exced.	Delta
	ordenadas	Empírica - Weibull	(años)	Teórica - GEV	calculado
	Pp-E1	P(X>x)	1/P(X>x)	1-G(X<=x)	Δ_{cal}
1	95.107	0.027	37.0	0.058	0.031
2	92.481	0.054	18.5	0.064	0.010
3	87.670	0.081	12.3	0.078	0.003
4	87.357	0.108	9.3	0.079	0.029
5	84.606	0.135	7.4	0.088	0.047
6	81.215	0.162	6.2	0.101	0.062
7	76.279	0.189	5.3	0.122	0.067
8	73.701	0.216	4.6	0.135	0.081
9	70.228	0.243	4.1	0.155	0.088
10	66.677	0.270	3.7	0.178	0.093
11	58.174	0.297	3.4	0.245	0.053
12	56.093	0.324	3.1	0.264	0.060
13	53.677	0.351	2.8	0.288	0.063
14	50.478	0.378	2.6	0.323	0.056
15	48.034	0.405	2.5	0.351	0.054
16	42.749	0.432	2.3	0.419	0.013
17	34.986	0.459	2.2	0.532	0.073
18	32.780	0.486	2.1	0.566	0.080
19	30.699	0.514	1.9	0.599	0.086
20	29.736	0.541	1.9	0.615	0.074
21	28.445	0.568	1.8	0.635	0.068
22	26.777	0.595	1.7	0.662	0.067
23	23.388	0.622	1.6	0.715	0.094
24	22.644	0.649	1.5	0.727	0.078
25	20.335	0.676	1.5	0.762	0.086
26	19.950	0.703	1.4	0.768	0.065
27	15.931	0.730	1.4	0.825	0.095
28	14.718	0.757	1.3	0.841	0.084
29	14.544	0.784	1.3	0.843	0.059
30	14.493	0.811	1.2	0.844	0.033
31	14.145	0.838	1.2	0.848	0.010
32	13.556	0.865	1.2	0.855	0.010
33	12.807	0.892	1.1	0.864	0.028
34	11.769	0.919	1.1	0.876	0.043
35	8.283	0.946	1.1	0.913	0.033
36	7.633	0.973	1.0	0.919	0.054
				$\Delta_{cal} \text{ máx}$	0.095
				α	0.05
				$\Delta_{teo} \text{ máx}$	0.22119
				$\Delta_{cal} < \Delta_{teo}$	Aceptado

SIMULACIÓN DE LA MUESTRA

Ahora procedemos a analizar el comportamiento de datos extremos simulando la muestra con las dos distribuciones de probabilidad aceptadas por el test de Kolmogorov

n°	Precipitaciones reales	Precipitaciones simuladas
	X _{real}	X _{sim}
1	95.107	113.781
2	92.481	96.665
3	87.670	86.592
4	87.357	79.379
5	84.606	73.719
6	81.215	69.037
7	76.279	65.023
8	73.701	61.494
9	70.228	58.332
10	66.677	55.455
11	58.174	52.807
12	56.093	50.344
13	53.677	48.033
14	50.478	45.848
15	48.034	43.769
16	42.749	41.778
17	34.986	39.861
18	32.780	38.005
19	30.699	36.200
20	29.736	34.436
21	28.445	32.703
22	26.777	30.992
23	23.388	29.296
24	22.644	27.606
25	20.335	25.911
26	19.950	24.203
27	15.931	22.468
28	14.718	20.695
29	14.544	18.864
30	14.493	16.955
31	14.145	14.935
32	13.556	12.759
33	12.807	10.355
34	11.769	7.594
35	8.283	4.205
36	7.633	-0.611

R² 0.937



ANEXO 06: Comparación entre los datos obtenidos en PISCO y una estación real

Año	E8	Motupe
1981	56.26	58.99
1982	9.49	18.08
1983	108.34	164.08
1984	21.10	0.00
1985	11.52	0.00
1986	7.30	7.01
1987	18.01	21.81
1988	5.76	9.04
1989	17.94	10.74
1990	7.13	9.61
1991	7.66	1.13
1992	24.70	15.82
1993	68.18	22.37
1994	84.02	44.64
1995	10.85	13.00
1996	10.20	6.22
1997	25.41	33.34
1998	168.57	171.31
1999	23.97	12.66
2000	75.00	0.00
2001	117.04	100.12
2002	86.13	43.51
2003	16.61	8.14
2004	11.14	28.14
2005	50.37	20.91
2006	93.12	
2007	47.73	
2008	48.17	
2009	61.75	
2010	95.68	
2011	55.96	
2012	68.38	
2013	26.57	
2014	18.83	
2015	69.15	
2016	70.07	
Total general	168.57	171.31

