

INFORME TECNICO N° 006-2024-ANA-AAA.CF/VOOA

A : **Ing. Abner Zavala Zavala**
 Director de la Autoridad Administrativa del Agua Cañete Fortaleza

Asunto : Estudio de máximas avenidas: Cuenca Chancay - Huaral

Referencia : a) Informe Técnico N° 004-2024-RDCA
 b) "Estudio de máximas avenidas de la cuenca Chancay - Huaral"

Fecha : Huaral, 23 de julio del 2024

Por medio del presente me dirijo a usted, en relación con el documento de la referencia b), al respecto informo lo siguiente:

I. Antecedentes

1.1. Mediante referencia a) la secretaria técnica del consejo de recursos hídricos de la cuenca Chancay – Huaral presenta el estudio denominado en la referencia b)

II. Objetivos

1.2. Realizar el modelamiento hidrológico de máximas avenidas para los diferentes periodos de retorno en la cuenca Chancay - Huaral

III. Análisis**2.1. Ubicación**

La cuenca Chancay-Huaral ocupa una superficie de 3 473,18 Km² y se ubica en la costa central del Perú hacia el norte del departamento de Lima, comprendida entre las coordenadas geográficas 11°00' y 11°39' de Latitud Sur y los Meridianos 76°26' y 77°15' de Longitud Oeste.

Tabla 1: Ubicación geográfica de los vértices que conforman la cuenca Chancay - Huaral

SISTEMAS	DATUM	COMPONENTES	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	HORIZONTAL WGS 1984	LONGITUD OESTE	77°15'43"	76°26'54"
		LATITUD SUR	11°00'10"	11°39'59"
ALTITUD	NIVEL MEDIO DEL MAR VERTICAL	m.s.n.m.	0	5259 msnm

2.2. Análisis de Máximas Avenidas

El estudio de máximas avenidas fue realizado por la secretaria técnica del consejo de recursos hídricos de la cuenca Chancay – Huaral

En este estudio se realizó el análisis de máximas avenidas, en el sistema de drenaje de la cuenca de la cuenca Chancay - Huaral, con la finalidad de determinar el caudal máximo instantáneo para diferentes periodos de retorno.

2.2.1. Procesamiento y elaboración del informe

El trabajo de gabinete para la elaboración del presente informe y cumplimiento de los

objetivos planteados se resume en los siguientes pasos:

- Delimitación de la cuenca mediante el uso de Modelos Digitales de Elevación Alos Palsar 12.5, con ingreso directo sobre la pantalla de un ordenador, utilizando el software HEC-HMS 4.10. Además, se hizo la caracterización de las cuencas colectoras que inciden en los tramos de interés.
- Realizar la prueba de Outlier cuyo objetivo es conocer si la serie se encuentra de los umbrales mínimos y máximos si existen datos atípicos.
- Análisis de la información hidrometeorológica, aplicando las pruebas de independencia, estacionariedad y Homogeneidad de los datos, a través de la metodología de Wald Wolfowitz, Kendall y Wilcoxon, respectivamente, usando los programas Hyfran y Trend.
- Obtención de las precipitaciones en diferentes periodos retorno utilizando las pruebas de distribuciones teóricas y pruebas de bondad de ajuste de Smirnov Kolgomorov, usando el programa Hydrognomon.
- Representar la precipitación areal para los diferentes periodos de retorno por el método de isoyetas, realizando un análisis de exploración de datos y analizando los datos geoestadísticos obtenidos por los métodos IDW y Kriging y compararlo mediante validación cruzada.
- Analizar el comportamiento y duración de la tormenta ocurrida el 15 marzo del 2023 a partir de información horaria.
- Análisis de Máximas Avenidas realizado en un Modelo hidrológico precipitación – escorrentía (HEC-HMS), en escenario observado para un periodo de retorno de 100 años (cuyo objetivo es la optimización del modelo hidrológico) y en los diferentes periodos de retorno.

2.2.2. Parámetros Geomorfológicos

Para determinar los aspectos hidro-geomorfológicos de la cuenca Chancay – Huaral es imprescindible realizar la caracterización fisiográfica y de la red hídrica dentro de la demarcación hidrológica.

Las características fisiográficas de la cuenca pueden ser explicadas a partir de ciertos parámetros o constantes que se obtienen del procesamiento de la información geográfica (SIG) integrados a modelos hidrológicos y planillas de cálculo.

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca hidrográfica desempeñan un papel fundamental en el estudio y comportamiento en los componentes del ciclo hidrológico, asimismo, algunos parámetros son requeridos como datos de entrada en la mayoría de los modelos hidrológicos para el análisis de las características morfológicas y funcionales.

Los parámetros básicos que permiten determinar el comportamiento hidrológico de la Cuenca son: área, perímetro, altura máxima, mínima y desnivel, índice de compacidad, radio de elongación, curva hipsométrica, curva de frecuencias altimétricas, altitud media, longitud del cauce principal, rectángulo equivalente, índice de pendiente, pendiente. Estos se han establecido a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la

clasificación y comparación de cuencas. A continuación, se muestra los parámetros geomorfológicos determinado para la cuenca Chancay - Huaral tomado del estudio “Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Chancay Huaral, ANA, 2011.”

Tabla 2: Características fisiográficas de la cuenca Chancay - Huaral

Código Pfafstetter	Nombre	Area (Km2)	Perímetro (Km)	Altitud media (m.s.n.m.)	Pendiente media (%)	Coeficiente de Compacidad	Factor de forma	Rectángulo Equivalente	
								Lado Mayor (Km)	Lado Menor (Km)
137558	Chancay - Huaral	3473.18	339.67	2726.97	48.8	1.66	0.35	142.54	21.37

Tabla 3: Características fisiográficas de las subcuencas de la cuenca Chancay – Huaral

Nombre	Area (Km2)	Perímetro (Km)	Altitud media (m.s.n.m.)	Pendiente media (%)	Coeficiente de Compacidad	Factor de forma	Rectángulo Equivalente	
							Lado Mayor (Km)	Lado Menor (Km)
Anasmayo	158	55	3804	45	1.23	0.35	19	8
Medio Chancay	183.4	62	3757	52	-	-	-	-
Baños	261.7	81	4495	40	1.41	0.39	33	8
Coto	109.3	50	4395	41	1.33	0.29	19	6
Vichaycocha	321.9	92	4471	41	1.43	0.5	37	9
Huataya	80.9	49	3835	46	1.51	0.23	20	4
Orcon	71.7	36	3316	46	1.19	0.44	12	6
Pallcamayo	26.2	21	3423	56	1.16	0.46	7	4
Lampian	49.6	32	3621	50	1.27	0.32	12	4
Anchilon	20	19	3036	58	1.2	0.39	7	3
Quiman	134.8	58	4282	44	1.4	0.31	23	6
Carac	37.8	28	3040	59	-	-	-	-
Chilamayo	65.1	40	4414	36	1.39	0.3	16	4

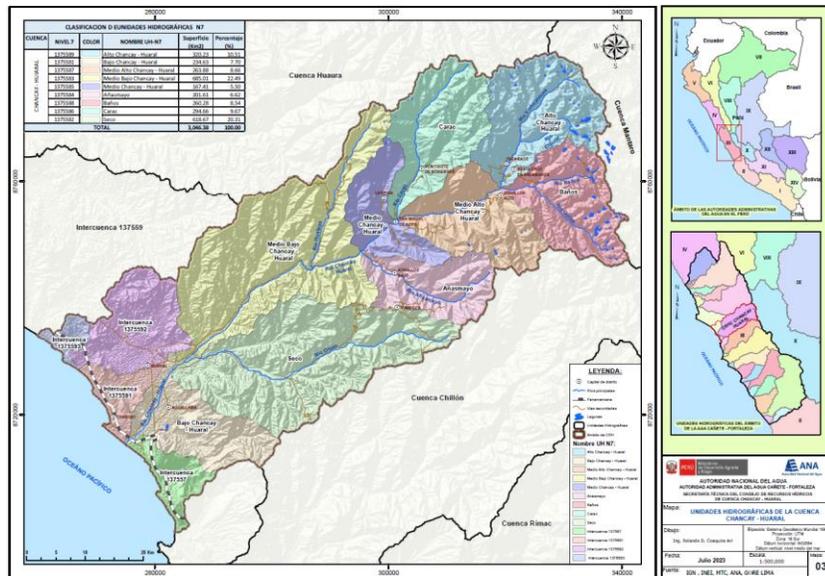
Tabla 4: Características del cauce principal de la cuenca

Nombre	Longitud (Km)	Pendiente media (%)
Río Chancay-Huaral	89.77	3.15

Tabla 5: Características del cauce principal de las subcuencas

Subcuenca	Cauce	Longitud (Km)	Pendiente media (%)
Anasmayo	Río Anasmayo	16	12
Medio Chancay	Río Chancay-Huaral	16	7
Baños	Río Baños	18	9
Coto	Río Coto	17	11
Vichaycocha	Río Vichaycocha	24	7
Huataya	Río Huataya	16	15
Orcon	Quebrada Orcon	10	17
Pallcamayo	Quebrada Pallcamayo	6	29
Lampian	Quebrada Lampian	12	20
Anchilon	Quebrada Anchilon	6	20
Quiman	Río Quiman	20	10
Carac	Río Carac	6	9
Chillamayo	Río Chillamayo	13	11

Figura 1: Subcuencas Delimitadas: Cuenca Chancay - Huaral



2.2.3. Información Meteorológica

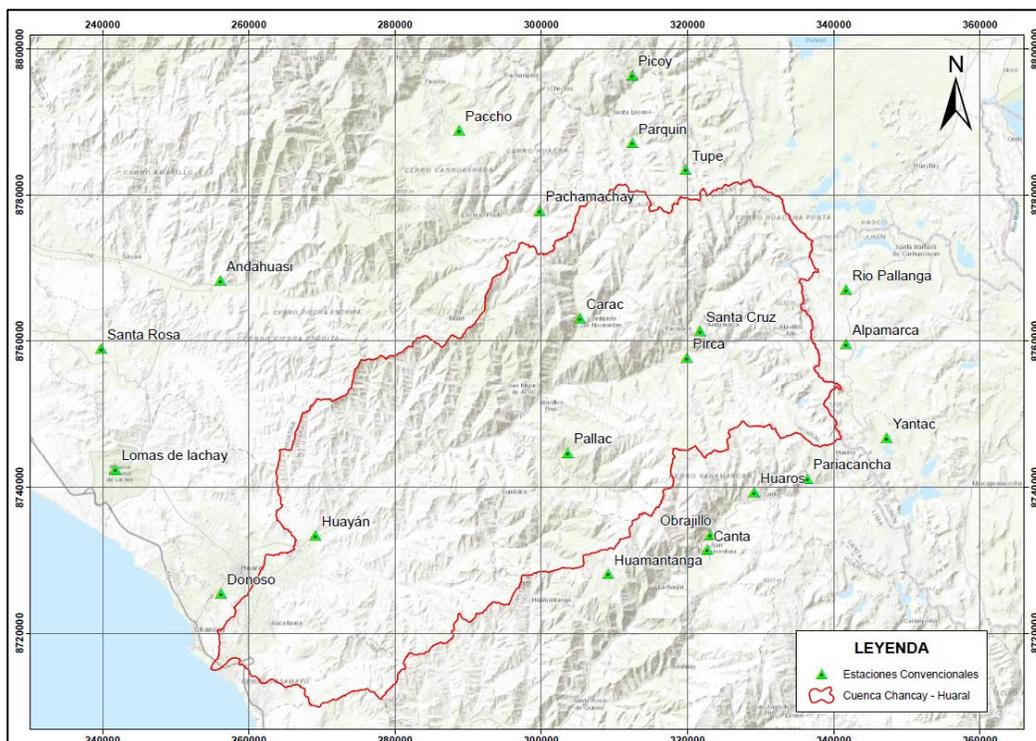
- a) **Precipitación Máxima en 24 horas.** - Se utilizó la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI. En el cuadro adjunto, se presenta la relación de veintitrés (23) estaciones utilizadas. La variable meteorológica de interés es la precipitación máxima en 24 horas, razón a ello se recopiló la información de la base datos del estudio realizado por la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos para la cuenca Chancay - Huaral en el año 2019. Así mismo se ha complementado con datos del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos de La Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), las cuales fueron descargadas de los

siguientes enlaces: <https://snirh.ana.gob.pe/ANDREA/> y <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>, respectivamente, las estaciones seleccionadas se encuentran ubicadas dentro y fuera de la cuenca Chancay – Huaral pero que tengan una mayor influencia en el mismo, además que se hará un filtrado de cada una de estas estaciones tomando en cuenta los siguientes criterios: a) Disponibilidad y longitud de datos, b) Selección de estaciones mediante polígonos de Voronoi y c) Influencia de la variabilidad climática de las estaciones, respecto a la cuenca hidrográfica, teniendo un total 12 estaciones que cumplen con dichos criterios.

Tabla 6: Ubicación de estaciones pluviométricas seleccionadas

N°	Estación Convencional	Ubicación Geográfica		Altitud (m.s.n.m)	Escala	Registro
		Latitud	Longitud			
1	Canta	-76.63	-11.47	2832	Diaria	53
2	Huamantanga	-76.75	-11.50	3392	Diaria	57
3	Huaros	-76.57	-11.40	3585	Diaria	57
4	Huayán	-77.12	-11.45	350	Diaria	55
5	Pallac	-76.80	-11.35	2333	Diaria	53
6	Pirca	-76.65	-11.23	3255	Diaria	53
7	Santa Cruz	-76.63	-11.20	3700	Diaria	53
8	Donoso	-77.24	-11.52	180	Diaria	30
9	Lomas de Iachay	-77.37	-11.37	300	Diaria	44
10	Santa Rosa	-77.38	-11.22	485	Diaria	40
11	Yantac	-76.40	-11.33	4600	Diaria	50
12	Pachamachay	-76.83	-11.05	4200	Diaria	36

Figura 2: Estaciones cercanas a la cuenca Chancay – Huaral



- b) **Análisis y utilización de datos atípicos:** Un valor atípico es un dato que es considerablemente diferente a los otros datos de la muestra. Con frecuencia, los valores atípicos en un conjunto de datos pueden alertar a los estadísticos sobre las anomalías experimentales o los errores en las mediciones tomadas, y debido a esto puede que los descarten del conjunto de datos.

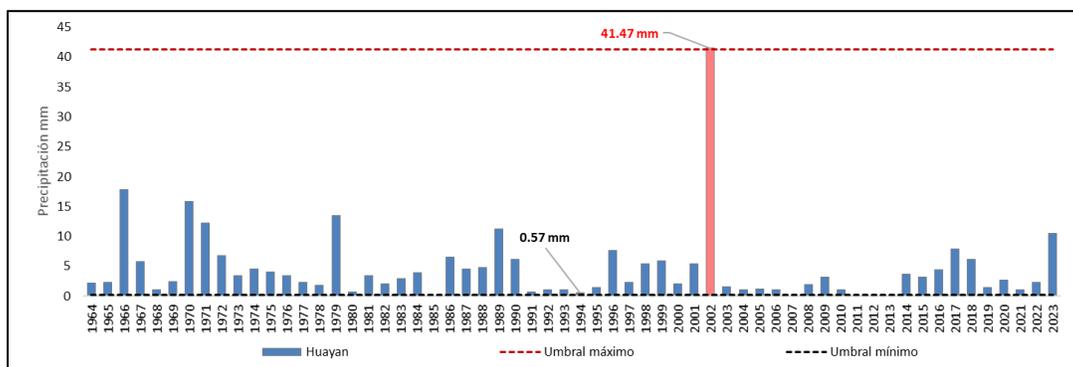
Para este análisis se utilizó el Método del “Bulletin 17B” (Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982) para la detección de “outliers” en series anuales. Esta metodología fue desarrollada para el análisis de frecuencia de avenidas en Estados Unidos, aunque puede también utilizarse para el análisis de frecuencia de precipitación. Los “outliers” son datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información de la muestra y que dan lugar a cuestionar su procedencia en términos de que pueden pertenecer a una población diferente. Esta metodología consiste en calcular umbrales que definan “outliers” altos y bajos mediante la siguiente ecuación:

$$Y_L = \bar{Y} \pm K_n S_Y$$

Donde Y_L es el límite del logaritmo del valor atípico más alto o bajo, \bar{Y} y S_Y son el promedio y desviación estándar de los logaritmos base 10 de la serie anual. K_n es un valor crítico para la muestra de tamaño n , que se usa para detectar “outliers” con un 10% de nivel de significancia en datos normalmente distribuidos. Valores de K_n para $5 \leq n \leq 100$ pueden ser calculados usando el logaritmo base 10 del tamaño de la muestra.

De acuerdo con la metodología mencionada, en las tablas siguientes se presentan los resultados del cálculo de los umbrales para los límites de valores atípicos en las estaciones seleccionadas (los resultados completos se muestran en los anexos del estudio).

Figura 3: Grafica de Outliers – Estación Huayan



- c) **Pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad:** Antes de proceder al ajuste de una muestra con una distribución estadística, se debe verificar si los datos son independientes e idénticamente distribuidos (iid). Se utilizó el software Hyfran para aplicar las pruebas estadísticas de Wilcoxon (homogeneidad), Kendall (Tendencia) y Wald -Wolfowitz (Independencia) a las series de las 12 estaciones seleccionadas para el análisis de máximas avenidas, teniendo como resultado que la estación Pachamachay rechaza las pruebas de estacionariedad y homogeneidad, mientras que las estaciones de Santa Cruz y Yantac rechaza la

prueba de independencia, por último, la estación Huamantanga no cumple con ninguna de las tres pruebas estadística. Al respecto de este análisis, solo corrigieron aquellas estaciones que no cumplen con las pruebas de estacionariedad y homogeneidad, esto debido a que para el uso correcto de la información hidroclimatológica en la ingeniería de los recursos hídricos, ésta debe cumplir con el supuesto de estacionalidad, consistencia y homogeneidad (Castro, L. M., y Carvajal Escobar, Y.-2010).

Tabla 7: Hipótesis Nula (Ho) pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad

Estación	Test de Independencia (Wald - Wolfowitz)	Test de Estacionariedad (Kendall)	Test de Homogeneidad (Wilcoxon)	Corrección
Donoso	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Huamantanga	Rechaza	Rechaza	Rechaza	Corregir
Huaros	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Huayan	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Lomas de Lachay	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Canta	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Pachamachay	Aceptado	Rechaza	Rechaza	Corregir
Pallac	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Pariacancha	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Pirca	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Santa Cruz	Rechaza	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Yantac	Rechaza	Aceptado	Aceptado	No Corregir

d) Remoción de datos inconsistentes: Para conocer la serie que será removida use usó el programa Trend, ya que fue diseñado para facilitar pruebas estadísticas como la tendencia, el cambio y la aleatoriedad en series de tiempo hidrológicas y cuenta con 12 pruebas estadísticas, que se basan en el trabajo de expertos de la OMM y UNESCO, que se presentaron en un taller sobre la tendencia, detección de cambio en series de tiempo hidrológicas, teniendo como resultado que la estación Huamantanga presenta tendencia con la prueba de Mann-Kendall con valor de significancia al 1%. Respecto a los saltos significativos, presenta salto en la prueba de Cusum, además, presenta saltos en las pruebas de Cumulative deviation y Worsley likelihood, siendo el punto de quiebre el año 1992, mientras que, para la estación Pachamachay presenta tendencia con la prueba de Mann-Kendall con valor de significancia al 1%, así mismo, esta presenta saltos en las pruebas Cusum, Cumulative deviation y Worsley likelihood, siendo el punto de quiebre el año 2005, 2011 y 2018, respectivamente.

Para las estaciones Huamantanga y Pachamachay se removieron la serie 1965 – 1991 y 1988 – 2004, teniendo como resultado que para la estación Huamantanga, no presenta tendencia con la prueba de Mann-Kendall, así mismo, no presenta saltos en las pruebas Cusum, Cumulative deviation y Worsley likelihood, lo cual indica que es consistente, sin embargo, la estación Pachamachay sigue presentando tendencia con la prueba de Mann-Kendall, así como saltos significativos en las pruebas Cusum, Cumulative deviation y Worsley likelihood siendo el punto de quiebre el 2011. Al respecto, si realizamos nuevamente el análisis, éste sería solamente de 12 años (2011-2023), no cumpliendo con la serie

Tabla 9: Resumen menor valor Dmax

ESTACION	Distribución Normal	Distribución Log - Normal	Distribución Gamma	Distribución Pearson III	Distribución Log - Pearson III	Distribución Gumbel
CANTA	0.113	0.078	0.067	0.077	0.062	0.070
DONOSO	0.259	0.104	0.173	0.095	0.072	0.188
HUAMANTANGA	0.138	0.080	0.090	0.090	0.073	0.077
HUAROS	0.117	0.062	0.079	0.051	0.064	0.049
HUAYÁN	0.224	0.056	0.221	0.131	0.059	0.234
LOMAS DE LACHAY	0.154	0.068	0.064	0.063	0.062	0.089
PACCHO	0.102	0.068	0.081	0.121	0.056	0.065
PALLAC	0.113	0.063	0.056	0.070	0.073	0.046
PARIACANCHA	0.108	0.088	0.091	0.074	0.083	0.088
PIRCA	0.156	0.102	0.121	0.134	0.087	0.094
SANTA CRUZ	0.117	0.067	0.083	0.057	0.045	0.054
YANTAC	0.104	0.120	0.104	0.093	0.111	0.121

c) **Determinación del Periodo de Retorno:** Se ha realizado la extrapolación de las precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno. El cuadro siguiente muestra el resumen de resultados de precipitaciones máximas en 24 horas, para luego aplicar modelos lluvia-escorrentía y obtener caudales máximos en los diferentes puntos de interés.

Tabla 10: Funciones de distribución de probabilidades Teóricas para diferentes períodos de retorno

Periodo de retorno	CANTA	DONOSO	HUAMANTANGA	HUAROS	HUAYÁN	LOMAS DE LACHAY	PACCHO	PALLAC	PARIACANCHA	PIRCA	SANTA CRUZ	YANTAC
	Log Pearson III	Log Pearson III	Log Pearson III	EV1-Max (Gumbel)	LogNormal	Log Pearson III	Log Pearson III	EV1-Max (Gumbel)	Pearson III	Log Pearson III	Log Pearson III	Pearson III
2	21.19	3.06	27.97	23.12	3.10	5.33	24.31	21.32	27.16	19.51	24.86	21.97
5	29.05	5.80	37.58	29.30	7.06	9.17	32.36	30.93	33.85	25.13	31.50	29.39
10	34.26	8.48	44.32	33.39	10.85	12.16	38.00	37.29	38.16	29.30	36.11	33.61
25	40.85	13.20	53.29	38.56	17.16	16.45	45.49	45.32	43.40	35.11	42.19	38.37
50	45.77	17.95	60.30	42.40	23.07	19.99	51.35	51.28	47.16	39.84	46.91	41.60
60	47.06	19.40	62.19	43.40	24.81	20.97	52.93	52.84	48.13	41.14	48.18	42.41
100	50.70	24.00	67.60	46.21	30.11	23.82	57.45	57.20	50.79	44.92	51.80	44.60
140	53.10	27.51	71.26	48.05	33.98	25.80	60.51	60.06	52.52	47.53	54.25	45.99
200	55.67	31.69	75.25	50.00	38.42	27.97	63.84	63.09	54.33	50.42	56.90	47.43
500	62.35	45.09	85.97	55.00	51.63	33.98	72.80	70.87	58.90	58.40	64.03	50.97
1000	67.51	58.33	94.60	58.78	63.51	38.94	80.01	76.75	62.29	65.05	69.74	53.53

d) **Distribución Espacial – Isoyetas de Máximas:** Este método es el más exacto para determinar el valor de las precipitaciones máximas en cada una de las subunidades hidrográficas. Para realizar este análisis es necesario contar con la ubicación georreferenciada de las estaciones seleccionadas con el valor de precipitación para cada periodo de retorno. Se ha trabajado con el software ARC MAP 10.8 aplicando los métodos de distribución espacial de isoyetas máximas mediante las interpolaciones IDW y Kriging usando la extensión Geostatistical Analyst.

Se ha realizado la comparación de los métodos de interpolación IDW y Kriging para los diferentes periodos de retorno mediante validación cruzada, en el cual, se muestra que el método Kriging tiene un error medio y error medio cuadrático menor que IDW, resultando un mejor ajuste espacial de las precipitaciones en diferentes periodos de retorno.

Figura 4: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 100 años

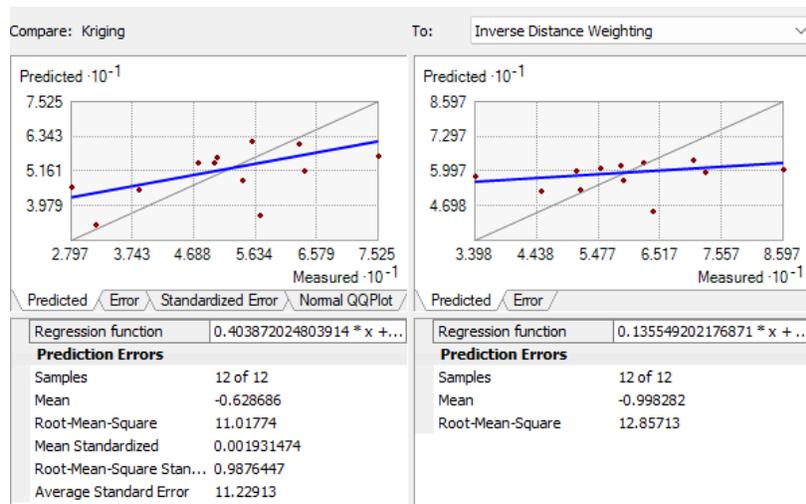
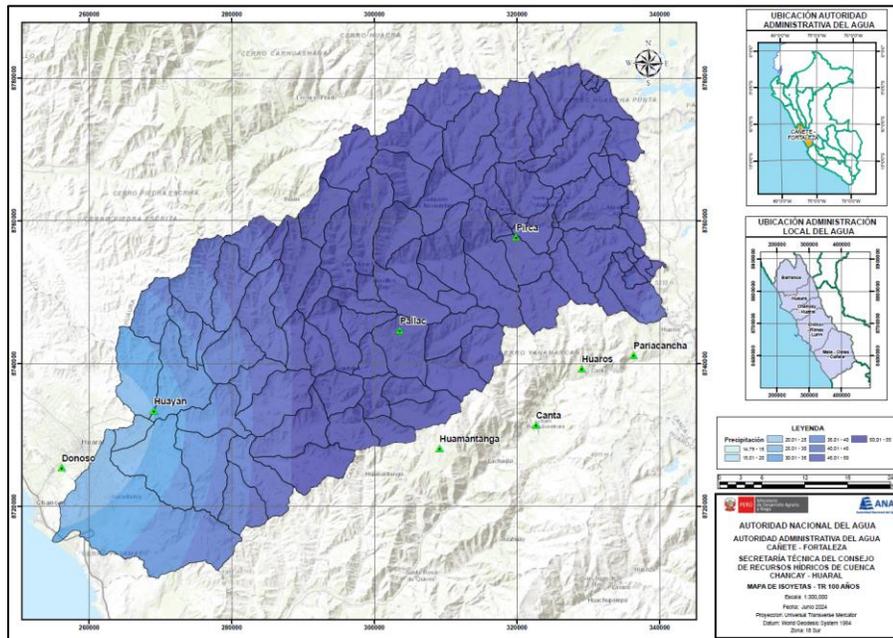


Figura 5: Isoyetas de Precipitación Máxima en 24 Horas para un periodo de retorno de 100 años

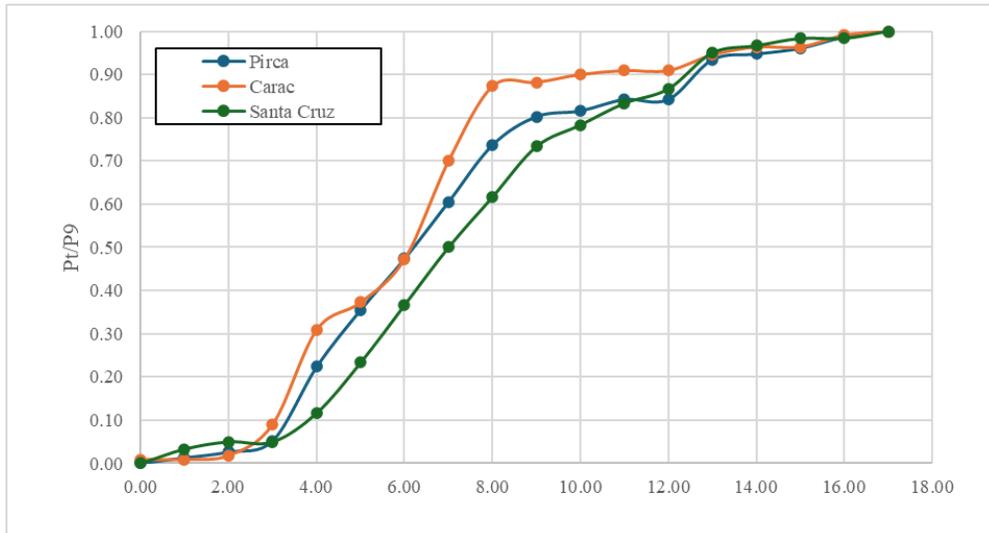


e) Distribución Espacial – Isoyetas de Máximas: La cuenca Chancay – Huaral dispone de 3 estaciones automáticas siendo éstas Carac, Santa Cruz y Pirca

Para evaluar la distribución temporal de la tormenta se tuvieron en cuenta los registros de las estaciones automáticas específicamente para los eventos máximos producidos durante el YAKU 2023, debido a que dichas estaciones no cuentan con la información del FEN 2017.

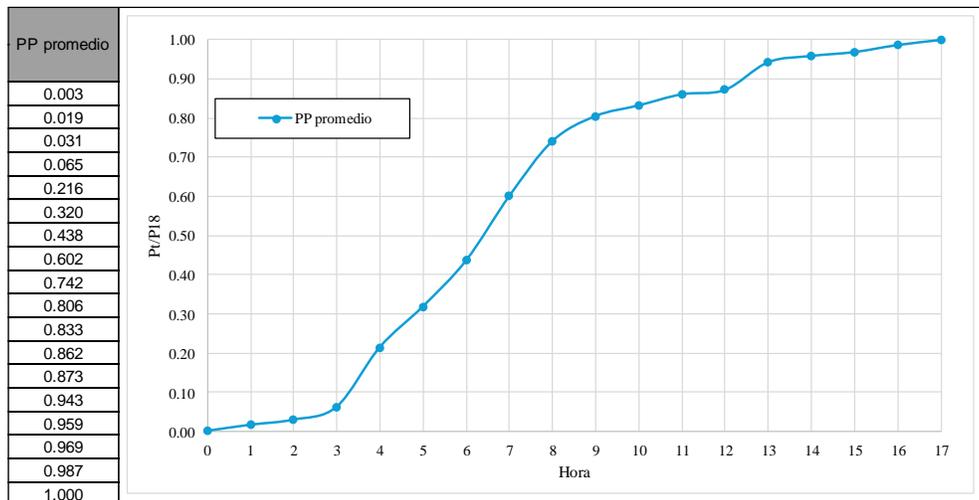
En base al evento registrado el 15 de marzo del 2023, la duración de la tormenta tiene un rango de duración de 18 horas, siendo la quinta y octava hora donde se producen las altas intensidades

Figura 6: Precipitación acumulada en % para el Yaku 2023 (15 de marzo)



Con el fin de dar solidez a los resultados hidrológicos, se ha optado por determinar el comportamiento de las tormentas en base a información histórica existente en el ámbito de estudio. Por lo tanto, los hietogramas de diseño se construyeron promediando los registros horarios de las estaciones Carac, Santa Cruz y Pirca, identificado en el evento extraordinario ocurrido el 15 de marzo de 2023 para una duración de 18 horas.

Figura 7: Distribución de la Precipitación máxima de diseño



2.2.4. Determinación de caudales máximos:

Debido a la naturaleza y realidad de las cuencas materia de estudio, la cuenca cuenta con estaciones hidrométrica en el siendo ésta Santo Domingo. Realizando su análisis estadístico, los caudales para los diferentes periodos se muestran en la siguiente tabla

Tabla 11: Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno - Estación Santo Domingo

Estación	Método de Ajuste	Modelo Estadístico	10	25	50	100	200	500	1000
			ESTACIÓN SANTO DOMINGO	Hydrognomon (Kolmogorov-Smirnov)	Normal	184.57	210.64	227.48	242.62
LogNormal	184.49	229.36			263.99	299.58	336.35	387.01	427.02
Gamma	187.83	226.60			254.13	280.60	306.26	339.21	363.57
Pearson III	187.76	225.56			252.24	277.78	302.48	334.10	357.40
Log Pearson III									
EV1-Max (Gumbel)	185.88	226.97			257.46	287.72	317.87	357.64	387.71

Además, se ha optado por aplicar métodos indirectos, como es el planteado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. A través de un modelo hidrológico Precipitación – Escorrentía, para ello se ha utilizado el software HEC-HMS, con el objetivo de conocer cuanto es el caudal en los principales aportantes. A continuación, se muestran las características del cauce y de la subcuenca como parámetros de cálculo.

Tabla 12: Parámetros para Aplicación de los Hidrogramas Unitarios SCS

N°	Subunidad	Área (km ²)	Long. corriente máxima (km)	Tc (hr)	Tc (minutos)	Tlag SCS
1	SC CHACGRAN	34.28	9.19	1.50	90.00	54.01
2	SC HONDA	40.19	14.62	2.08	124.80	74.78
3	SC YANCAR	35.83	11.32	1.61	96.60	57.86
4	SC QUINCAN	51.79	13.23	1.84	110.40	66.38
5	SC INQUIRIHUAY	19.51	8.78	1.37	82.20	49.46
6	SC ANGASMAYO	21.06	10.66	1.45	87.00	52.21
7	SC CHIPIYO	17.68	9.67	1.34	80.40	48.10
8	SC LARGO	40.26	10.22	1.51	90.60	54.51
9	SC PICAY	38.56	14.20	2.02	121.20	72.73
10	SC PATACOCCHA	45.2	11.92	1.81	108.60	65.09
11	SC OCUPAMPA	34.75	12.87	1.74	104.40	62.53
12	SC HUATAYA	55.25	20.63	2.81	168.60	101.22
13	SC VILCA	20.71	9.27	1.36	81.60	48.81
14	SC TOTORAL	57.25	13.71	2.04	122.40	73.30
15	SC CORONHUAY	51.32	16.21	2.31	138.60	83.28
16	SC LUMBRA	43.94	15.92	2.33	139.80	84.03
17	SC QUIPULLIN	44.54	12.31	2.23	133.80	80.44
18	SC BAJO LUMBRA	9.75	8.03	1.53	91.80	54.95
19	SC MINA	24.71	13.54	2.15	129.00	77.48
20	SC ONDAS	36.01	11.65	1.80	108.00	64.79
21	SC PORTILLO	65.16	19.84	3.21	192.60	115.58
22	SC HUAREQUEQUE	61.15	18.12	3.14	188.40	112.97
23	SC PACAYBAMBA	53.51	18.41	2.73	163.80	98.40
24	SC CAYAN	51.51	17.86	2.50	150.00	90.17
25	SC BAJO CAYAN	45.21	15.45	2.60	156.00	93.49
26	SC INFERNILLO	40.57	13.45	2.34	140.40	84.17
27	SC PUGA PUNTA	59.36	14.27	2.02	121.20	72.72
28	SC ALTO GRANJA	25.93	13.79	2.12	127.20	76.25
29	SC SANCUDO	64.53	17.31	2.89	173.40	104.18
30	SC GRANJA	43.35	14.32	2.42	145.20	87.17
31	SC MONTURA	79.28	18.43	2.96	177.60	106.64
32	SC PUEBLO LIBRE	15.52	8.10	1.74	104.40	62.81
33	SC CHANCAY	235.75	39.97	5.91	354.60	212.85
34	SC L. CHANCAN	2.63	2.92	0.72	43.20	25.96
35	SC CHALHUACOCHA ALTO	1.4	2.23	0.55	33.00	19.73
36	SC RAUITE	2.28	1.99	0.54	32.40	19.60
37	SC. CHALHUACOCHA BAJO	0.3	0.94	0.31	18.60	11.12
38	SC CHALHUACOCHA	32.14	14.18	2.60	156.00	93.72
39	SC RAHUITE	27.43	10.83	2.04	122.40	73.53
40	SC SHIPRO	53.27	15.02	2.36	141.60	84.87

N°	Subunidad	Área (km ²)	Long. corriente máxima (km)	Tc (hr)	Tc (minutos)	Tlag SCS
41	SC JANCA	36.26	15.69	2.40	144.00	86.25
42	SC CHUNGAR	24.04	8.67	1.91	114.60	68.63
43	SC L. YUNCAN	9.48	4.76	0.92	55.20	33.04
44	SC CACRAY	7.47	5.47	1.00	60.00	36.10
45	SC L. YANAHUIN	0.98	1.77	0.47	28.20	17.03
46	SC CHICRIN	54.62	15.89	2.42	145.20	87.28
47	SC VICHAYCOCHA	6.68	4.42	0.71	42.60	25.42
48	SC CORICANCAH	40.36	9.32	1.37	82.20	49.35
49	SC YARCOPUNCO	17.6	9.73	1.40	84.00	50.40
50	SC QUIZA	35.45	13.81	2.43	145.80	87.37
51	SC SHULUCANCHA	11.14	8.09	1.44	86.40	51.75
52	SC QUILES	51.46	13.96	2.39	143.40	86.10
53	SC CANCHA	27.58	12.38	2.12	127.20	76.20
54	SC L. AGUSHUAMAN	10.23	6.58	1.34	80.40	48.22
55	SC L. VILCACOCHA	5.54	4.29	0.80	48.00	28.77
56	SC BANOS	41.46	17.13	2.72	163.20	97.81
57	SC TAMBO	22.79	11.49	1.89	113.40	68.04
58	SC BAJO QUILES	4.84	5.00	0.80	48.00	28.78
59	SC BANOS MEDIO	1.2	2.64	0.46	27.60	16.58
60	SC BAJO BANOS	26.16	13.50	1.91	114.60	68.70
61	SC PACARAOS	5	3.88	0.63	37.80	22.67
62	SC CAQUER	39.32	8.95	1.86	111.60	67.12
63	SC CHILAMAYO	29.88	11.98	1.63	97.80	58.65
64	SC LACTAN	9	5.35	0.79	47.40	28.39
65	SC MINAPATA	49.26	11.87	2.13	127.80	76.83
66	SC ANCCO	48.58	9.79	1.48	88.80	53.37
67	SC CALANILLOC	52.77	15.05	2.42	145.20	87.30
68	SC RACRE	22.8	11.13	1.74	104.40	62.79
69	SC COTO	44.29	12.13	1.65	99.00	59.40
70	SC QUIMAN	39.37	12.14	1.63	97.80	58.60
71	SC PICHAPICHA	48.59	13.78	1.86	111.60	66.94
72	SC CHUNCURMAYO	39.62	15.33	2.05	123.00	73.77
73	SC LACSA	54.26	17.17	2.22	133.20	79.81
74	SC MIHUA	24.15	12.31	1.59	95.40	57.39
75	SC CARAC	39.12	12.79	1.73	103.80	62.27
76	SC HUAGRE	20.44	8.44	1.20	72.00	43.21
77	SC HUICHIN	57.23	18.70	2.35	141.00	84.48
78	SC PALLCAMAYO	42.68	15.04	1.88	112.80	67.65
79	SC ISHCO	40.88	15.06	1.94	116.40	69.81
80	SC PATUR	9.79	5.03	0.79	47.40	28.31
81	SC ARCUA	34.47	12.24	1.65	99.00	59.53
82	SC CARPE	21.07	8.49	1.19	71.40	42.87
83	SC PUTACA	19.8	9.23	1.36	81.60	49.10
84	SC LUCAMANI	19.02	8.83	1.32	79.20	47.58
85	SC CHINCOTO	32.52	9.90	1.47	88.20	52.97
86	SC SHIMAY	31.63	10.59	1.63	97.80	58.53
87	SC ASNAC	26.18	9.42	1.47	88.20	52.97
88	SC MARIN	18.14	10.36	1.51	90.60	54.28
89	SC L. ISCO	2.97	2.64	0.53	31.80	19.21
90	SC L. YANAUAYAC	5.24	3.59	0.92	55.20	33.04
91	SC L. QUISHA	6.26	4.47	0.87	52.20	31.41
92	SC. L. UCHUMACHAY	4.98	2.89	0.58	34.80	20.86
93	SC. L. PARCASH I	2.26	2.05	0.50	30.00	17.96
94	SC. L. PARCASH II	2.13	2.59	0.60	36.00	21.55

Subcuenca	Área Drenaje	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200
SC CHINCOTO	32.52	0.86	3.28	6.41	9.81	15.22
SC CHIPIYO	17.68	1.36	3.53	5.87	8.18	11.23
SC CHUNCURMAYO	39.62	2.36	5.18	7.56	11.31	16.09
SC CHUNGAR	24.04	3.61	6.30	9.40	12.49	14.14
SC CORICANCHA	40.36	0.42	1.32	2.42	3.97	5.60
SC CORONHUAY	51.32	0.84	2.65	5.44	9.62	15.54
SC COTO	44.29	0.67	2.31	3.64	5.50	9.54
SC GRANJA	43.35	1.43	3.30	8.24	13.73	21.68
SC HONDA	40.19	2.21	6.43	9.61	13.84	19.16
SC HUAGRE	20.44	0.13	0.70	1.42	2.27	3.39
SC HUASCOY	13.00	0.91	2.28	3.37	4.86	6.78
SC HUATAYA	55.25	0.99	3.12	5.45	8.56	13.94
SC HUEREQUEQUE	61.15	0.58	1.32	2.97	8.08	15.15
SC HUICHIN	57.23	0.62	2.72	4.55	6.74	11.87
SC INFIERNILLO	40.57	1.89	5.53	10.83	16.31	25.99
SC INQUIRHUAY	19.51	0.06	0.98	1.90	2.79	4.34
SC ISHCO	40.88	0.18	1.36	2.77	4.26	6.97
SC JANCA	36.26	3.40	6.33	9.55	13.12	16.20
SC LACSA	54.26	0.54	2.03	3.38	5.25	8.08
SC LACTAN	9.00	0.06	0.12	0.39	0.77	1.25
SC LARGO	17.56	0.88	2.16	4.17	6.16	9.04
SC LUCUMANI	19.02	0.08	1.39	2.44	3.55	6.19
SC LUMBRA	43.94	1.82	4.46	9.07	13.77	20.33
SC L PARCASH I	2.26	0.74	1.11	1.37	1.68	1.89
SC L PARCASH II	2.13	0.58	0.90	1.12	1.40	1.60
SC L UCHUMACHAY	4.98	1.24	1.99	2.46	3.11	3.61
SC L.YANAHUIN	10.23	2.54	3.97	5.59	7.16	8.03
SC L. AGUASHUAMAN	2.63	0.83	1.24	1.57	1.95	2.18
SC L. CHANCAN	2.97	0.83	1.37	1.95	2.49	2.86
SC L. ISCO	6.26	1.19	2.04	2.61	3.31	3.81
SC L. QUISHA	5.54	1.06	1.85	2.33	2.96	3.47
SC L. VILCACOCHA	0.98	0.27	0.41	0.55	0.69	0.77
SC L. YANAUAYAC	5.24	1.21	1.98	2.47	3.11	3.56
SC L. YUNCAN	9.48	2.27	3.61	5.06	6.51	7.27
SC MARIN	18.14	0.09	0.87	1.69	2.64	4.79
SC MIHUA	11.16	0.09	0.44	0.78	1.20	1.74
SC MINA	24.71	1.05	2.38	5.22	8.44	12.35
SC MINAPATA	49.26	6.06	12.06	16.76	23.40	31.30
SC MONTURA	79.28	0.04	0.62	2.35	6.55	15.64
SC OCUPAMPA	34.75	0.23	1.09	2.21	3.49	5.65
SC ONDAS	36.01	1.64	3.61	7.53	12.59	18.43
SC PACARAOS	5.00	0.03	0.05	0.19	0.41	0.67
SC PACAYBAMBA	53.51	3.99	11.32	19.72	26.56	38.08
SC PALLCAMAYO	42.68	0.44	2.56	4.11	6.03	9.73
SC PATACOCHA	45.20	2.51	5.91	12.46	18.65	27.04
SC PATUR	9.79	1.24	3.11	4.71	6.29	8.29
SC PICAY	38.56	2.62	7.29	12.41	17.06	23.46
SC PICHAPICHA	48.59	3.00	6.13	9.66	14.64	21.44
SC PORTILLO	65.16	1.09	2.22	5.02	10.48	18.09
SC PUEBLO LIBRE	15.52	0.10	0.10	0.10	0.52	1.38
SC PUGA PUNTA	59.36	3.47	10.35	19.95	27.92	40.36
SC PUTACA	19.80	0.12	1.45	2.54	3.81	6.36
SC QUILES	51.46	3.79	6.93	9.40	13.46	17.15
SC QUIMAN	39.37	0.38	1.90	3.12	4.74	8.16
SC QUINCAN	51.79	0.26	2.79	4.73	6.87	10.61
SC QUIPULLIN	44.54	3.07	7.08	10.86	15.72	23.08
SC QUISHA	35.45	5.29	9.27	11.52	14.50	17.16
SC RACRE	22.80	2.54	4.82	6.85	9.81	13.20

Subcuenca	Área Drenaje	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200
SC RAHUIITE	27.43	3.47	6.45	10.11	13.61	16.15
SC RAUIITE	2.28	0.78	1.22	1.70	2.12	2.41
SC SANCUDO	64.53	1.56	3.64	9.07	16.33	27.79
SC SHIMAY	31.63	1.37	4.77	9.01	12.92	19.51
SC SHIPRO	53.27	5.37	10.11	14.25	20.22	26.24
SC SHULUCANCHA	11.14	1.84	3.35	4.20	5.38	6.53
SC TAMBO	22.79	1.82	3.30	4.84	6.98	8.76
SC TARAYO	22.71	1.29	3.62	6.86	9.75	13.89
SC TOTORAL	57.25	4.15	10.66	19.12	26.63	37.14
SC VICHAYCOCHA	6.68	0.24	0.54	0.81	1.20	1.70
SC VILCA	20.71	2.12	5.50	9.40	12.61	17.14
SC YANCAR	35.83	0.83	3.98	6.34	9.85	14.44
SC YARCOPUNCO	17.60	0.78	1.45	2.07	3.57	5.48
EST. SANTO DOMINGO	2001.86	79.69	146.21	204.51	277.90	350.39
SALIDA	3061.92	80.30	145.60	203.07	275.91	411.65

IV. Conclusiones

- 4.1. El estudio hidrológico de máximas avenidas, se ha elaborado en coordinación con la Secretaría Técnica del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Chancay-Huaral, siendo la finalidad, estimar los caudales máximos a nivel de subcuenca, quebradas y en el cauce principal; los periodos de retorno establecido, corresponden a 10, 25, 50, 100 y 200 años, los cuales servirán para la prevención de riesgos por inundación y plantear obras de defensa ribereña y descolmatación del cauce del rio o quebradas.
- 4.2. De acuerdo con el análisis realizado, las 23 estaciones seleccionadas inicialmente, 12 estaciones cumplen con los criterios de disponibilidad de información, registro de los últimos eventos extremos (2017 y 2023) área de influencia mediante polígonos de Voronoi, y clasificación climática, pudiendo ser utilizadas todas ellas para este estudio hidrológicos, siendo las estaciones seleccionadas: Donoso, Huamantanga, Huaros, Huayan, Lomas de Lachay, Canta, Pachamachay, Pallac, Pariacancha, Pirca, Santa Cruz y Yantac
- 4.3. La estación Pachamachay se removió del análisis estadístico debido a que sigue presentando tendencia con la prueba de Mann-Kendall, así como saltos significativos en las pruebas Cusum, Cumulative deviation y Worsley likelihood y si realizamos nuevamente el análisis, éste sería solamente de 12 años (2011-2023), no cumpliendo con la serie mínima requerida en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, optando por considerar la estación Paccho debido a la cercanía de esta con la cuenca realizando su prueba outlier y los test de independencia, estacionariedad y homogeneidad.
- 4.4. Los valores de precipitación máxima 24 horas de cada estación se ajustó a 6 distribuciones de probabilidades recomendadas por el Manual de Hidrológica, Hidráulica y Drenaje del MTC, estos son la distribución Normal, distribución Log-normal, distribución gamma, distribución Pearson III, distribución Log Pearson III y distribución Gumbel. Luego de la prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov se determinó la distribución que mejor se ajusta para cada estación. Finalmente se obtuvo los valores de precipitación máxima para diferentes periodos de retorno (Tr2, Tr5, Tr10, Tr25, Tr50, Tr60, Tr100, Tr140, Tr200, Tr500, Tr1000).

- 4.5. Para la generación de los hietogramas de diseño se analizaron 3 estaciones automáticas (Carac, Santa Cruz y Pirca) con frecuencia horaria, para los eventos máximos ocurridos durante el Yaku 2023, debido a que dichas estaciones no cuentan con la información del FEN 2017 mostrando que para el evento registrado el 15 de marzo del 2023 la tormenta tiene un rango de duración de 18 horas, siendo la quinta y octava hora donde se producen altas intensidades, construyendo los hietogramas de diseño promediando los registros horarios de las 3 estaciones automáticas
- 4.6. Se eligió el software HEC-HMS para el modelo precipitación – escorrentía, ya que por su robustez es el mejor para modelar precipitaciones máximas, tiene diversos módulos de análisis y métodos para el análisis de pérdidas por infiltración y modelo de transformación a escorrentía. Para el modelado de la cuenca Chancay - Huaral se utilizó el método de curva del SCS para las pérdidas en condiciones normales. Para el modelo para transformar la lluvia en escurrimiento se utilizó el Hidrograma Unitario del SCS.
- 4.7. Se generaron los caudales para los periodos de retorno 10, 25, 50, 100 y 200 años en la salida del modelo hidrológico, siendo éstos 79,69 m³/s, 146,21 m³/s, 204,51 m³/s, 277,90 m³/s y 350,40 m³/s, respectivamente.

V. Recomendaciones

- 5.1. Los caudales obtenidos en este presente estudio son caudales líquidos por lo que se recomienda considerar el tipo de flujo de transita en el cauce principal y/o aportantes (Flujo newtoniano y no newtoniano) al momento de realizar modelación hidráulica de proyección de obras hidráulicas o afines.
- 5.2. Al momento de tomar decisiones se recomienda tener en cuenta no solo el caudal líquido sino el sólido ya que aumenta no solo el volumen sino el poder de destrucción de los “huaicos”.
- 5.3. Los impactos y medidas de mitigación en las quebradas deben ser evaluadas de manera independiente a las del modelo integral, bajo el escenario de un evento de precipitación localizado (debido a la diferencia de caudales para los diferentes periodos de retorno). Si el diseño no incorpora estas consideraciones existe el riesgo de subestimar el nivel de daños y, consecuentemente, subdimensionar las estructuras.
- 5.4. Derivar al área legal para continuar con el trámite correspondiente,

Atentamente:

VICTOR ORLANDO OLIVOS ALVITES
Profesional
CIP N° 246087