

	PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS "AUTORIDAD PARA LA RECONSTRUCCIÓN CON CAMBIOS"	Revisión: R01
	CONTRATO: ENTREGA DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS DEL RÍO CAÑETE Y DEL RÍO HUAURA (PAQUETE 5)	Emisión: 19/03/2023
	LIMA	Página: 1 de 228



REVISIÓN DE DOCUMENTOS TÉCNICOS

☒ A- ACEPTADO

☐ B- ACEPTADO CON COMENTARIOS

☐ C- RECHAZADO

Rogelio Gonzales 03/04/2023

FIRMA FECHA



PARA CONSTRUCCIÓN

FECHA: 03/04/2023.

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA EXPEDIENTE TÉCNICO FAST TRACK TRAMO 2.2 (HUAURA 3 – PAQUETE 4) FINAL RIO HUAURA

400200-OHL001-501-XX-BD-HY-004001

DIRECCIÓN DE SOLUCIONES INTEGRALES

REV N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELAB. POR	REV. POR	APROB. POR
R00	11/11/2022	Emitido para Aprobación	A. Bravo (TYP SA)	B. Lucas	J. López Q.
R01	19/03/2023	Emitido para Aprobación	A. Bravo (TYP SA)	B. Lucas	J. López Q.
			FIRMAS:	  	

***"ENTREGA DE LAS DEFENSAS
RIBEREÑAS DEL RÍO HUAURA
(PAQUETE 5)"***

*Proyecto3: "Creación del servicio de protección en las
riberas del Río Huaura Vulnerable ante peligro de
inundaciones en las localidades de 5 Distritos de la
Provincia de Oyón y 6 Distritos de la Provincia de
Huaura – Departamento de Lima"*

Octubre 2022

Hoja de control de calidad

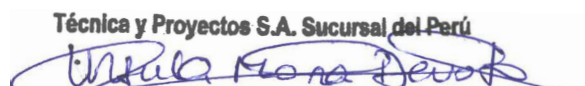
Documento	ESTUDIO DE HIDROLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA		
Proyecto	Proyecto3: "Creación del servicio de protección en las riberas del Río Huaura Vulnerable ante peligro de inundaciones en las localidades de 5 Distritos de la Provincia de Oyón y 6 Distritos de la Provincia de Huaura – Departamento de Lima"		
Código	400200-OHL001-501-XX-BD-HY-004001-R01		
Autor:	Firma:	JLO	JLO
	Fecha:	10/10/2022	27/02/2023
Verificado	Firma:	ABB	ABB
	Fecha:	10/10/2022	27/02/2023
Destinatario	Autoridad de la Reconstrucción con Cambios		
Notas			



JOSE LEONARDO
ODRIA RUBIO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N°148715



ALBERTO BRAVO BLANCO
Ingeniero Agrónomo
CIP N° 2735-T



Técnica y Proyectos S.A. Sucursal del Perú
Úrsula Mora Devoto
Representante Legal

ÍNDICE

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA.....	11
1 GENERALIDADES.....	11
1.1 INTRODUCCIÓN.....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivos generales.....	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 UBICACIÓN.....	13
1.3.1 Ubicación política.....	13
1.3.2 Ubicación y clasificación hidrográfica.....	14
1.3.3 Accesibilidad.....	14
2 INFORMACIÓN BÁSICA.....	15
2.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA.....	15
2.2 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	15
2.2.1 Precipitación máxima 24 horas.....	15
2.2.2 Estaciones hidrométricas estudiadas.....	18
2.2.3 Otras estaciones hidrométricas.....	18
3 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	20
3.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	20
3.1.1 Descripción general.....	20
3.1.2 Clasificación Pfafstetter.....	22
3.1.3 Unidades Hidrográficas.....	23
3.1.4 Fisiografía.....	27
3.1.5 Uso de Suelo.....	30
3.1.6 Cobertura Vegetal.....	30
3.2 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA.....	40
4 CLIMATOLOGÍA.....	45
4.1 ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CUENCA.....	45
4.1.1 Precipitación total mensual.....	45
4.1.2 Precipitación máxima 24 horas.....	46
4.1.3 Temperatura Mínima, Media y Máxima.....	51
4.1.4 Humedad relativa.....	54
4.1.5 Velocidad del viento.....	55
4.1.6 Clasificación climática.....	56

ÍNDICE

4.2 CAMBIO CLIMÁTICO	57
4.2.1 Análisis y Selección de escenario climático.....	57
4.2.2 Proyecciones de la precipitación.....	58
4.2.3 Intensidad y Recurrencia del Niño por efecto del Cambio Climático	64
4.2.4 Fenómeno del Niño Costero 2017.....	68
5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO	70
5.1 ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA PP 24 HORAS	70
5.1.1 Análisis Estadístico	70
5.1.2 Resultados de PP 24 horas.....	92
5.1.3 IDF y Elaboración de Hietogramas.....	93
5.1.4 Distribución Espacial.....	100
5.2 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS.....	120
5.2.1 Análisis y tratamiento de la serie hidrométrica.....	120
5.2.2 Modelamiento Precipitación - Escorrentía.....	135
5.2.3 Calibración del modelo Precipitación - Escorrentía.....	162
5.2.4 Caudales asociados a diferentes periodos de retorno	185
5.2.5 Caudales asociados a diferentes periodos de retorno con cambio climático.....	193
5.2.6 Selección de periodo de retorno y caudal de diseño.....	204
6 SEDIMENTOS.....	206
6.1 MODELO RUSLE.....	206
6.1.1 Estimación de los factores de erosión hídrica	207
6.1.2 Resultados.....	211
6.2 MODELO MUSLE.....	213
6.3 MODELO ONSTAD - FOSTER	217
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	223
7.1 CONCLUSIONES	223
7.2 RECOMENDACIONES	225
8 ANEXOS	226

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación política de la cuenca del río Huaura.....	13
Ilustración 2: Delimitación de la cuenca del río Huaura – ALOS PALSAR.....	15
Ilustración 3: Estaciones Pluviométricas e Hidrométricas en la cuenca del río Huaura	19
Ilustración 4: Esquema hidrológico – hidráulico de la cuenca del río Huaura.....	21
Ilustración 5: Delimitación y codificación de unidades hidrográficas mediante el método Pfafstetter.....	22
Ilustración 6: Mapa de Unidades Hidrográficas.....	26
Ilustración 7: Mapa Fisiográfico	29
Ilustración 8: Cobertura de Pajonal Césped de Puna	32
Ilustración 9: Mapa de cobertura Vegetal.....	34
Ilustración 10: Clasificación según su capacidad de uso.....	39
Ilustración 11: Histograma mensual de estaciones pluviométricas del ámbito de estudio	46
Ilustración 12: Temperatura mínima mensual – Estaciones Cuenca del río Huaura	52
Ilustración 13: Temperatura media mensual.....	53
Ilustración 14: Temperatura máxima mensual – Estaciones Cuenca del río Huaura	54
Ilustración 15: Variación Anual de la Humedad Relativa Media Mensual –Cuenca del Río Huaura	55
Ilustración 16: Régimen de velocidad del Viento Media Mensual (m/s).....	56
Ilustración 17: Regiones de estudio para el “Fenómeno El Niño” FEN.....	65
Ilustración 18: Temperatura media del mar en la región 3,4 El Niño	66
Ilustración 19: Anomalía en la temperatura media superficial del mar desde el periodo de 1950 a 2021 en la región El Niño 3,4.....	66
Ilustración 20: Anomalía de Temperatura Superficial del Mar para los meses de enero y febrero del 2017	69
Ilustración 21: Representación gráfica de la configuración del evento del Niño Costero 2017	69
Ilustración 22: Estación Andajes – Ajuste de Distribución	78
Ilustración 23: Estación Alcantarilla – Ajuste de Distribución.....	78
Ilustración 24: Estación Gorgor – Ajuste de Distribución.....	79
Ilustración 25: Estación Lomas de Lachay – Ajuste de Distribución	79
Ilustración 26: Estación Oyón – Ajuste de Distribución	80
Ilustración 27: Estación Paccho – Ajuste de Distribución	80
Ilustración 28: Estación Pallac – Ajuste de Distribución.....	81
Ilustración 29: Estación Pampa Libre – Ajuste de Distribución	81
Ilustración 30: Estación Parquin – Ajuste de Distribución	82
Ilustración 31: Estación Picoy – Ajuste de Distribución	82
Ilustración 32: Estación San Rafael – Ajuste de Distribución	83
Ilustración 33: Estación Santa Cruz – Ajuste de Distribución.....	83
Ilustración 34: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Alcantarilla	85
Ilustración 35: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Andajes.....	85
Ilustración 36: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Gorgor	86

Ilustración 37: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Lomas de Lachay	87
Ilustración 38: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Oyón.....	88
Ilustración 39: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Paccho.....	88
Ilustración 40: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Pallac	89
Ilustración 41: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Pampa Libre	89
Ilustración 42: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Parquin	90
Ilustración 43: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Picoy	90
Ilustración 44: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación San Rafael.....	91
Ilustración 45: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Santa Cruz	91
Ilustración 46: Regiones de precipitaciones máximas	94
Ilustración 47: Mapa de regiones de precipitaciones máximas – duraciones de tormenta.....	95
Ilustración 48: Regionalización de precipitaciones de la cuenca del río Huaura	96
Ilustración 49: Coeficientes de duración adimensionales de las curvas Huff para cada clasificación y para las probabilidades de ocurrencia de 10%, 50% y 90% para la región A6.....	96
Ilustración 50: Coeficientes de duración adimensionales de las curvas Huff para cada clasificación y para las probabilidades de ocurrencia de 10%, 50% y 90% para la región A7	97
Ilustración 51: Coeficientes de duración adimensionales de las curvas Huff para cada clasificación y para las probabilidades de ocurrencia de 10%, 50% y 90% para la región P4.....	97
Ilustración 52: Polígonos de Thiessen para la cuenca hidrográfica del río Huaura.....	101
Ilustración 53: Isoyetas TR=2 años.....	110
Ilustración 54: Isoyetas TR=10 años	111
Ilustración 55: Isoyetas TR=25 años	112
Ilustración 56: Isoyetas TR=50 años	113
Ilustración 57: Isoyetas TR=100 años	114
Ilustración 58: Isoyetas TR=200 años	115
Ilustración 59: Regionalización de las precipitaciones máximas de 24h en función de la altitud.....	116
Ilustración 60: Regresión simple caudales medios y caudales máximos mensuales.....	123
Ilustración 61: Histograma de caudales máximos instantáneos de la estación Sayán.....	126
Ilustración 62: Histograma de caudales máximos instantáneos de la estación Casa Blanca	130
Ilustración 63: Histograma de caudales máximos instantáneos de las estaciones Sayán y Casa Blanca	131
Ilustración 64: Ajuste de distribución de probabilidades de caudales máximos instantáneos de la Estación Sayán.....	132
Ilustración 65: Curva de caudales en la estación Sayán.....	133
Ilustración 66: Curva de caudales en la estación Sayán.....	134
Ilustración 67: Esquema de modelo hidrológico para la cuenca del río Huaura	135
Ilustración 68: Reclasificación de la Curva Numero Cuenca Huaura	149
Ilustración 69: Hietograma de precipitación total diaria de las estaciones empleadas para la modelación hidrológica durante el FEN 2017	165
Ilustración 70: Registro histórico de estación Sayán, marzo 2017	166

Ilustración 71: Hidrograma resultante del modelo de la cuenca del río Huaura para el periodo de marzo 2017 a paso diario	167
Ilustración 72: Tabla resumen del modelo FEN 2017 para el elemento J52 (HLG Sayán).....	169
Ilustración 73: Hidrograma resultante en la cuenca del río Chico.....	170
Ilustración 74: Tabla resumen del modelo FEN 2017 para la cuenca del río Chico	170
Ilustración 75: Sección transversal del acueducto Santa Rosa	171
Ilustración 76: Cobertura del Suelo – Año 2000	181
Ilustración 77: Cobertura del Suelo – Año 2010	182
Ilustración 78: Cobertura del Suelo – Año 2020	183
Ilustración 79: Distribución del tipo de cobertura de suelo en la cuenca del río Huaura	184
Ilustración 80: Tendencias de los tipos de cobertura de suelo predominantes.....	185
Ilustración 81: Hidrogramas en la estación HLG-Sayán.....	191
Ilustración 82: Hidrogramas para la subcuenca del río Chico.....	192
Ilustración 83: Hidrogramas para la quebrada Chambara	192
Ilustración 84: Hidrogramas en la desembocadura del río Huaura.....	193
Ilustración 85: Hidrograma S94-S43 utilizado en el modelamiento hidráulico	202
Ilustración 86: Hidrograma S96-S45 utilizado en el modelamiento hidráulico	203
Ilustración 87: Hidrograma S37-S99-S26-S100-S34 utilizado en el modelamiento hidráulico	203
Ilustración 88: Esquema de punto de interés hidrológico del Paquete 4A.....	204
Ilustración 89: Esquema de punto de interés hidrológico del Paquete 4B	205
Ilustración 90: Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas 208	
Ilustración 91: Mapa de Erosión de la cuenca Huaura	211
Ilustración 92: Valores de Erosión para la Región Hidrológica Pacífico 4	213
Ilustración 93: Curva de producción de sedimentos en la cuenca del Río Huaura para diferentes periodos de retorno – Modelo MUSLE.....	217
Ilustración 94: Curva de producción de sedimentos en la cuenca del Río Huaura para diferentes periodos de retorno – Modelo Onstad – Foster.....	222

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estaciones Pluviométricas del área de estudio.....	16
Tabla 2: Registro cronológico de datos disponibles de P _{máx} 24 horas de las estaciones de estudio.....	17
Tabla 3: Estaciones Hidrométricas estudiadas de la cuenca del río Huaura.....	18
Tabla 4: Registro cronológico de datos disponibles de Caudal promedio diario en las estaciones de estudio.....	18
Tabla 5: Ubicación geográfica de la Cuenca Huaura.....	20
Tabla 6: Unidades Hidrográficas de la Cuenca Huaura.....	23
Tabla 7: Clasificación según su capacidad de uso.....	28
Tabla 8: Distribución de la Cobertura Vegetal.....	33
Tabla 9: Clasificación de suelos según su uso mayor.....	38
Tabla 10: Parámetros geomorfológicos de las unidades hidrográficas del río Huaura.....	41
Tabla 11: Parámetros geomorfológicos de los ríos de la cuenca del río Huaura.....	44
Tabla 12: Precipitación total mensual del periodo 1964-2020.....	45
Tabla 13: Precipitación máxima diaria en mm.....	47
Tabla 14: Precipitación máxima en 24 horas en mm (Estudio de Preinversión - SENAMHI, 2021).....	49
Tabla 15: Temperatura mínima mensual para el año promedio (°C).....	51
Tabla 16: Temperatura media mensual para el año promedio (°C).....	52
Tabla 17: Temperatura máxima mensual para el año promedio (°C).....	53
Tabla 18: Clasificación Climática según Thornthwaite.....	56
Tabla 19: Clasificación por Subtipos de Humedad.....	57
Tabla 20: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2025-2065.....	59
Tabla 21: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2060-2100.....	60
Tabla 22: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2025-2065.....	61
Tabla 23: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2060-2100.....	62
Tabla 24: Cambio Delta Medio – Escenario RCP4.5 – Periodo 2025-2065.....	63
Tabla 25: Cambio Delta Medio – Escenario RCP4.5 – Periodo 2060-2100.....	63
Tabla 26: Cambio Delta Medio – Escenario RCP8.5 – Periodo 2025-2065.....	63
Tabla 27: Cambio Delta Medio – Escenario RCP8.5 – Periodo 2060-2100.....	64
Tabla 28: Índice ONI (Oceanic Niño Index) en la región El Niño 3,4.....	66
Tabla 29: Valores de K _n para la prueba de datos dudosos.....	70
Tabla 30: Datos dudosos de P _{máx} 24 horas.....	71
Tabla 31: Precipitación máxima de 24 sin datos dudosos.....	72
Tabla 32: Análisis de independencia, estacionalidad y homogeneidad.....	74
Tabla 33: Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno.....	92
Tabla 34: Duraciones de tormenta de acuerdo con regionalización de Precipitaciones máximas en el Perú.....	98
Tabla 35: Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno en las subcuencas de la cuenca del río Huaura.....	102
Tabla 36: Precipitación Máxima en 24 Horas de Subcuencas – Isoyetas.....	107

Tabla 37: Regionalización de la Pmax24 horas en función de la altitud.....	116
Tabla 38: Precipitación máxima de 24 horas para diferentes TR en función de la altitud.....	117
Tabla 39: Coeficientes de mayoración de caudales.....	121
Tabla 40: Caudales máximos del promedio diario de la estación HLG-Sayán en m3/s.....	121
Tabla 41: Caudales máximos diarios mensuales de la estación HLG-Sayán en m3/s.....	124
Tabla 42: Transformación caudal máximo instantáneo estación Sayán.....	125
Tabla 43: Caudales máximo promedio mensual en la estación Casa Blanca (m3/s).....	127
Tabla 44: Caudales máximos diarios mensuales de la estación Casa Blanca en m3/s.....	128
Tabla 45: Transformación caudal máximo instantáneo estación Casa Blanca.....	129
Tabla 46: Caudales asociados a diferentes TR ajustados con la función Gumbel en la estación Sayán.....	132
Tabla 47: Caudales asociados a diferentes TR ajustados con la función Gumbel en la estación Casa Blanca.....	133
Tabla 48: Tiempos de concentración en las subcuencas del río Huaura.....	136
Tabla 49: Parámetros de transformación con método de Snyder para las subcuencas del río Huaura.....	139
Tabla 50: Caudal medio Mensual en la estación Sayán periodo 1964-1981.....	142
Tabla 51: Caudal medio Mensual en la estación Sayán periodo 2012-2018.....	142
Tabla 52: Parámetros para determinación del flujo base.....	143
Tabla 53: Reclasificación del Mapa de Suelo.....	146
Tabla 54: Reclasificación del Mapa de Cobertura.....	148
Tabla 55: Valores de los grupos hidrológicos.....	148
Tabla 56: Curva Número Condición Normal ANA.....	149
Tabla 57: Comparación y Selección de CN Inicial de Calibración.....	154
Tabla 58: Parámetros de pérdidas en las subcuencas del río Huaura.....	157
Tabla 59: Parámetros de tránsito de ríos de la cuenca del río Huaura.....	161
Tabla 60: Precipitación total diaria para diferentes estaciones.....	163
Tabla 61: Registro de caudales diarios.....	165
Tabla 62: Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe.....	168
Tabla 63: Caudales observados y simulados para obtención del criterio de Nash- Sutcliffe.....	168
Tabla 64: Parámetro de CN inicial y CN calibrado.....	171
Tabla 65: Rangos para la clasificación de las condiciones antecedentes de humedad (AMC).....	174
Tabla 66: Condiciones de humedad antecedente en la cuenca del río Huaura durante un evento FEN.....	174
Tabla 67: Valores de CN para análisis de Sensibilidad.....	177
Tabla 68: Índices de sensibilidad para un periodo de retorno de 100 años en los puntos de interés.....	180
Tabla 69: Índices de sensibilidad para un periodo de retorno de 50 años en los puntos de interés.....	180
Tabla 70: Distribución del tipo de cobertura de suelo en la cuenca del río Huaura.....	184
Tabla 71: Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno en diferentes puntos de interés de la cuenca del río Huaura.....	185
Tabla 72: Resumen global de los caudales del modelo hidrológico.....	186
Tabla 73: Resumen global de los caudales del modelo hidrológico incluyendo cambio climático RCP8.5 D1.....	193

Tabla 74: Caudales con cambio climático – HLG Sayán	200
Tabla 75: Caudales con cambio climático - Río Chico.....	201
Tabla 76: Caudales con cambio climático – Quebrada Chambará.....	201
Tabla 77: Caudales con cambio climático – Desembocadura.....	201
Tabla 78: Caudal RCP 8.5 periodo 2025-2065 utilizado en el modelamiento hidráulico (Fuentes) y puntos de interés del modelamiento hidrológico.....	202
Tabla 79: Clasificación textural de suelos en base a los porcentajes de arena, limo y arcilla	208
Tabla 80: Valores del factor de Erodabilidad (factor K) de acuerdo con la taxonomía y la textura del suelo	209
Tabla 81: Valores de cobertura vegetal (C).....	210
Tabla 82: Factor de prácticas de Conservación (P)	211
Tabla 83: Valores de erosión modelo RUSLE en la cuenca del río Huaura.....	211
Tabla 84: Valores de erosión de modelo RUSLE en toneladas por año en la cuenca del río Huaura.....	212
Tabla 85: Producción de Sedimentos en los puntos de interés según el modelo MUSLE	214
Tabla 86: Resumen de sedimentos por evento asociados a diferentes periodos de retorno - modelo MUSLE	216
Tabla 87: Producción de Sedimentos en los puntos de interés según el modelo Onstad – Foster.....	219
Tabla 88: Resumen de sedimentos por evento asociados a diferentes periodos de retorno – modelo Onstad – Foster	221
Tabla 89: Resumen de caudales sin cambio climático	223

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA Y SEDIMENTOLOGÍA

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente informe forma parte de los Diseños del proyecto denominado “Entrega de las Defensas Ribereñas del río Cañete y río Huaura (Paquete 5)” (en adelante el Proyecto), promovido por la **ARCC** con el soporte de **UKDT**, en el marco de un acuerdo GtG entre Perú y el Reino Unido. Este proyecto es desarrollado por **OHL** quien ha adjudicado, junto **ARCC**, la confección de los diseños a **TYPESA**. El objeto del Proyecto puede resumirse en:

- Alcanzar una capacidad hidráulica suficiente de los ríos Cañete y Huaura para conducir flujos máximos extraordinarios con el mejor periodo de retorno posible sin daños a los bienes ni riesgos para la vida, reduciendo los efectos provocados por el cambio climático y fenómenos naturales que afectan cíclicamente al Perú.

Los principales antecedentes técnicos de este proyecto son los denominados Planes Integrales de Cuenca (PI) redactados por el PSI (Programa Subsectorial de Irrigaciones, adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego). Existe un PI para el río Cañete y otro para el río Huaura.

Los PI, tras diversos estudios técnicos (recogidos en 5 entregables), concretan una serie de actuaciones, a mencionar: defensas ribereñas, diques de protección y canales. Estas quedaron definidas en tres estudios de perfil declarados viables.

Una vez finalizado todo el proceso establecido en la fase RIBA 3 (SCBA), se concluyó que el hidrograma y caudal de diseño óptimo es el asociado al periodo de retorno de 100 años. El presente estudio hidrológico es obtenido del Informe de Modelo Hidrológico de código HY7782-400200-PC-RP-HE-HIDROLOGIA-D04a aprobado en la fase RIBA 3 orientado específicamente al sector donde se emplazan el Paquete 4A y 4B del río Huaura que definen las obras de protección contra las inundaciones entre las progresivas 2+300 a 4+500 y del 48+500 a 52+000 respectivamente, definiendo el muro en la margen izquierda MU-PR-02-I y el dique MU-PR-01A-D para el Paquete 4A y los diques y/o protección de talud, DI-PR-61A-D, DI-PR-61B-D, DI-PR-58B-I, DI-PR-59-I, DI-PR-58C-I, DE-PR-59-I, PT-PR-52BIS-D y muros DI-PR-52BIS-D, MU-PR-53A-D, MU-PR-54A-I, MU-PR-53B-D, MU-PR-54B-I, DI-PR-61BIS-D, DI-PR-57-I para el Paquete 4B.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos generales

- Determinar los caudales máximos instantáneos del río Huaura para diversos periodos de retorno tanto para el cauce principal como para los afluentes y quebradas; que permitan dimensionar adecuadamente la sección hidráulica de encauzamiento de río y el diseño de las obras de protección, atenuando los daños por posibles eventos hidrológicos extremos.
- Respecto al componente de sedimentología, se aplicará el modelo RUSLE (ecuación de pérdida de suelos revisado) que permitirá determinar la erosión en toneladas por hectárea por año promedio; adicionalmente se aplicarán el modelo MUSLE y el modelo de Onstad – Foster, que tienen como fin estimar la producción de sedimentos en toneladas por un evento en específico en este caso serán aplicados para los diferentes eventos hipotéticos asociados a los diferentes periodos de retorno. Estos modelos serán aplicados en toda la extensión de la cuenca por lo que se determinará un valor por cada Subcuenca y/o punto de interés.

1.2.2 Objetivos específicos

Para poder cumplir con los objetivos generales, se debe seguir una serie de procedimientos que se enmarcan en los siguientes objetivos específicos.

- Delimitación de la cuenca y caracterización geomorfológica, determinación de los usos de suelo y tipos de cobertura.
- Análisis hidrometeorológico de las variables climáticas, tomando énfasis en los parámetros de precipitación máxima de 24 horas y caudales máximos instantáneos.
- Determinación de máximas avenidas para diferentes periodos de retorno, considerando los modelos probabilísticos y la metodología de transformación de precipitación escorrentía.
- Modelamiento hidrológico distribuido, considerando la calibración del modelo mediante registro de caudales observados y/o huellas máximas.
- Análisis de sensibilidad del cambio de tipo de cobertura.
- Modelamiento hidrológico tomando en cuenta el impacto del cambio climático.
- Determinación de la producción de sedimentos en distintos puntos de interés.

1.3 UBICACIÓN

1.3.1 Ubicación política

Políticamente la zona de estudio se ubica en el departamento de Lima comprendiendo las provincias de Oyón, Huaura y Huaral los distritos de: Huaura, Caleta de Carquin, Huacho, Hualmay, Santa María, Sayán, Santa Leonor, Checra, Paccho, Leoncio Prado, Oyón, Andajes, Pachangara, Naván, Cochamarca, Caujul, Ihuarí (una parte), siendo la ciudad de Huacho el mayor centro urbano, localizado en la costa y a 145 km al norte de Lima. En la Ilustración 1, se presenta la ubicación política de la cuenca.

**Ilustración 1: Ubicación política de la cuenca del río Huaura
(TYPSA, 2021)**



1.3.2 Ubicación y clasificación hidrográfica

Las principales unidades hidrográficas menores identificadas para el estudio son: Quichas-Ushpa, Pampahuay-Patón, Huaura-Churin, Cochaquillo-Queruraccra, Checras, Huaura-Paccho-Tingo, Yarucaya, Huaura-Sayán, Chico-Auquimarca y Huaura Bajo.

El río Huaura nace en la Vertiente Occidental de la Cordillera de los Andes a más de 5,000 m.s.n.m., y discurre en dirección Oeste para desembocar en el Océano Pacífico. Tiene tributarios como los ríos: Alto Huaura y Checras, y en menor proporción de las quebradas; Paccho, Picunche, río Chico, Yarucaya y Huancoy que constituyen las fuentes de agua superficial más importantes. La capacidad máxima de captación del valle se estima en 40.68 m³/s, valor que incluye las aguas superficiales del río Huaura, aguas de puquíos y filtraciones y agua subterránea.

Entre estas lagunas destacan las de Surasaca, Cochaquillo, Patón, Coyllarcocha y Mancancocha, embalsadas y en actual operación, todas estas lagunas se hallan ubicadas a una altura de 4,500 m.s.n.m. y en la parte alta de la cuenca del río Huaura. El río Huaura en un comienzo recibe el nombre de Quichas, manteniendo esta denominación hasta la localidad de Oyón y la desembocadura del río Pampahuay, a partir de la cual el río se denomina Huaura, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

La oferta de agua para el valle de Huaura es regulada, debido al régimen intermitente del río Huaura que presenta las mayores descargas entre los meses de enero a abril, durante el resto del año el río disminuye considerablemente. En este periodo, época de estiaje, se descargan las aguas de regulación de las lagunas entre los meses de agosto a diciembre.

1.3.3 Accesibilidad

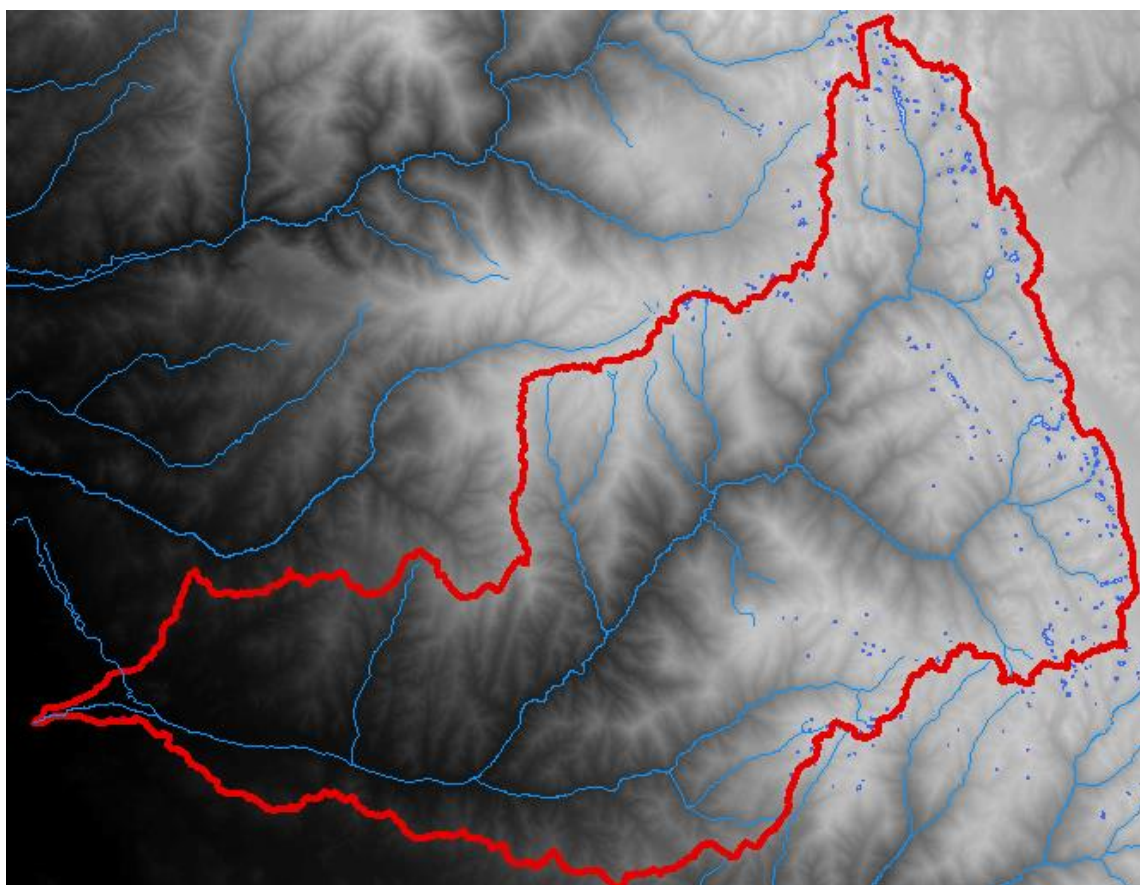
Partiendo de Lima, la localidad de Huacho es la capital de la provincia de Huaura, ubicada al norte de la ciudad de Lima; en el km 152 de la carretera panamericana norte. Esta carretera cruza longitudinalmente la parte baja del valle Huaura, conectándose con el resto de la costa peruana. Desde Huaura y por la margen derecha del río del mismo nombre parte una carretera asfaltada con dirección al este que llega hasta la localidad de Sayán y de ahí por carretera semi asfaltada con dirección al norte se penetra a la zona altoandina de la provincia de Churin y Oyón, y por trocha carrozable con dirección noreste a la sierra de la subcuenca río Chico.

2 INFORMACIÓN BÁSICA

2.1 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Se utilizó la información disponible de ALOS PALSAR para definir el sistema de drenaje de la cuenca del río Huaura, lo que permitió definir la red de drenaje, las unidades hidrográficas y los parámetros geomorfológicos a un buen nivel de detalle necesario para este tipo de estudios, en el considerando que el tamaño de pixel del DEM de ALOS PALSAR tiene una resolución de 12.5 m x 12.5 m. Adicionalmente se utilizará información del IGN de 1/100000 y del Ministerio de Agricultura 1/25000. Ver Mapa HY7782-400200-PC-DR-HE-001-D01 Mapa de la cuenca del río Huaura.

Ilustración 2: Delimitación de la cuenca del río Huaura – ALOS PALSAR



2.2 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

2.2.1 Precipitación máxima 24 horas

La precipitación de la cuenca es registrada en la actualidad por once (11) estaciones pluviométricas: Laguna Surasaca, Oyón, Andajes, Pampa Libre, Paccho, Pichoy, Parquin, Pachamachay, Alcantarilla, UNJF Sanchez Carrión y Sayán. Asimismo, además se cuenta con registros de 5 estaciones ubicadas fuera de la cuenca: Cajatambo, Gorgor, Ambar, Santa Cruz y Pallac.

Para el presente estudio, se ha considerado analizar las siguientes estaciones Alcantarilla, Andajes, Gorgor, Lomas de Lachay, Oyon, Paccho, Pachamachay, Pallac, Pampa Libre, Parquin, Picoy, San Rafael y Santa Cruz, ubicadas dentro y fuera de la cuenca lo cual representaría bien la distribución de las tormentas en todo el ámbito de la cuenca. Se decidió emplear las estaciones que se muestran en la Tabla 1 debido a que representan bien la precipitación areal en toda la cuenca.

En la Tabla 1 se muestra la relación de las estaciones consideradas para el presente estudio con sus respectivas características de código, nombre y ubicación. Los registros históricos de la precipitación se presentan en el Anexo 3.0.

**Tabla 1: Estaciones Pluviométricas del área de estudio
(TYPESA, 2021)**

Estación	Tipo	Este	Norte	Altitud msnm	Cuenca	Dpto.	Periodo completado	Años	Operador
Alcantarilla	PLU	220,246	8,776,111	131	Río Huaura	Lima	1967 – 2020	54	SENAMHI
Andajes	PLU	292,251	8,807,333	3,950	Río Huaura	Lima	1964 – 2020	56	SENAMHI
Gorgor	PLU	276,790	8,825,154	3,025	Río Pativilca	Lima	1980 – 2020	41	SENAMHI
Lomas de Lachay	PLU	241,518	8,743,146	416	Intercuenca del Pacífico	Lima	1964 – 2020	50	SENAMHI
Oyon	PLU	306,538	8,820,211	3,667	Río Huaura	Lima	1964 – 2020	55	SENAMHI
Paccho	PLU	288,722	8,788,872	3,250	Río Huaura	Lima	1965 – 2020	56	SENAMHI
Pachamachay	PLU	290,907	8,776,136	3,175	Río Huaura	Lima	1988 – 2020	33	SENAMHI
Pallac	PLU	302,688	8,744,847	2,367	Río Chancay Huaral	Lima	1964 – 2020	57	SENAMHI
Pampa Libre	PLU	284,653	8,798,163	1,756	Río Huaura	Lima	1971 – 2020	45	SENAMHI
Parquin	PLU	312,072	8,787,171	3,571	Río Huaura	Lima	1965 – 2020	56	SENAMHI
Picoy	PLU	310,199	8,792,139	2,903	Río Huaura	Lima	1967 – 2020	54	SENAMHI
San Rafael	PLU	371,175	8,857,946	2699	Alto Huallaga	Huánuco	1966 – 2020	51	SENAMHI
Santa Cruz	PLU	321,499	8,761,603	3,583	Río Chancay Huaral	Lima	1964 – 2020	57	SENAMHI

Tabla 2: Registro cronológico de datos disponibles de P_{máx} 24 horas de las estaciones de estudio
(TYP SA – SENAMHI, 2021)

[illegible]

2.2.2 Estaciones hidrométricas estudiadas

En la cuenca del río Huaura inicialmente se han estudiado dos (02) estaciones, la estación HLG-Sayán y la estación hidrométrica Casa Blanca, que presentan un registro histórico de datos diarios medios. En la Tabla 3 se muestra información oficial de las estaciones que se han utilizado en el presente estudio. En el anexo 2.1 se presenta la información oficial del SENAMHI y ANA.

**Tabla 3: Estaciones Hidrométricas estudiadas de la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)**

Estación	Río	Operador	Período Observado	Años	Estado	Variable
Sayán	Huaura	SENAMHI	1964 – 1979 1995 – 2009 2013 – 2020	41	Operativa	Caudales medios diarios y caudales promedios máximos mensuales*
Casa Blanca	Huaura	SENAMHI	Ene 1925 – Ago 1968	44	Inoperativa	Caudales medios diarios

(*) La serie de caudales máximos promedios mensuales corresponde al periodo de 2000-2020

Según la ANA (2010) la estación **Casa Blanca** se encontraba ubicada aguas arriba de la toma de la irrigación Santa Rosa. Por lo tanto, los registros que tiene esta estación no han sido afectados por derivaciones importantes, esta estación fue operada por el SENAMHI.

La estación **HLG-Sayán** con registros desde 1964 a 2020, con algunos periodos interrumpidos sin embarco hacen un total de 41 años de registro oficiales del SENAMHI.

El análisis de las series históricas se presenta en el numeral 5.2.1.1

**Tabla 4: Registro cronológico de datos disponibles de Caudal promedio diario en las estaciones de estudio
(TYPESA – SENAMHI – ANA, 2021)**

Nº	ESTACION	NÚMERO DE AÑOS CON DATOS	AÑO											
			1925	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	
1	SAYAN	41												
2	CASA BLANCA	44												

2.2.3 Otras estaciones hidrométricas

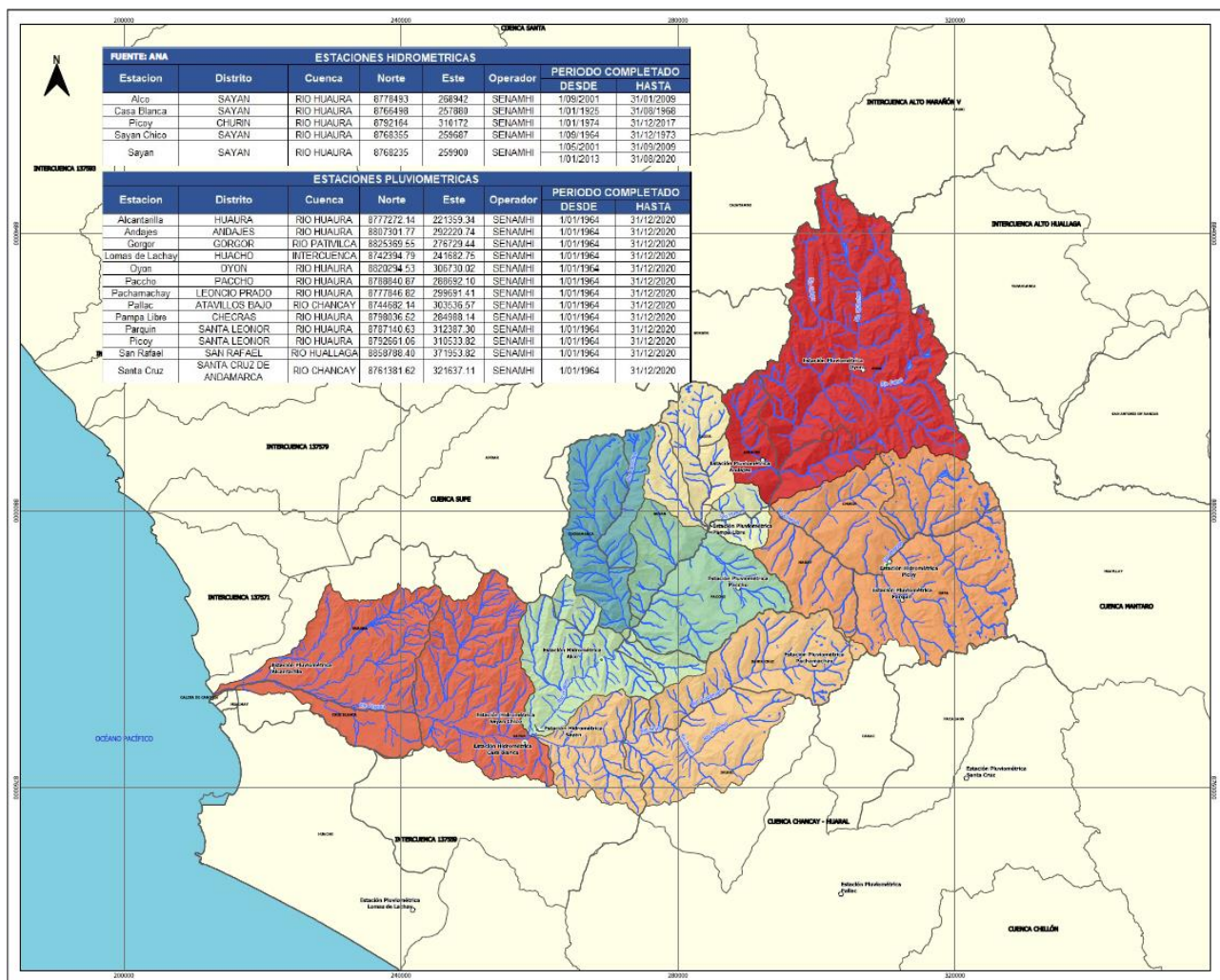
Además, la cuenca Huaura cuenta con otras estaciones hidrométricas que se mencionan de manera referencial, y además se precisa que estas no han sido analizadas por la poca cantidad de años de registro y la poca fiabilidad de los datos, en los siguientes párrafos se menciona una breve descripción de cada estación.

La estación Sayán Chico fue operada por la Junta de Usuarios desde el año 1943 hasta 1973. Actualmente tiene un estado inoperativo, y en su tiempo de operación registraba caudales medios diarios (30 años).

Alco-Sayán, se encuentran actualmente inoperativas, tienen registros de caudales medios diarios; entre 2001 y 2009 teniendo una cantidad de 9 años de registro.

La estación Picoy se encuentra en la zona de cabecera de cuenca, esta tiene registros de caudales medios diarios desde 1974 a 2017 con varios periodos interrumpidos, teniendo muy poca cantidad de datos (10 años), su operación fue realizada por SENAMHI.

Ilustración 3: Estaciones Pluviométricas e Hidrométricas en la cuenca del río Huaura
(TYP SA, 2021, SENAMHI)



3 CUENCA HIDROGRÁFICA

3.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA CUENCA

3.1.1 Descripción general

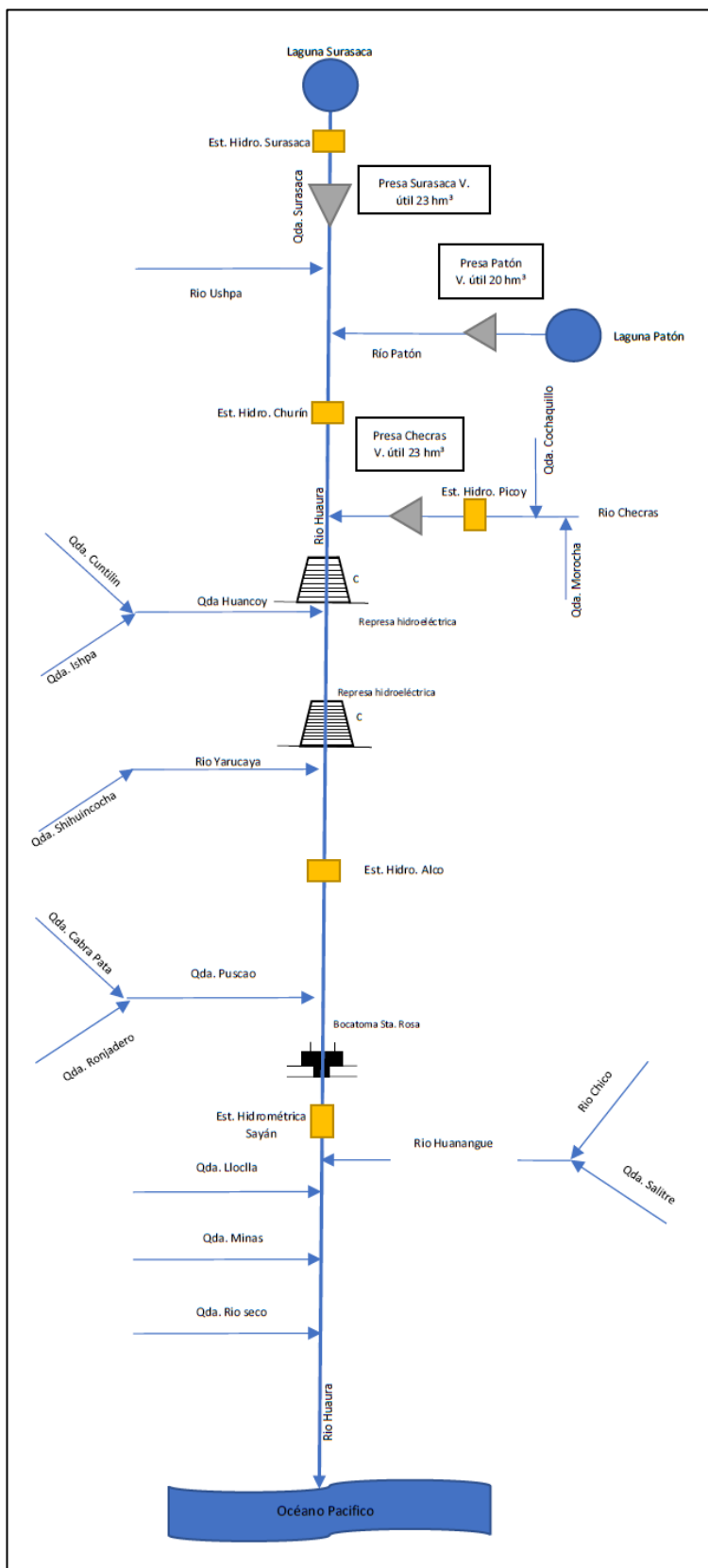
La cuenca del río Huaura ocupa una superficie de 4,336.27 km². Se ubica en la costa central del Perú hacia el norte del departamento de Lima, comprendida entre las coordenadas geográficas 10°27' (8847692 Norte) y 11° 13' (8756028 Norte) de Latitud Sur y los Meridianos 76°32' (328988 Este) y 77° 39' (212856 Este) de Longitud Oeste.

Tabla 5: Ubicación geográfica de la Cuenca Huaura
(ANA, 2012)

Sistema	Datum	Componentes	Valor Mínimo	Valor Máximo
Coordenadas Geográficas UTM	Horizontal WGS84 / UTM Zona 18S	Este (m)	328988	212856
		Norte (m)	8847692	8756028

En la siguiente ilustración se aprecia el esquema de la cuenca del río Huaura. Se debe tener en cuenta que en el modelamiento hidrológico no se ha tomado en cuenta los embalses, los retornos ni extracciones ya que se considera un escenario conservador para la determinación de caudales en eventos extremos.

Ilustración 4: Esquema hidrológico – hidráulico de la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)



3.1.2 Clasificación Pfafstetter

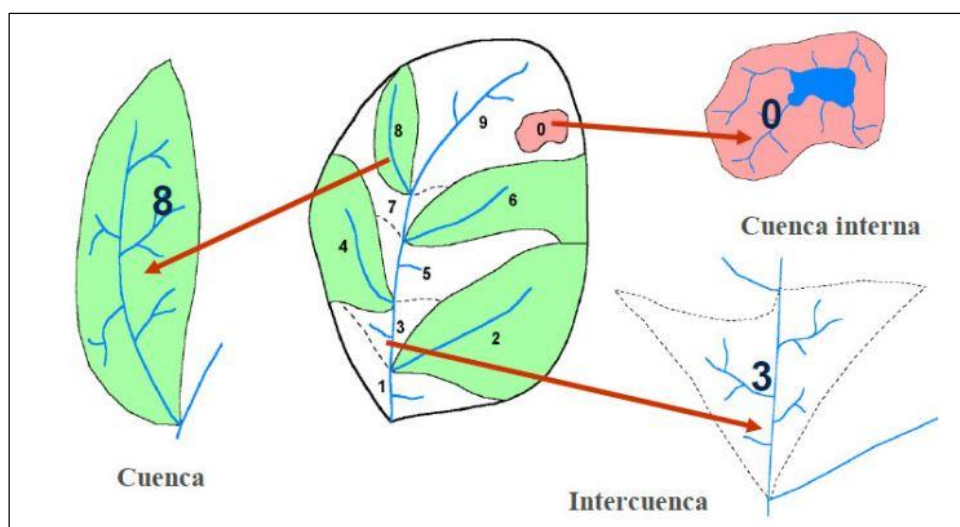
El método Pfafstetter de codificación y delimitación de unidades hidrográficas, es un sistema analítico, organizado y con características de aplicación global, que se basa, principalmente, en la superficie de las unidades de drenaje y de la ubicación de ésta dentro del contexto hidrográfico en el que se encuentra, en relación con las unidades de drenaje vecinas, respondiendo a criterios netamente topológicos.

En 1997, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), ocho años después que el método fue creado (1989), debido a las características ventajosas ya conocidas lo adoptó como sistema de codificación de carácter global. Esto conllevó, a que este sistema, sea actualmente reconocido como estándar internacional.

En la delimitación mediante el Sistema Pfafstetter, se determina dentro de una unidad de drenaje mayor, un flujo o río principales, y cuatro tributarios, cuyas áreas de drenaje sean las mayores dentro del ámbito de esa unidad mayor; quedando el área restante para dar origen a las cinco Inter cuencas.

El sistema Pfafstetter emplea nueve dígitos del sistema decimal (1 al 9) para codificar las nuevas unidades de drenaje obtenidas. Esto quiere decir, que el máximo número de sub-unidades de drenaje que se pueden obtener al dividir una unidad de drenaje mayor, son nueve: cuatro cuencas y cinco intercuencas. A éstas, los códigos le son asignados, siguiendo una dirección que va desde “aguas abajo” hacia “aguas arriba” del río principal, de la unidad de drenaje mayor dividida. Los códigos son repartidos tomando en cuenta el tipo de unidad de drenaje y la ubicación de ésta dentro de la unidad mayor, de la siguiente manera: dígitos pares para las cuencas y dígitos impares para las intercuencas; con lo cual obtendríamos cuatro cuencas con los códigos 2, 4, 6 y 8; y cinco intercuencas con los códigos 1, 3, 5, 7 y 9. Existe un caso especial, cuando se trata de cuencas cerradas o internas, pues a este tipo de unidades se les asigna el dígito 0. En la siguiente ilustración se muestra este procedimiento.

Ilustración 5: Delimitación y codificación de unidades hidrográficas mediante el método Pfafstetter (ANA, 2012)



La aplicación de este sistema en el Perú es de orden imperativo, pues si se desea emprender un proceso de administración eficiente de nuestro territorio de manera integral y sostenida, que mejor inicio, que

organizar coherentemente la distribución territorial de manera natural y ordenada, utilizando el método Pfafstetter, que además de los importantes beneficios que ofrece, nos ayudará a integrarnos en el contexto regional y mundial, que ayudaría en gran medida en el desarrollo del país.

3.1.3 Unidades Hidrográficas

La cuenca del río Huaura es una Unidad Hidrográfica oficial, delimitada y codificada (Pfafstetter) por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2008, 2012), la cual le ha otorgado el código 13756 en un nivel 6. También se ha establecido la codificación y clasificación de sus cursos de agua superficiales y Unidades Hidrográficas menores de orden 7 (ANA, 2011).

En la cuenca Huaura el criterio empleado para la conformación de las subcuencas húmedas, está principalmente basado en la determinación adecuada de las unidades hidrográficas, en ese sentido se conformaron 11 unidades hidrográficas, que, en su conjunto, constituyen la cuenca Huaura, las cuales se muestran en la Tabla siguiente.

Tabla 6: Unidades Hidrográficas de la Cuenca Huaura
(Estudio Hidrológico de la Unidad Hidrológica Huaura - ANA, 2019)

Código Pfafstetter	Unidad Hidrográfica	%	Cauce principal
13756	Huaura	100.0	Río Huaura
137561	Bajo Huaura	18.38	Río Huaura
137562	Huanangue (río Chico)	15.58	Río Huanangue
137563	Medio Bajo Huaura	6.85	Río Huaura
137564	Yarucaya	6.02	Río Yarucaya
137565	Medio Huaura	7.78	Río Huaura
137566	Huancoy	4.47	Río Huancoy
137567	Medio Alto Huaura	1.48	Río Huaura
137568	Checras	18.86	Río Checras
137569	Alto Huaura	20.58	Río Huaura

La división del ámbito de estudio en Unidades Hidrográficas menores facilitara el análisis y la caracterización hidrológica en las siguientes secciones.

3.1.3.1 Yarucaya (137564)

La subcuenca Yarucaya se origina en las lagunas Milpo, Cacanya, Chunchumachay, Shiuincocha, Churacocha. En la margen derecha se ubican las tres primeras lagunas Milpo, Cacanya, Chunchumachay, estas alimentan a la quebrada Cacanya, y a la quebrada Chunchumachay, en la unión de estas dos quebradas dan origen al río principal al río Yarucaya a los 4387 m.s.n.m.

La subcuenca Yarucaya se ubica geográficamente entre los paralelos 10°44'13.2" y 10°56'56.4" de latitud sur y los meridianos 77°02'52.8" y 77°06'39.6" de longitud oeste, hidrográficamente limita por el Norte: Cuenca del río Supe, Sur: Cuenca Media del río Huaura, Este: Sub Cuenca Qda. Huancoy y Oeste: Cuenca del río Supe. Políticamente la subcuenca Yarucaya se encuentra en el departamento de Lima, en la provincia de Oyón, en los distritos de Navan y Cochamarca.

La subcuenca Yarucaya tiene un área 222 km², que representa el 5.13% de la cuenca del río Huaura, tiene un perímetro de 71 km, la altitud media de 3873 m.s.n.m., presenta una pendiente de cauce en el orden 11.5%, una longitud de cauce principal 21 km. El factor de forma es de 0.51 mientras que el coeficiente de compacidad determinado es de 1.32.

En esta subcuenca se encuentran los siguientes pisos ecológicos: desierto perárido Montano Bajo Tropical, desierto árido Montano Tropical, matorral desértico Montano Bajo Tropical, matorral desértico Montano Bajo Tropical y matorral desértico Subalpino Tropical.

La temperatura media anual sobre los 4225 m.s.n.m. (Yarucaya Alto) promedio es de 6.6°C, con un rango entre 5.7°C en julio y 7.3°C en enero. La humedad relativa se promedió anual es de 71.6% variando entre un 65% en el mes de julio y un 78% en el mes de marzo. La velocidad del viento promedio anual es de 3.3 m/s variando entre 3.1 m/s en el mes de febrero y 3.7 m/s en el mes de diciembre.

3.1.3.2 Huancoy (137566)

La subcuenca Huancoy se origina el escurrimiento superficial las lagunas Pailacocha, Verdecocha, Tucto. En la margen derecha se ubica la primera laguna Pailacocha, en la margen izquierda se ubican las otras dos lagunas Verdecocha y Tucto estas alimentan a la quebrada Tucto y a la quebrada Potaca en la unión de estas dos quebradas dan origen a la quebrada principal de la cuenca a la quebrada Huancoy, esta nace a los 3648 m.s.n.m.

La subcuenca Huancoy se ubica geográficamente entre los paralelos 10°40'44.4" y 10°52 '33.6" de latitud sur y los meridianos 76°58 '26.4" y 76°59 '27.6" de longitud oeste, hidrográficamente limita por: Norte: Cuenca del río Supe y Pativilca, Sur: Cuenca Media del río Huaura, Este: Alto Huaura y Oeste: Sub Cuenca Yarucaya. Políticamente la subcuenca Huancoy se encuentra en el departamento de Lima, en la provincia de Oyón, en los distritos: Navan, Andajes, Caujul.

La subcuenca Huancoy tiene una superficie de 194 km² que representa el 4.47% de la cuenca del río Huaura, tiene un perímetro 63 km, la subcuenca es de forma oval alargada y se extiende desde los 1723 m.s.n.m. hasta los 4780 msnm, con una altitud media de 4031 m.s.n.m., presenta una pendiente de cauce en el orden de 12.6%, una longitud de cauce principal de 23 km. El factor de forma es de 0.36 y el coeficiente de compacidad determinado es de 1.26.

En esta subcuenca se encuentran los siguientes pisos ecológicos: matorral desértico Montano Tropical, matorral desértico Montano Bajo Tropical, matorral desértico Subalpino Tropical, monte espinoso Premontano Tropical, y parámetro húmedo Subalpino Tropical.

La temperatura media anual sobre los 2954 m.s.n.m. (Huancayo Bajo) promedio es de 11.7°C, con un rango entre 10,1°C en agosto y 12.6°C en febrero. La humedad relativa se promedió anual es de 70.4% variando entre un 63% en el mes de julio y un 78% en el mes de marzo. La velocidad del viento promedio anual es de 3.3 m/s variando entre 3.0 en el mes de abril y 3.7 en el mes de diciembre.

3.1.3.3 Alto Huaura – Quichas-Ushpa (137569)

La subcuenca Alto Huaura se origina en las lagunas Surasaca, Rupahuay, Vetacocha, Patón, en la margen derecha se encuentran las tres primeras lagunas Surasaca, Rupahuay, Vetacocha; La laguna Surasaca da origen al río Surasaca, las lagunas Rupahuay y Vetacocha dan origen al río Quichas, mientras que en la margen izquierda se encuentra la laguna Paton que origina al río Patón.

La subcuenca Alto Huaura se ubica geográficamente entre los paralelos 76°48'10.8" y 76°53'31.2" de latitud sur y los meridianos 10°25'12" y 10°50'31.2" de longitud Oeste, hidrográficamente limita por el Norte: Intercuenca Alto Marañón y Cuenca del río Pativilca, Sur: subcuenca Checras y Yuracyacu, Este: Intercuenca Alto Huallaga y Mantaro y Oeste: subcuenca Huancayo.

Políticamente la subcuenca Alto Huaura se encuentra en el departamento de Lima, en las provincias de Oyón, en los distritos: Oyón, Pachangara, Andajes.

Esta subcuenca tiene un área de 892 km² que representa el 20.58% de la cuenca del río Huaura, es de forma rectangular alargada y se extiende desde 2100 hasta 5100 m.s.n.m., tiene una altitud media de 4323 m.s.n.m., una pendiente 4.70%, una longitud de cauce principal de 52 km y un perímetro de 167 km., el factor de forma de 0.33 mientras que el coeficiente de compacidad determinado es de 1.57.

En esta subcuenca se ubican los siguientes pisos ecológicos: matorral desértico Montano Tropical, estepa Montano Tropical, bosque seco Montano Bajo Tropical, parámetro húmedo Subalpino Tropical, parámetro pluvial Subalpino Tropical, tundra pluvial Alpino Tropical y Nival Tropical.

La temperatura media anual sobre los 4436 m.s.n.m. (Alto Huaura) promedio es de 5,8°C, con un rango entre 5,1°C en enero y 6,1°C en febrero. La humedad relativa se promedió anual es de 63.7% variando entre un 51% en el mes de julio y un 76% en el mes de marzo. La velocidad del viento promedio anual es de 4.1 m/s variando entre 3.7 en el mes de marzo y 3.7 en el mes de noviembre.

3.1.3.4 Checras (137568)

La subcuenca Checras se origina en la laguna Cochaquillo, entre la unión del río Yuracyacu y Cochaquillo, el cual da origen a río principal Checras, sobre los 3468 m.s.n.m.

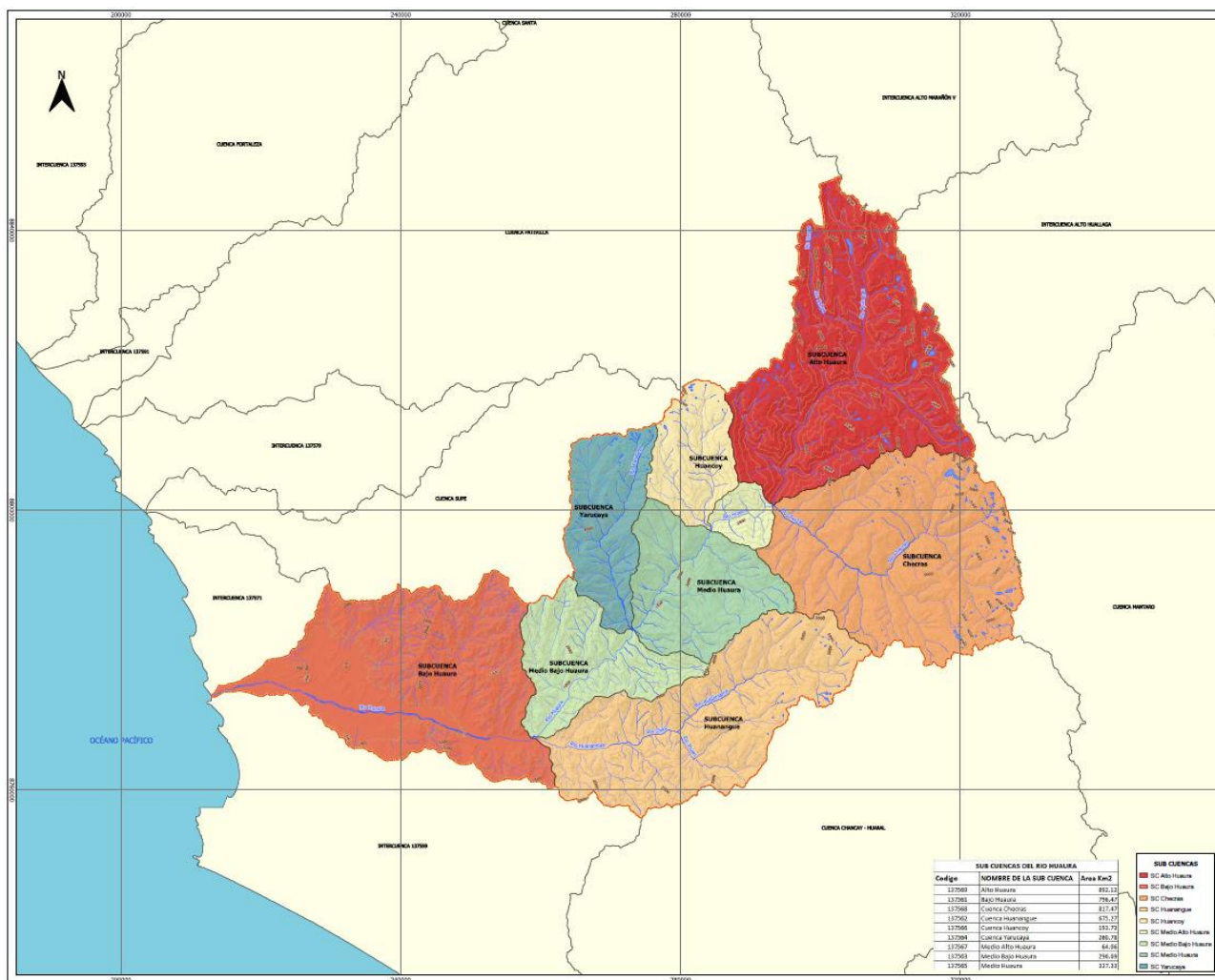
La subcuenca Checras se ubica geográficamente entre los paralelos 76°40'22.8" y 76°43'44.4" de latitud sur y los meridianos 10°46'12" y 11°03'18" de longitud oeste, hidrográficamente limita por el Norte: sub cuenca Alto Huaura, Sur: cuenca del río Chancay-Huaral, Este: sub cuenca Yuracyacu y Oeste: sub cuenca Paccho y sub cuenca Auquimarca; se ubica en el departamento de Lima, en las provincias de Huaura y Oyón, en los distritos de Oyón, Pachangara, Checras, Santa Leonor.

Tiene una superficie de 464 km² y representa el 10.69% de la cuenca del río Huaura, es de forma rectangular alargada y se extiende desde 2124 hasta 5100 msnm., tiene una altitud media de 3932 m.s.n.m., posee una longitud de cauce principal de 24 km y un perímetro de 127 km; una pendiente de 4.2%, el factor de forma es de 0.81 y el coeficiente de compacidad determinado es de 1.65.

En esta subcuenca se encuentran los siguientes pisos ecológicos: matorral desértico Montano Tropical, bosque seco Montano Bajo Tropical, parámetro húmedo Subalpino Tropical, parámetro muy húmedo Subalpino Tropical.

La temperatura media anual sobre los 4303 m.s.n.m. (Checras Alto) promedio es de 6.3°C, con un rango entre 5.5°C en junio y 6.7°C en marzo. La humedad relativa se promedió anual es de 75.87% variando entre un 70% en el mes de julio y un 83% en marzo. La velocidad del viento promedio anual es de 1.5 m/s variando entre 1.1 en febrero y 1.8 en el mes de agosto

**Ilustración 6: Mapa de Unidades Hidrográficas
(Elaboración Propia)**



3.1.4 Fisiografía

El área de la cuenca río Huaura es intervenida de manera intensiva por numerosas actividades de aprovechamiento y explotación de los recursos naturales, causando en muchos casos el deterioro de los mismos y el desequilibrio del medio ambiente. A continuación, se describe los principales usos de la tierra en el ámbito de la cuenca del río Huaura.

Cuenca baja: Al igual que en la mayoría de las cuencas del pacífico en la cuenca baja del río Huaura, se observa un agresivo proceso urbanístico que forma parte de la expansión del área urbana de ciudades como Huacho, Huaura, Caleta de Carquín, Hualmay y Santa María con múltiples usos incluyendo el habitacional, industrial, comercial y de servicios. El proceso de desarrollo a lo largo de la nueva panamericana que cruza longitudinalmente la parte baja de la cuenca, es intensivo, con una fusión de actividades y una interacción permanente entre los poblados. Este espacio está condicionado en su organización por la existencia de tres factores determinantes: el primero, la carretera panamericana, eje integrador norte-sur y corredor económico preponderante en el espacio nacional. El segundo factor es el frente marino cuyo litoral da lugar a la existencia de un conjunto de puertos de gran significación para la actividad turística y extractivo-pesquera. El tercer factor de determinación del espacio es la existencia de los valles costeros de Huaura.

A lo largo del río Huaura pueden identificarse áreas urbanas en desarrollo precario como Ingenio, Acaray, Humaya, Quipico, La Campiña, Santa Rosalía.

Los principales usos de estas tierras en áreas urbanas que pueden identificarse:

- Asentamientos urbanos en la zona correspondiente al área de los valles costeros.
- Asentamientos urbanos en ciudades o poblados a lo largo de la cuenca, sin previsión de servicios de agua potable y alcantarillado. En esta categoría se incluyen usos comerciales y de servicios en centros urbanos o a lo largo de los canales que ingresan a las quebradas.
- Asentamientos precarios en áreas de expansión de poblados, ya sea sobre laderas o sobre quebradas y lechos de los ríos las cuales presentan condiciones de vulnerabilidad ante eventos naturales como huaycos y avenidas.

Cuenca Media: El desarrollo de actividades en esta zona es reducida debido a la topografía accidentada del valle. En la cuenca media del río Huaura se desarrolla la agricultura especialmente frutal como melocotón y manzana, y una mínima ganadería a pequeña escala, sobre todo en lugares cercanos a la naciente de los ríos y a los caminos como Cochamarca, Caujul, Navan y Ayaranga principalmente.

Cuenca Alta: En las partes altas de la cuenca del río Huaura se desarrollan principalmente actividades agrícolas, pecuarias y mineras.

En el caso de Oyón, capital de provincia, la principal actividad es la ganadería, agricultura y silvicultura, en segundo lugar, la minería, mientras que Churin su principal actividad es el turismo, comercio y la agricultura.

La clasificación de suelos en la cuenca del río Huaura está representada en grandes grupos de suelos según su capacidad de uso mayor, que a su vez están divididos en unidades asociadas y no asociadas.

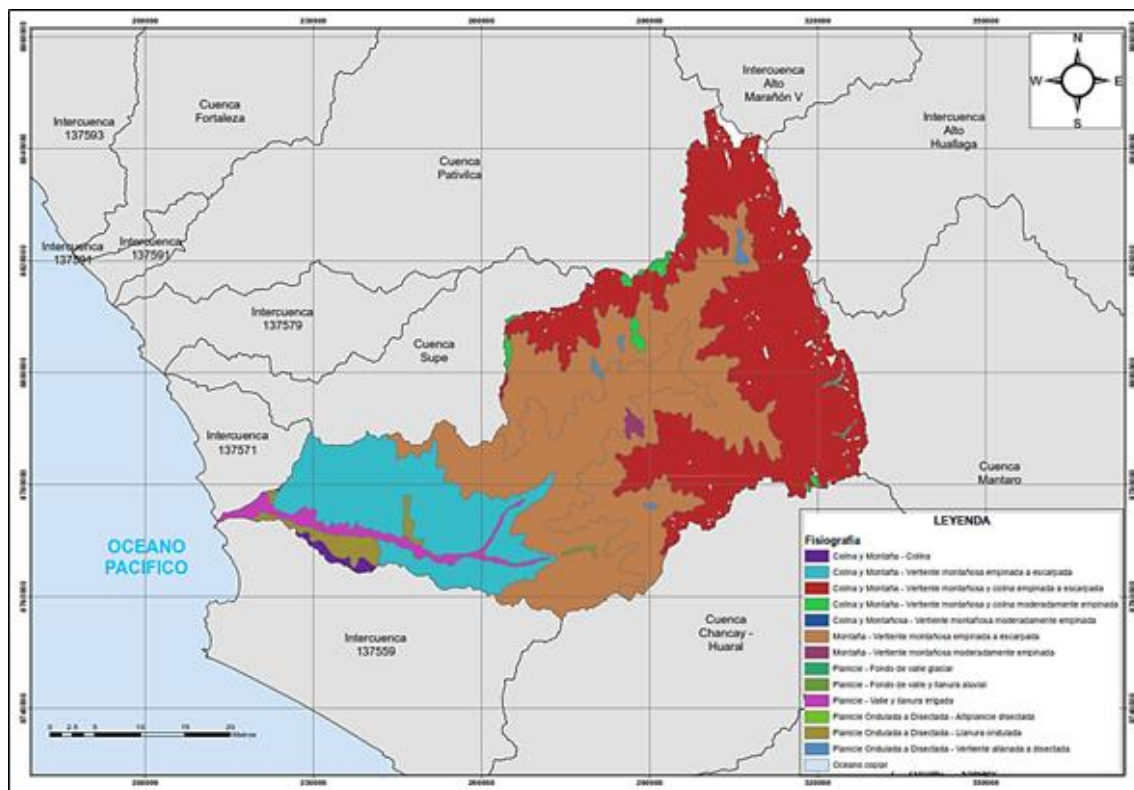
Los grupos de suelos con uso mayor más representativos en la cuenca de río Huaura son los No asociados de uso para Protección en laderas de montañas con formación lítica (Xle) con un 20.67 % del área total de la cuenca; luego le siguen Pastoreo de parámetro, Calidad Agrologica Baja- Protección. Limitación por suelo y erosión (P3sec- Xse) con 20.17 %, y, los asociados de Protección - Pastoreo de parámetro, Calidad Agrologica Baja, limitación por suelo, erosión y clima con 17,52 % del área de la cuenca.

La simbología para la clasificación de suelos según su capacidad de uso es la que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 7: Clasificación según su capacidad de uso
(Evaluación de Recursos Hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura - ANA, 2010)

Símbolo	Denominación
A	Tierras aptas para cultivos
C	Tierras aptas para cultivos permanentes
D	Tierras aptas para pastos
F	Tierras aptas para producción forestal
X	Tierras de protección
1	Calidad agrícola
2	Calidad agrícola media
3	Calidad agrícola baja
(s)	Limitación del suelo
(e)	Limitación por erosión
(w)	Limitación por drenaje
(i)	Limitación por inundación

Ilustración 7: Mapa Fisiográfico
(Evaluación de Recursos Hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura - ANA, 2010)



3.1.5 Uso de Suelo

3.1.6 Cobertura Vegetal

En la cuenca del río Huaura se pueden distinguir ocho tipos de cobertura vegetal: Cultivos agrícolas (Cua), Matorrales/Cultivos Agropecuarios (Ma/Cuap), Planicies Costeros y Estribaciones andinas sin vegetación (PlceSv), Pajonal/Césped de Puna (Pj/Cp), Césped de Puna (Cp), Herbazal de tundra (Ht), Bofedal (Bo), Queñoal (Q).

3.1.6.1 Cultivos Agrícolas (Cua)

Ocupan una superficie de 141.4 km², equivalente al 3.26% del área de la cuenca, se encuentra localizada, en los valles costeros bajo riego. Los principales cultivos son: caña de azúcar que representa el 25.57 %, maíz chala que representa el 16.28%, maíz amarillo duro que representa el 15.82%, frutales diversos con el 3.90%, seguido del espárrago con el 2.66% y otros con el 16.15%.

3.1.6.2 Matorrales/Cultivos Agropecuarios (Ma/Cuap)

Ocupa una superficie de 1424.4 km², equivalente al 32.87% del área de la cuenca, se distribuye a continuación del matorral seco, como una franja angosta que recorre las porciones medias y altas del flanco occidental andino entre los 2900 y 3500 msnm. Las temperaturas medias anuales fluctúan de 9 a 18 °C y las precipitaciones anuales 220 a 1000 mm.

La vegetación se caracteriza por la presencia de asociaciones arbustivas siempre verdes y deciduas con alturas de hasta 4 m. Los matorrales se diferencian según el piso altitudinal que ocupan. En las porciones inferiores, el matorral es carácter xerofítico a base de asociaciones arbustivas que pierden completamente su follaje durante el período seco del año, a excepción del monte ribereño. Se incluyen en este matorral algunas suculentas (cactáceas) y herbáceas de vida efímera. Los arbustos más comunes que tipifican a este matorral son: “Huanarpo” *Jatropha* sp, “Chilca” *Baccharis* sp, *Tillandsia* sp, “cabuya” *Agave americana*, etc., en el grupo de cactáceas se presenta *tarixanthocereus* sp, *haagocereus* sp y *Trchocereus* sp; como matorral ribereño están el carrizo *prhagmytes* sp y el molle *schinus molle*. A continuación del matorral xerofítico se encuentran comunidades arbustivas con follaje caducifolio y comunidades con follaje siempre verde, siendo las más comunes las siguientes: “Chilca” *Baccharis* sp, “Chamana” *Dodonea viscosa*, “huarumo” *Tecoma sambucifolia*, “retama” *Spartium junceum*, “agave” *Agave Americana*, *Puya* sp., etc.

En este matorral se incluyen algunas especies arbóreas que se encuentran en forma dispersa en algunos sectores, especialmente en las áreas influenciadas por los cultivos, tales como: “huarango” *Acacia macracantha*, “molle” *Shinus molle* y “tara” *caesalpineia spinosa*.

Finalmente, en los límites superiores el matorral tiene follaje siempre verde, siendo representado por las siguientes especies: “huarumo” *Tecoma* sp, “manzanita” *Hesperomeles* sp, “mutuy” *Senna* sp, “roque” *Colletia spinosissima*, “chilca” *Baccharis* sp, “tiri” *Miconia* sp, etc.

Este matorral constituye una fuente energética (leña) para los pobladores del campo y al mismo tiempo es un refugio para la fauna silvestre. Así mismo, el estrato herbáceo que tapiza los suelos, está constituido por gramíneas perennes, pastos, que sirven de sustento al ganado.

En este tipo de cobertura vegetal se encuentran en los centros poblados de: La Perla, Tinta, San Martín de Maní, Cochacalla, San Miguel de Huasa, Mirahuay, San Pablo de Ayapampa, Yanco, Huaycho Viejo, Otec, Acopara.

3.1.6.3 Planicies Costeros y Estribaciones Andinas Sin Vegetación (Pl ce Sv)

Son áreas con ausencia de vegetación, conformadas por las planicies del desierto costero y las primeras estribaciones andinas. Se extienden en una superficie de 1128.7 km², que representa el 26.04% del área de la cuenca.

En este tipo de cobertura vegetal se encuentran los centros poblados de Pan Pan, Huambo Grande, YancaTama.

3.1.6.4 Pajonal/Césped de Puna (Pj/Cp)

Se distribuye en las partes altas y frías de la cordillera de los andes, se extiende aproximadamente a partir de los 3800 msnm., las temperaturas medias anuales sufren menos contraste, fluctúa de 1.5 °C a 6 °C, que caracteriza un ambiente húmedo y frío ocupando una superficie de 683,3 km² que representa el 15,77% del área total de la cuenca del río Huaura.

Este tipo de cobertura agrupa dos tipos de asociaciones de herbáceas, el tipo pajonal de puna y el tipo "césped o grass, pegadas al piso. Las especies que tipifican al césped de puna son las siguientes: *Stipa obtusa*, *Calamagrostis* spp, *Stipa – hans-meyeri* y *Festuca weberbaueri*. En las áreas con mayor humedad en el suelo prosperan las especies *Juncus arcticus*, *Calamagrostis* spp, *Carex* spp, *Gentiana sedifolia*, *Gentianell* spp, *Castilleja* spp y *Werneria* spp.

En esta unidad de vegetación también existe inclusiones de comunidades arbustivas, tales como: *Baccharis tricuneata*, *Lupinus aff. Tarapacensis*, *Chuquiraga espinosa* y *Senecio* sp.

En este tipo de cobertura vegetal se encuentran los centros poblados de Rangrapata, Yurac Yacu, Quichas, hacienda Pomaca, Rapaz, Yuracchala, Sacro.

**Ilustración 8: Cobertura de Pajonal Césped de Puna
(Mapa Nacional de Cobertura vegetal – MINIAM)**



3.1.6.5 Césped de Puna (CP)

Se localiza en las partes altas y frías de los andes, aproximadamente sobre los 3800 m.s.n.m. presentado el mismo ambiente climático que los pajonales. Se extienden en una superficie 262.8 km², que representa el 6.06% del área de la cuenca.

Se caracterizan por el predominio de gramíneas, siguiendo en orden de importancia las Cyperaceas, Juncaceas y Leguminosas. Los géneros Calamagrostis y Pycnophyllum domian el estrato superior mientras que las especies de géneros Azorella, Pycnophyllum, Muhlenbergia y Dissanthelium domian el estrato bajo, formaciones de los pajonales, se presentan en determinadas zonas de esta unidad.

En esta formación se encuentra una gran variedad de especies asociadas de acuerdo a variaciones de la topografía, altitud, exposición u otro factor que limita o favorezca la presencia o ausencia de determinadas especies; también es frecuente encontrar algunas pequeñas y medianas áreas hidromórficas, donde predominan en forma absoluta la juncácea Distichia muscoides.

En este tipo de cobertura vegetal se encuentran los centros poblados de Antapampa, Jancapam, Quisquis.

3.1.6.6 Herbazal de Tundra (Ht)

Son áreas donde se desarrollan especies vegetales hemicriptófitas arrosetadas o almohadilladas, entremezcladas con algunas gramíneas de desarrollo muy reducido. Se extiende en una superficie de 226.3 km² que representa el 5.22% del área de la cuenca. En este tipo de cobertura vegetal se encuentran los centros poblados de Uchucchacua, Cagapaqui.

3.1.6.7 Bofedal (Bo)

Los bofedales de tamaño considerable se encuentran ubicados en las partes altas y frías de la cordillera de los andes. Se extiende en una superficie de 8.9 km² que representa el 0.21% del área total de la cuenca.

Presenta similar escenario climático que el césped de puna; se desarrollan en terrenos de topografía plana o depresionada con mal drenaje natural, donde convergen las aguas de las zonas altas ya sea por filtración o por escurrimiento.

En estas áreas donde se acumula una cantidad excesiva de humedad, se mantiene la vegetación tierna y verde casi todo el año, constituyendo el sustento de ovinos y camélidos en épocas de sequía.

El bofedal se caracteriza, por el predominio de especies de la familia Juncaceae, a la que siguen en orden de importancia las Familias Graminae y Compositae, prácticamente está definida por la presencia de especies de los géneros Distichia, Hydrochoeris y Alchemilla; en su composición florística se encuentra especies almohadilladas y no almohadilladas.

3.1.6.8 Queñoales

Se extiende en una superficie 23.9 km² que representa el 0.55% del área total de la cuenca. Se encuentran aproximadamente desde 3000 a 45000 m.s.n.m. y se distribuyen al pie de las cumbres, en los flancos de los cerros de fuertes pendientes, al pie de taludes de derrubio, en biotopos abrigados (montes de arroyada) y generalmente en lugares con afloramientos rocosos, no llegan a establecerse en las planicies dominadas por los pajonales de puna.

El ambiente presenta temperaturas medias anuales que oscilan entre 3 y 12 °C y la precipitación media anual entre 300 y 1000 mm.

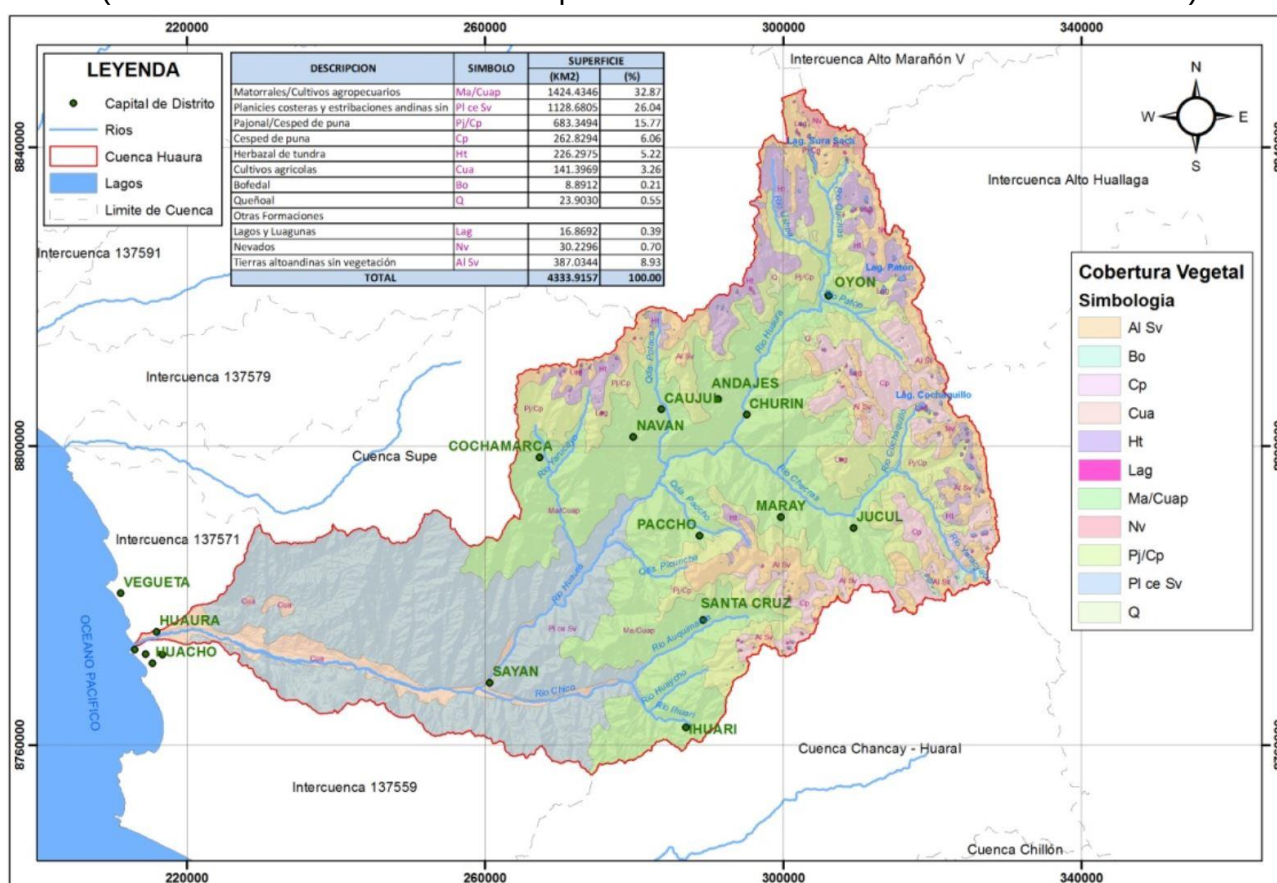
En los queñoales es predominante el género Polylepis conocido localmente como queñoal, quinal, quenual, representado por árboles tortuosos de porte bajo (menos de 8 m de altura). En lugares con fuertes limitaciones climáticas o edáficas, estos bosquecillos se reducen a matorrales, menores de 3 m. Las especies representativas P. incana, P. subsericans, P. weberbaveri.

Tabla 8: Distribución de la Cobertura Vegetal
(Evaluación de Recursos Hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura – ANA 2010)

Descripción	Símbolo	Superficie	
		(km ²)	(%)
Matorrales/Cultivos agropecuarios	Ma/Cuap	1,424	32.9
Planicies costeras y estribaciones andinas sin	PI ce Sv	1,129	26.0
Pajonal/Césped de puna	Pj/Cp	683	15.8
Césped de Puna	Cp	263	6.1
Herbazal de tundra	Ht	226	5.2
Cultivos agrícolas	Cua	141	3.3

Descripción	Símbolo	Superficie	
		(km ²)	(%)
Bofedal	Bo	9	0.2
Queñoal	Q	24	0.6
Lagos y Lagunas	Lag	17	0.4
Nevados	Nv	30	0.7
Tierras altoandinas sin vegetación	Al Sv	387	8.9

Ilustración 9: Mapa de cobertura Vegetal
(Evaluación de Recursos Hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura – ANA 2010)



3.1.6.9 Cultivos en Limpio (A1s(r) – C2s(r))

Conformada principalmente por tierras con aptitud para: a) Cultivos en Limpio (A), de calidad agrologica Alta (1) y b) Cultivos Permanentes (C), de calidad agrológica Media (2); ambas, con limitaciones por suelo (s) y requieren riego continuo (r), presentándose en una proporción de asociación de 75–25%, respectivamente.

Estas tierras han sido cartografiadas en forma localizada en las partes bajas del departamento comprendida dentro las zonas de vida: desierto desecado Subtropical (dd – S), desierto perarido Premontano Tropical (dp – PT), desierto superárido Subtropical (ds – S) localizadas dentro de una fisiografía de terrazas bajas y medias del río Huaura.

Estas tierras presentan suelos desarrollados a partir de materiales aluviales recientes; abarcando regiones costa y sierra. En la costa presenta una Planicie Ondulada a Disectada. En la sierra zona bajo andina presenta una vertiente montañosa empinada escarpada. Este grupo de suelos abarca un área de 146.48 km² que representa el 3.38% del área total de la cuenca.

3.1.6.10 Pastos de Calidad Agrológica Baja – Protección (P3sec -Xse)

Conformada principalmente por tierras con aptitud para: a) Pastos (P) de calidad agrológica Baja (3), con limitaciones por suelo (s), topografía (e) por el riesgo de la erosión, y clima (c) referida a la presencia de bajas temperaturas; y b) Protección (X). Presentándose en una proporción de asociación de 80-20%, respectivamente.

Estas tierras han sido cartografiadas en forma localizada y dispersa en la zona altoandina del departamento, comprendida dentro de las zonas de vida: bosque seco Montano Bajo Tropical (bs – MBT), estepa Montano Tropical (e – MT) matorral desértico Montano Tropical (md – MT), matorral desértico Subalpino Tropical (md – SaT), páramo húmedo Subalpino Tropical (ph – SaT), páramo muy húmedo Subalpino Tropical (pp – SaT), tundra pluvial Alpino Tropical (tp – AT).

Estas tierras presentan suelos desarrollados a partir de materiales coluviales y glaciares; abarcando la región Sierra – Alto Andina, con colina, montaña empinada y fondo valle glaciar. Este grupo de suelos abarca un área de 874.26 km² que representa el 20.17% del área total de la cuenca.

3.1.6.11 Pastos de Calidad Agrológica Baja – Protección (P3se -Xse)

Conformada principalmente por tierras con aptitud para: a) Pastos (P) de calidad agrológica Baja (3), con limitaciones por suelo (s), topografía (e) por el riesgo de la erosión, y b) Protección (X). Presentándose en una proporción de asociación de 80-20%, respectivamente.

Estas tierras han sido cartografiadas en forma localizada y dispersa en la zona altoandina del departamento, comprendida dentro de las zonas de vida: bosque seco Montano Bajo Tropical (bs – MBT), desierto árido Montano Tropical (da – MT), desierto perarido Montano Bajo Tropical (dp – MBT), desierto perarido Premontano Tropical (dp – PT), estepa Montano Tropical (e – MT), monte espinoso Premontano Tropical (mte – PT). Este grupo de suelos abarca un área de 264.89 km² que representa el 6.11% del área total de la cuenca.

3.1.6.12 Protección - formación asociativa lítica – arena (Xld)

Conformado por tierras con aptitud para protección estas tierras se caracterizan por presentar una topografía poco accidentada, se distribuyen en forma localizada, presentándose en zonas de climas per-árido y semi-cálido y árido, determinado por las formaciones ecológicas desierto desecado Subtropical (dd – S), desierto perárido Montano Bajo Subtropical (dp – MBS), desierto superárido Subtropical (ds – S). Se encuentra en la Región Costa y su fisiografía presenta Planicie, Colina, montaña empinada a escarpada. Este grupo de suelos abarca un área de 72,44 km² que representa el 1,67% del área total de la cuenca.

3.1.6.13 Protección - formación lítica (Xle)

Conformado por tierras con aptitud para protección con limitaciones por la erosión (e) estas tierras se caracterizan por presentar una topografía poco accidentada, se distribuyen en forma localizada, presentándose en zonas de climas per-árido y semi-cálido, y árido determinado por las formaciones ecológicas: desierto perárido Montano Bajo Subtropical (dp – MBS), desierto perárido Montano Bajo Tropical (dp – MBT), desierto perárido Premontano Tropical (dp – PT), desierto superárido Subtropical (ds – S), matorral desértico Montano Bajo Tropical (md – MBT), matorral desértico Montano Tropical (md – MT), matorral desértico Premontano Tropical (md – PT), monte espinoso Premontano Tropical (mte – PT). Se encuentra en la región costa y sierra (Bajo Andina y MesoAndina) su fisiografía presenta, planicie de valle, planicie ondulada, vertiente montañosa empinada a escarpada. Este grupo de suelos abarca un área de 895.67 km² que representa el 20.67% del área total de la cuenca.

3.1.6.14 Protección – formación de nivales (Xse)

Conformado por tierras con aptitud para protección con limitaciones por el suelo(s) y la erosión (e) ; estas tierras se caracterizan por presentar una topografía poco accidentada, se distribuyen en forma localizada, presentándose en zonas de climas per-árido y semi-cálido y árido, determinado por las formaciones ecológicas: Nival Tropical (NT), parámetro muy húmedo Subalpino Tropical (pp – SaT), tundra pluvial Alpino Tropical (tp – AT); se encuentra en la región sierra alto andina, su fisiografía está conformada por colinas , montaña, Lagunas y Nevados. Este grupo de suelos abarca un área de 84,92 km² que representa el 1.96% del área total de la cuenca.

3.1.6.15 Protección – Pastoreo Calidad Agrológica Baja (Xse-P3se-A3se)

Conformada principalmente por tierras con aptitud para: a) Protección (X); b) Pastos (P), de calidad agrológica Baja (3), con limitaciones por suelo (s) y erosión (e), por riesgo a la erosión hídrica. Presentándose en una proporción de asociación de 80-15-05% respectivamente.

Estas tierras han sido cartografiadas en forma localizada y continua en las laderas medias de la vertiente Occidental de la Cordillera de los Andes, comprendida dentro de las zonas climáticas, áridas desértica, semiárida-semicálida, templada fría, correspondiente a las zonas de vida: desierto perárido Montano Bajo Tropical (dp – MBT), desierto perárido Premontano Tropical (dp – PT), estepa espinosa Montano Bajo Tropical (ee – MBT), estepa Montano Tropical (e – MT), matorral desértico Montano Bajo Tropical (md – MBT), páramo húmedo Subalpino Tropical (ph – SaT). Se encuentra en la región Sierra Alto Andina, su fisiografía está conformada por colina y vertiente montañosa empinada. Este grupo de suelo abarca un área de 459.18 km² que representa el 10.60% del área total de la cuenca.

3.1.6.16 Protección – Pastoreo de Páramo (Xse -P3sec)

Conformada principalmente por tierras con aptitud para: a) Protección (X); b) Pastos (P), de calidad agrológica Baja (3), con limitaciones por suelo (s) erosión (e) y clima(c), presentándose en una proporción de asociación de 80-20% respectivamente.

Estas tierras han sido cartografiadas en forma localizada y continua en las laderas medias de la vertiente occidental de la cordillera de los andes, comprendida dentro de las zonas climáticas, árida desértica, semiárida-semicálida, templada fría, correspondiente a las zonas de vida: estepa Montano Tropical (e – MT), matorral desértico Montano Tropical (md – MT), matorral desértico Subalpino Tropical (md – SaT), Nival Tropical (NT), parámetro húmedo Subalpino Tropical (ph – SaT), tundra pluvial Alpino Tropical (tp – AT). Se encuentra en la región Sierra Alto Andina, su fisiografía está conformada por colina, montaña y fondo de valle glaciar. Este grupo de suelo abarca un área de 759.38 km² que representa el 17.52% del área total de la cuenca.

3.1.6.17 Protección – Pastoreo Calidad Agrícola Baja (Xse-P3sec-A3sec)

Conformada principalmente por tierras con aptitud para: a) Protección (X); b) Pastos (P), de calidad agrologica Baja (3), con limitaciones por suelo (s) erosión(e) y clima (c) por riesgo a la erosión hídrica. Presentándose en una proporción de asociación de 75-15-10% respectivamente.

Estas tierras han sido cartografiadas en forma localizada y continua en las laderas medias de la vertiente occidental de la cordillera de los andes, comprendida dentro de las zonas climáticas, áridas desértica, semiáridasemicálida, templada fría, correspondiente a las zonas de vida: bosque seco Montano Bajo Tropical (bs – MBT), desierto árido Montano Tropical (da – MT), desierto perárido Montano Bajo Tropical (dp – MBT), estepa Montano Tropical (e – MT), matorral desértico Montano Bajo Tropical (md – MBT), monte espinoso Premontano Tropical (mte – PT), páramo húmedo Subalpino Tropical (ph – SaT). Se encuentra en la región sierra, en las zonas Bajoandina, Mesoandina y Altoandina, su fisiografía está compuesta por planicie ondulada a disectada, colina y montañas. Este grupo de suelo abarca un área de 643.92 km² que representa el 14.86% del área total de la cuenca.

3.1.6.18 Protección - Pastos Temporales (Xse -P3se(t))

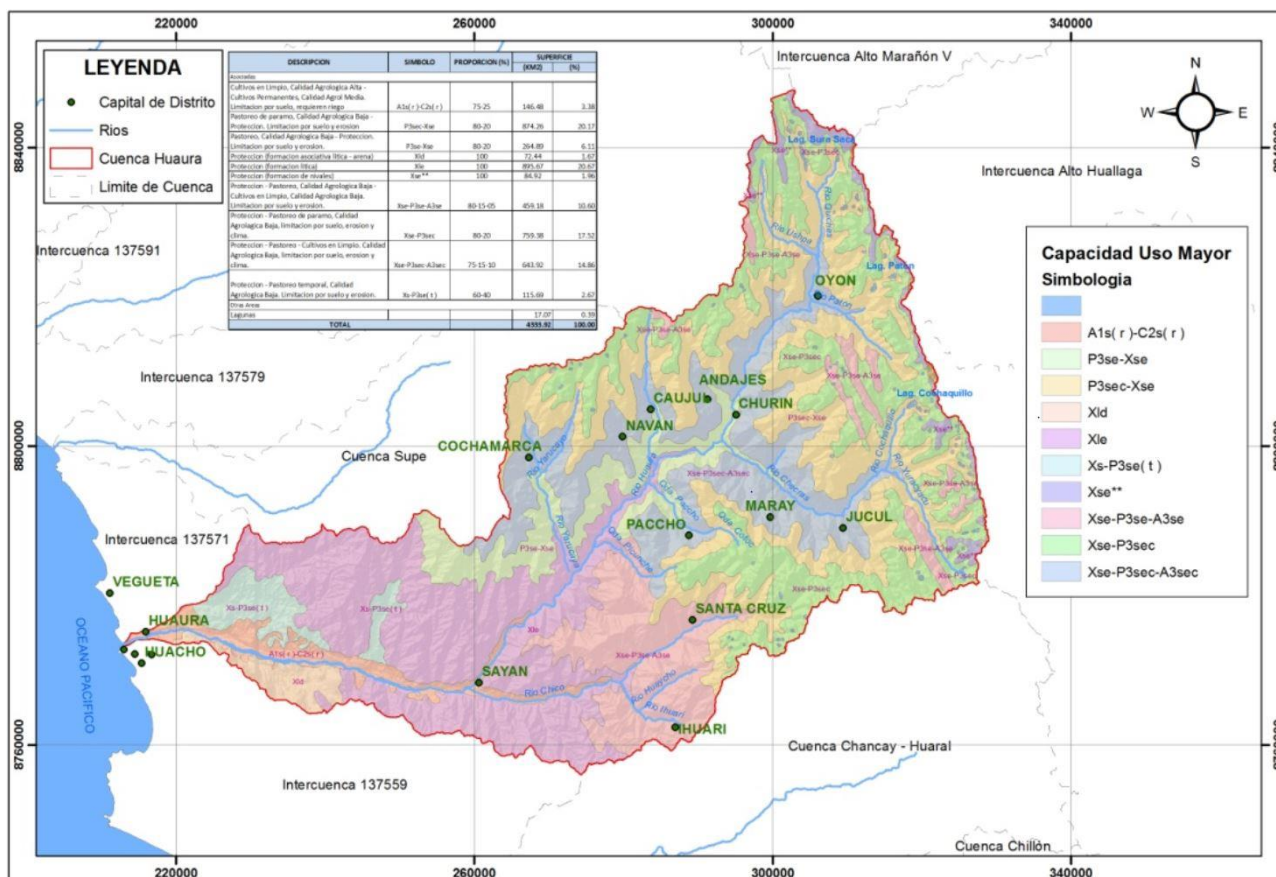
Conformada principalmente por tierras con aptitud para: a) Protección (X); b) Pastos (P), de calidad agrológica Baja (3), para pastoreo temporal (t), con limitaciones por suelo (s) y topografía (e), por riesgo a la erosión hídrica. Presentándose en una proporción de asociación de 60-40% respectivamente.

Estas tierras han sido cartografiadas en forma localizada y continua en las laderas medias de la vertiente occidental de la cordillera de los andes, comprendida dentro de las zonas climáticas, árida desértica, semiáridasemicálida, templada fría, correspondiente a las zonas de vida: desierto desecado Subtropical (dd – S), desierto perárido Montano Bajo Subtropical (dp – MBS), desierto perárido Premontano Tropical (dp – PT), desierto superárido Subtropical (ds – S). Se encuentra en la región costa, su fisiografía está compuesta por Planicie ondulada a disectada, colina y montaña. Este grupo de suelo abarca un área de 115.69 km² que representa el 2.67% del área total de la cuenca.

Tabla 9: Clasificación de suelos según su uso mayor
(Evaluación de Recursos Hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura – ANA 2010)

Descripción	Símbolo	Proporción (%)	Superficie	
			(km ²)	(%)
Cultivos en Limpio, Calidad Agrologica Alta – Cultivos Permanentes, Calidad Agrol Media. Limitacion por suelo, requieren riego.	A1s(r)-C2s(r)	75-25	146.5	3.4
Pastoreo de paramo, Calidad Agrologica Baja - Protección. Limitacion por suelo y erosión	P3sec-Xse	80-20	874.3	20.2
Pastoreo, Calidad Agrologica Baja - Protección. Limitacion por suelo y erosión.	P3se-Xse	80-20	264.9	6.1
Protección (formación asociativa lítica - arena)	Xld	100	72.4	1.7
Protección (formación lítica)	Xle	100	895.7	20.7
Protección (formación de nivales)	Xse**	100	84.9	2.0
Protección - Pastoreo, Calidad Agrologica Baja -Cultivos en Limpio, Calidad Agrologica Baja. Limitacion por suelo y erosión.	Xse-P3se-A3se	80-15-05	459.2	10.6
Protección - Pastoreo de paramo, Calidad Agrolagica Baja, limitación por suelo, erosión y clima.	Xse-P3sec	80-20	759.4	17.5
Protección - Pastoreo - Cultivos en Limpio. Calidad Agrologica Baja, limitación por suelo, erosión y clima.	Xse-P3sec-A3sec	75-15-10	643.9	14.9
Protección - Pastoreo temporal, Calidad Agrologica Baja. limitación por suelo y erosión	Xs-P3se(t)	60-40	115.7	2.7
Lagunas			17.07	0.4

Ilustración 10: Clasificación según su capacidad de uso
(Evaluación de Recursos Hídricos superficiales en la cuenca del río Huaura – ANA 2010)



3.2 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA

Sobre la cartografía disponible se delimitó la cuenca del río Huaura, tanto para su cuenca total, como para las subcuencas receptoras de la estación Sayán y secciones de interés. Del mismo modo, se delimitó las subcuencas principales, identificando y evaluando un total de 95 subcuencas para fines del modelamiento hidrológico en comparación con las 9 unidades hidrográficas delimitadas por el ANA, determinándose luego las áreas de cada una de ellas, así como sus principales parámetros fisiográficos, los que permiten proporcionar un mayor conocimiento de la respuesta de dicha cuenca ante los fenómenos meteorológicos.

Tabla 10: Parámetros geomorfológicos de las unidades hidrográficas del río Huaura
(TYPESA, 2021)

N°	Nombre	Nombre Quebrada/Río	Long. corriente máxima (km)	Pendiente corriente máxima (m/m)	Long. corriente máxima desde el centroide (km)	Pendiente corriente máxima desde el centroide (m/m)	Pendiente media subcuenca (m/m)	Desnivel (m)	Ratio de desnivel	Ratio de Elongación	Densidad de la red de drenaje (m/m)	Área (km2)	Perímetro (km)	Elev. media (msnm)	Elev. mínima (msnm)	Elev. máxima (msnm)
1	S1	R. Surasaca	18.62	0.062	8.176	0.028	0.460	1455	0.078	0.470	0.127	60.17	50.87	4,712	4,145	5,595
2	S2	R. Quichas	13.31	0.066	6.438	0.019	0.549	1457	0.109	0.525	0.128	38.32	40.25	4,662	4,145	5,595
3	S3	R. Ushpa	24.56	0.065	11.707	0.062	0.528	1751	0.071	0.458	0.136	99.25	71.17	4,617	3,582	5,331
4	S4	Q. Guengue	11.56	0.116	5.247	0.068	0.488	1348	0.117	0.590	0.093	36.55	37.47	4,609	3,952	5,294
5	S5	Q. Punco	12.28	0.111	5.845	0.116	0.517	1563	0.127	0.472	0.039	26.42	33.40	4,490	3,548	5,108
6	S6	R. Patón	20.34	0.069	8.912	0.067	0.548	1658	0.082	0.492	0.146	78.83	68.55	4,552	3,644	5,300
7	S7	Q. Pirihuayacuta	12.73	0.160	4.857	0.126	0.603	2041	0.160	0.581	0.065	42.95	41.45	4,360	3,058	5,107
8	S8	Q. Jocoparayoc	20.21	0.140	10.043	0.138	0.474	2854	0.141	0.404	0.192	52.41	57.02	3,700	2,050	4,902
9	S9	Q. Cunuc	14.54	0.141	7.271	0.189	0.472	2155	0.148	0.544	0.122	49.21	46.34	4,347	2,743	4,912
10	S10	Q. Huancoy	28.18	0.113	13.655	0.119	0.496	3422	0.121	0.558	0.148	194.33	83.96	4,033	1,722	5,133
11	S11	Q. Pucayaco	20.09	0.123	8.824	0.125	0.512	2556	0.127	0.516	0.141	84.41	59.97	4,063	2,310	4,860
12	S12	R. Pimpahuay	19.75	0.071	8.959	0.062	0.514	1643	0.083	0.507	0.125	78.63	62.17	4,599	3,651	5,286
13	S13	Q. Pachangara	22.87	0.120	11.777	0.129	0.569	2878	0.126	0.433	0.174	76.94	63.60	4,241	2,316	5,169
14	S14	R. Shinhuincocha	19.93	0.116	10.699	0.121	0.405	2336	0.117	0.496	0.135	76.64	55.91	4,239	2,661	4,997
15	S15	R. Yarucaya	20.84	0.111	9.796	0.113	0.478	2361	0.113	0.458	0.154	71.50	59.34	4,156	2,672	5,012
16	S16	Q. Shochura	17.04	0.155	6.349	0.094	0.463	2652	0.156	0.517	0.129	60.93	53.39	3,090	2,049	4,696
17	S17	R. Cochaquillo	18.73	0.096	8.121	0.093	0.482	1826	0.097	0.564	0.106	87.59	59.65	4,609	3,460	5,274
18	S18	R. Cayash	21.52	0.131	10.226	0.120	0.579	2856	0.133	0.479	0.154	83.39	60.60	4,121	2,375	5,228
19	S19	Q. Morococha	17.16	0.075	8.501	0.082	0.525	1637	0.095	0.511	0.131	60.37	53.13	4,617	3,785	5,283
20	S20	Q. Usura	13.45	0.200	6.789	0.171	0.526	2745	0.204	0.427	0.049	25.93	38.15	3,978	2,463	5,204
21	S21	Q. Quisa	12.41	0.260	6.611	0.156	0.655	3220	0.260	0.646	0.021	50.44	38.69	2,939	1,464	4,668
22	S22	Q. Patacancha	11.19	0.063	6.587	0.046	0.453	1067	0.095	0.597	0.119	35.01	36.88	4,697	4,224	5,290
23	S23	Q. Paccho	20.62	0.171	9.807	0.131	0.516	3556	0.172	0.568	0.104	107.65	63.34	3,668	1,628	5,173
24	S24	Q. Riguarco	16.14	0.144	7.839	0.151	0.490	2334	0.145	0.487	0.102	48.46	45.27	4,164	2,682	5,015
25	S25	Q. Palca	18.50	0.086	8.579	0.126	0.503	1880	0.102	0.438	0.141	51.57	49.42	4,588	3,303	5,184
26	S26	Q. Rio Seco	32.52	0.057	17.884	0.021	0.363	2058	0.063	0.357	0.217	106.05	93.16	806	157	2,213
27	S27	Q. Huaranguito	17.94	0.129	8.635	0.058	0.507	2680	0.149	0.641	0.082	103.70	64.53	1,799	755	3,431
28	S28	R. Yanama	15.02	0.047	6.651	0.042	0.413	954	0.064	0.499	0.145	44.19	41.30	4,733	4,224	5,169
29	S29	Q. Queruracra	14.21	0.115	6.751	0.127	0.466	1762	0.124	0.551	0.107	48.13	44.22	4,467	3,303	5,059
30	S30	Q. Picunche	17.10	0.211	9.439	0.126	0.573	3688	0.216	0.511	0.152	59.99	50.24	3,164	1,270	4,960
31	S31	Q. Cochacalla	14.82	0.200	8.033	0.092	0.630	2969	0.200	0.456	0.168	35.94	39.06	2,047	878	3,847
32	S33	Q. Puscao	18.44	0.166	8.200	0.087	0.636	3086	0.167	0.532	0.177	75.67	58.96	2,252	981	4,066
33	S34	R. Huaura	22.59	0.042	12.300	0.020	0.265	1153	0.051	0.348	0.215	48.65	58.97	470	101	1,252
34	S36	Q. Viscachaca	11.80	0.120	5.566	0.120	0.486	1477	0.125	0.505	0.067	27.84	32.25	4,643	3,730	5,206
35	S37	Q. Minas	27.48	0.067	15.146	0.019	0.317	1889	0.069	0.358	0.233	75.92	71.44	683	180	2,068
36	S38	Q. Canguay	10.53	0.228	6.230	0.102	0.673	2508	0.238	0.551	0.081	26.41	30.37	2,160	1,035	3,532
37	S39	Q. Carricillo	16.04	0.125	8.316	0.063	0.518	2002	0.125	0.411	0.087	34.16	38.34	1,497	757	2,756
38	S40	Q. Parán	15.22	0.196	8.863	0.110	0.668	3134	0.206	0.451	0.173	37.10	41.52	2,579	1,085	4,217
39	S41	Q. Anco	14.04	0.093	5.406	0.111	0.391	1370	0.098	0.598	0.084	55.37	48.02	4,634	3,740	5,099
40	S42	R. Huaura	15.33	0.068	8.290	0.017	0.296	1090	0.071	0.382	0.062	26.95	40.88	568	264	1,349
41	S43	Q. Calambacu	14.50	0.100	7.590	0.057	0.438	1455	0.100	0.416	0.105	28.58	37.21	1,227	551	2,002
42	S45	R. Huaura	11.61	0.046	6.206	0.026	0.172	572	0.049	0.497	0.079	26.16	34.44	581	324	895

N°	Nombre	Nombre Quebrada/Río	Long. corriente máxima (km)	Pendiente corriente máxima (m/m)	Long. corriente máxima desde el centroide (km)	Pendiente corriente máxima desde el centroide (m/m)	Pendiente media subcuenca (m/m)	Desnivel (m)	Ratio de desnivel	Ratio de Elongación	Densidad de la red de drenaje (m/m)	Área (km2)	Perímetro (km)	Elev. media (msnm)	Elev. mínima (msnm)	Elev. máxima (msnm)
43	S46	Q. Canguay	14.12	0.146	7.033	0.073	0.534	2055	0.146	0.427	0.105	28.59	37.09	1,614	801	2,853
44	S47	Q. Quipo	16.10	0.112	8.155	0.088	0.493	1804	0.112	0.521	0.132	55.26	46.57	2,201	1,197	2,998
45	S49	Q. La Mina	13.90	0.127	7.785	0.065	0.505	1765	0.127	0.553	0.108	46.37	41.47	1,760	1,006	2,775
46	S51	R. Yuracyacu	15.27	0.104	6.291	0.061	0.579	1643	0.108	0.491	0.212	44.07	44.95	4,524	3,785	5,285
47	S53	Q. Puscao	11.20	0.147	5.615	0.076	0.518	1644	0.147	0.424	0.187	17.68	32.14	1,435	785	2,411
48	S54	R. Checras	6.02	0.202	2.322	0.081	0.567	1587	0.263	0.620	0.359	10.94	20.30	3,629	2,939	4,519
49	S55	Q. Pushcaragra	9.69	0.109	5.064	0.099	0.418	1147	0.118	0.469	0.247	16.23	26.42	4,526	3,951	5,094
50	S56	Q. San Guillermo	14.58	0.091	8.418	0.031	0.362	1323	0.091	0.430	0.370	30.82	45.76	857	403	1,726
51	S57	R. Pampahuay	10.47	0.154	3.995	0.052	0.511	1640	0.157	0.600	0.176	31.03	37.47	4,147	3,376	4,975
52	S58	Q. Tarayaco	7.13	0.159	2.926	0.075	0.559	1415	0.199	0.592	0.352	13.99	20.20	2,278	1,708	3,108
53	S59	R. Yarucaya	22.64	0.134	10.516	0.091	0.638	3141	0.139	0.530	0.150	113.03	71.78	2,898	1,172	4,306
54	S60	Q. Anco	25.09	0.127	10.944	0.072	0.553	3271	0.130	0.531	0.128	139.21	72.36	3,360	1,696	4,964
55	S61	R. Quichas	9.85	0.146	4.526	0.153	0.540	1537	0.156	0.577	0.236	25.37	34.67	4,401	3,582	5,091
56	S62	R. Yuracyacu	13.10	0.133	6.967	0.125	0.614	1799	0.137	0.408	0.076	22.44	35.65	4,511	3,463	5,255
57	S63	R. Yuracyacu	13.85	0.137	4.510	0.063	0.559	2098	0.151	0.657	0.121	65.02	49.40	4,148	3,024	5,106
58	S65	R. Quichas	3.94	0.297	1.779	0.049	0.471	1167	0.296	0.633	0.317	4.88	15.52	3,922	3,550	4,713
59	S66	R. Quichas	8.24	0.187	3.067	0.037	0.495	1544	0.187	0.563	0.311	16.90	24.90	3,900	3,376	4,865
60	S67	R. Yuracyacu	3.65	0.374	1.203	0.051	0.630	1383	0.379	0.613	0.488	3.92	13.35	3,432	2,940	4,300
61	S68	R. Huaura	12.55	0.153	5.997	0.092	0.638	1920	0.153	0.475	0.236	27.88	36.40	4,072	3,058	4,969
62	S69	R. Checras	16.68	0.132	6.127	0.100	0.500	2215	0.133	0.458	0.115	45.90	60.37	3,921	2,679	4,891
63	S70	R. Chico	12.82	0.180	7.781	0.067	0.573	2338	0.182	0.592	0.214	45.17	35.64	2,050	1,199	3,535
64	S71	R. Huaura	17.41	0.125	9.960	0.083	0.647	2402	0.138	0.456	0.166	49.39	43.17	3,950	2,743	5,142
65	S72	R. Checras	13.16	0.202	2.916	0.051	0.540	2696	0.205	0.649	0.107	57.36	57.50	3,726	2,463	5,161
66	S73	R. Checras	7.13	0.237	2.014	0.024	0.489	1689	0.237	0.557	0.216	12.41	21.82	3,057	2,373	4,044
67	S74	R. Huanangue	12.24	0.151	6.788	0.059	0.512	1842	0.151	0.493	0.149	28.58	33.57	1,606	1,012	2,850
68	S75	R. Huaura	10.48	0.173	5.029	0.037	0.737	2450	0.234	0.592	0.270	30.28	32.32	3,397	2,322	4,775
69	S76	R. Checras	15.43	0.171	7.001	0.058	0.515	2698	0.175	0.620	0.120	71.81	56.62	3,333	2,123	4,812
70	S77	R. Huanangue	11.13	0.129	3.847	0.055	0.433	1449	0.130	0.563	0.176	30.84	34.59	1,366	803	2,248
71	S78	R. Huaura	0.40	0.285	0.172	0.064	0.375	136	0.339	0.644	5.786	0.05	1.48	2,331	2,305	2,435
72	S79	R. Huanangue	13.86	0.098	7.203	0.041	0.416	1359	0.098	0.538	0.122	43.68	42.29	1,141	631	1,991
73	S80	R. Huaura	2.87	0.351	0.440	0.034	0.551	1006	0.351	0.537	0.607	1.86	8.95	2,556	2,256	3,219
74	S81	R. Huaura	7.88	0.254	3.162	0.028	0.647	2075	0.263	0.562	0.307	15.40	22.65	2,897	2,123	4,191
75	S82	R. Huaura	17.52	0.161	6.536	0.034	0.648	3028	0.173	0.517	0.188	64.35	43.67	2,989	1,722	4,746
76	S83	R. Huaura	7.02	0.239	2.242	0.023	0.640	1969	0.280	0.491	0.330	9.35	19.02	2,330	1,628	3,587
77	S84	R. Huaura	8.13	0.218	2.902	0.027	0.769	2390	0.294	0.602	0.292	18.79	24.75	2,353	1,460	3,848
78	S85	R. Huaura	12.84	0.210	3.246	0.056	0.648	2703	0.211	0.627	0.159	50.90	50.67	2,403	1,274	3,972
79	S86	R. Huaura	8.86	0.200	3.251	0.013	0.671	2251	0.254	0.620	0.223	23.66	29.69	1,917	1,172	3,423
80	S87	R. Huaura	11.06	0.246	6.430	0.110	0.711	2765	0.250	0.452	0.120	19.66	27.72	2,222	1,085	3,843
81	S88	R. Huaura	3.97	0.285	1.332	0.020	0.577	1164	0.293	0.672	0.413	5.58	15.00	1,433	1,035	2,163
82	S89	R. Huaura	8.75	0.169	1.283	0.012	0.645	1699	0.194	0.648	0.171	25.22	36.02	1,632	948	2,636
83	S90	R. Huaura	8.16	0.163	2.926	0.014	0.624	1497	0.183	0.585	0.278	17.93	27.54	1,402	877	2,367
84	S91	R. Huaura	7.08	0.188	4.320	0.042	0.538	1549	0.219	0.536	0.420	11.30	21.67	1,189	779	2,309
85	S92	R. Huaura	10.62	0.131	4.537	0.015	0.477	1444	0.136	0.571	0.264	28.88	30.94	1,046	646	2,086
86	S93	R. Huaura	3.06	0.118	1.485	0.018	0.251	365	0.119	0.463	0.715	1.58	8.42	706	631	995
87	S94	R. Huaura	13.05	0.106	4.705	0.043	0.416	1401	0.107	0.592	0.119	46.83	47.93	1,041	551	1,946

N°	Nombre	Nombre Quebrada/Río	Long. corriente máxima (km)	Pendiente corriente máxima (m/m)	Long. corriente máxima desde el centroide (km)	Pendiente corriente máxima desde el centroide (m/m)	Pendiente media subcuenca (m/m)	Desnivel (m)	Ratio de desnivel	Ratio de Elongación	Densidad de la red de drenaje (m/m)	Área (km2)	Perímetro (km)	Elev. media (msnm)	Elev. mínima (msnm)	Elev. máxima (msnm)
88	S95	R. Huaura	20.99	0.053	7.542	0.012	0.330	1304	0.062	0.582	0.103	117.12	74.67	756	402	1,704
89	S96	R. Huaura	17.49	0.073	8.650	0.015	0.321	1287	0.074	0.395	0.178	37.53	47.43	650	323	1,609
90	S97	R. Huaura	11.03	0.048	4.301	0.018	0.164	566	0.051	0.563	0.169	30.23	44.83	405	264	822
91	S98	R. Huaura	15.87	0.039	5.863	0.012	0.167	631	0.040	0.476	0.164	44.85	50.78	324	179	805
92	S99	R. Huaura	4.17	0.026	1.941	0.019	0.113	208	0.050	0.448	0.757	2.74	12.02	207	157	357
93	S100	R. Huaura	7.73	0.050	3.851	0.014	0.173	424	0.055	0.486	0.455	11.09	28.66	198	101	523
94	S101	R. Huaura	15.88	0.022	7.755	0.012	0.064	343	0.022	0.318	0.435	20.05	44.20	104	5	337
95	S102	Q. Anco	12.06	0.165	5.390	0.164	0.534	2017	0.167	0.746	0.158	63.61	52.19	4,348	3,139	5,146

(*) Nota: La nomenclatura es hasta la S98, sin embargo, solo son 95 subcuencas esto debido al proceso de delimitación automática.

**Tabla 11: Parámetros geomorfológicos de los ríos de la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)**

N°	Nombre	Longitud (km)	Pendiente (m/m)	Relieve (m)	Sinuosidad
1	R1	4.019	0.048	192.000	1.106
2	R2	5.475	0.056	307.000	1.145
3	R3	6.822	0.036	244.000	1.228
4	R4	6.003	0.062	372.000	1.111
5	R5	8.205	0.038	312.000	1.168
6	R6	6.578	0.043	281.000	1.486
7	R7	0.309	0.065	20.000	1.117
8	R8	8.186	0.051	417.000	1.195
9	R9	3.097	0.031	95.000	1.357
20	R20	2.369	0.035	83.000	1.231
21	R21	5.295	0.020	108.000	1.192
22	R22	16.937	0.088	1490.000	1.201
23	R23	8.705	0.011	98.000	1.116
24	R24	5.052	0.011	57.000	1.086
25	R25	2.077	0.010	21.000	1.075
26	R26	19.184	0.012	224.000	1.105
27	R27	17.611	0.013	231.000	1.134
28	R28	4.750	0.021	101.000	1.467
29	R29	3.319	0.062	205.000	1.156
30	R30	11.415	0.031	355.000	1.274
32	R32	4.254	0.043	184.000	1.179
33	R33	9.662	0.052	500.000	1.237
34	R34	17.821	0.081	1441.000	1.149
35	R35	4.927	0.072	354.000	1.112
36	R36	4.987	0.014	70.000	1.259
37	R37	4.733	0.029	138.000	1.161
38	R38	7.853	0.057	445.000	1.188
38	R50	1.138	0.011	13.000	1.134
39	R39	6.630	0.021	139.000	1.537
39	R52	1.139	0.047	53.000	1.113
40	R40	1.139	0.047	53.000	1.113
40	R51	7.853	0.057	445.000	1.188
41	R41	1.138	0.011	13.000	1.134
41	R10	12.098	0.033	395.000	1.290
42	R12	8.811	0.035	310.000	1.161
43	R43	7.626	0.017	133.000	1.167
43	R11	8.590	0.030	255.000	1.154
44	R44	5.880	0.101	594.000	1.151
44	R14	1.717	0.111	190.000	1.124
45	R45	4.733	0.029	138.000	1.161
45	R13	2.216	0.077	171.000	1.261
46	R46	1.924	0.040	76.000	1.224
46	R16	8.121	0.022	182.000	1.204
47	R47	4.318	0.019	81.000	1.774
47	R15	9.333	0.062	575.000	1.143
48	R48	4.987	0.014	70.000	1.259
48	R18	5.282	0.049	260.000	1.170

N°	Nombre	Longitud (km)	Pendiente (m/m)	Relieve (m)	Sinuosidad
49	R49	7.626	0.017	133.000	1.167
49	R17	5.492	0.030	167.000	1.186
50	R19	3.939	0.091	360.000	1.135

4 CLIMATOLOGÍA

4.1 ANÁLISIS CLIMÁTICO DE LA CUENCA

4.1.1 Precipitación total mensual

El estudio de la precipitación en la cuenca del río Huaura es importante porque tiene una relación directa con la ocurrencia de la escorrentía superficial en esta, además que en base a la información de lluvia sobre la cuenca y mediante una modelación matemática; por ejemplo, es factible generar información sintética de caudales y de esta forma dar validez a la información hidrométrica disponible.

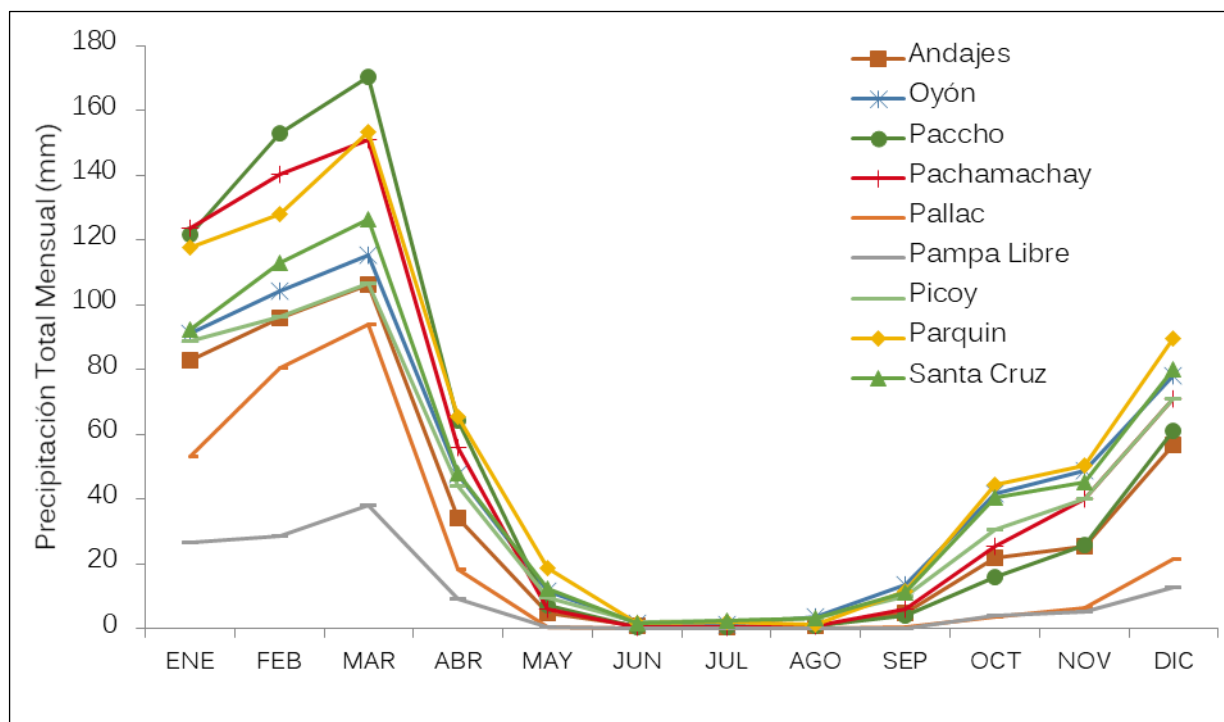
Las series de precipitación total mensual corresponden a las estaciones meteorológicas pertenecientes a la cuenca del río Huaura, las cuentan con un periodo histórico entre los años 1964-2020. La cuenca contaba en total con (11) once estaciones pluviométricas: Laguna Surasaca, Oyón, Andajes, Pampa Libre, Paccho, Pichoy, Parquin, Pachamachay, Alcantarilla, UNJF Sanchez Carrión y Sayán. Asimismo, se cuenta con registros de 5 estaciones ubicadas fuera de la cuenca: Cajatambo, Gorgor, Ambar, Santa Cruz y Pallac. De los que cuales después del análisis regional quedaron (09) estaciones.

En el perfil se realizó el análisis de consistencia, completación y extensión de la información de precipitación total mensual, que se muestra en la siguiente tabla. Estos valores a nivel anual sirvieron de referencia para correlacionar los datos totales mensuales de cada estación con los datos de precipitación máxima de 24 horas.

Tabla 12: Precipitación total mensual del periodo 1964-2020
(TYPESA - Estudio de pre-inversión, 2021)

ESTACIONES	AÑO PROMEDIO												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
ANDAJES	83,03	95,99	106,31	34,11	4,89	0,86	0,75	1,00	4,89	22,13	25,53	56,82	436,30
OYÓN	91,12	104,28	115,52	47,60	11,59	1,74	1,30	3,90	13,80	41,75	48,94	78,36	559,91
PACCHO	121,93	152,87	170,36	64,51	7,18	0,73	0,42	1,02	4,20	15,81	25,87	61,19	626,10
PACHAMACHAY	123,69	140,18	151,22	56,14	6,08	0,72	0,53	1,07	6,07	25,64	40,05	71,18	622,58
PALLAC	53,29	80,42	93,87	18,30	0,48	0,02	0,02	0,05	0,50	3,69	6,66	21,73	279,04
PAMPA LIBRE	26,79	28,56	38,15	9,10	0,69	0,09	0,15	0,04	0,36	4,23	5,35	13,01	126,52
PICOY	88,80	96,22	106,71	44,00	9,80	2,20	2,37	3,41	10,10	30,64	40,29	71,11	505,64
PARQUIN	117,73	127,92	153,59	65,49	18,74	1,72	1,96	1,43	11,69	44,47	50,37	89,46	684,56
SANTA CRUZ	92,53	112,95	126,31	48,04	12,36	1,63	2,45	3,50	11,25	40,42	45,39	80,32	577,14

Ilustración 11: Histograma mensual de estaciones pluviométricas del ámbito de estudio
(TYP SA - Estudio de pre-inversión, 2021)



4.1.2 Precipitación máxima 24 horas

Las estaciones meteorológicas se encuentran ubicadas en el ámbito de la cuenca de Huaura; sin embargo, para este caso de análisis de máximas avenidas, también se ha considerado una estación pluviométrica vecina, pero muy cercana, ubicada en la cuenca Chancay - Huaral.

Tal como se indicó en Tabla 1, se reportaron 13 estaciones que serán analizadas. La mayoría posee información desde el año 1964, existiendo en varias estaciones algunos registros discontinuos, con datos faltantes. El SENAMHI brinda datos de precipitación total diaria, este parámetro fue transformado al valor de precipitación máxima de 24 horas considerando el factor de 1.04 por corrección de lecturas según la Organización Mundial de Meteorología (OMM). En la Tabla 13 se presenta la precipitación máxima diaria y en la Tabla 14 se presenta la precipitación máxima en 24 horas, cuyos valores serán empleados para realizar el análisis estadístico correspondiente.

Tabla 13: Precipitación máxima diaria en mm
(Estudio de Preinversión - SENAMHI, 2021)

AÑO	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pachamachay	Pallac	Pampa Libre	Parquin	Picoy	San Rafael	Santa Cruz
1964		35.1		4.0	18.6			9.8					20.3
1965		30.3		7.2	28.2	74.2		23.5		100.0			32.0
1966		27.2		6.5	22.6	20.0		20.0		31.2		22.1	19.2
1967	3.8	37.0		4.2	20.2	28.0		22.5		35.5	13.3	104.4	25.4
1968	0.8	21.0		1.3	16.8	32.4		9.6		17.5	24.1	15.0	14.0
1969	0.6	14.3		2.9	23.8	18.2		12.5		19.2	21.2	22.0	23.2
1970	10.4	25.8		11.8	18.7	13.7		94.1		19.5	20.0	14.4	27.5
1971	1.4	24.1		6.0	13.7	15.0		18.3	9.0	22.9	16.0	26.5	18.0
1972	2.9	42.8		6.2	26.4	39.4		32.0	9.6	26.2	24.2	56.0	39.5
1973	1.2	25.6		1.4	28.2	23.4		20.5	19.3	23.3	20.0	34.5	42.4
1974	2.9	18.0		3.5	22.5	18.9		18.5	8.1	23.4	20.7	29.5	32.5
1975	0.6	25.5		3.2	26.5	20.0		31.5	10.6	28.3	24.2	35.0	16.9
1976	1.1	15.6		4.1	21.7	23.2		22.2	9.3	25.5	19.2	140.0	20.8
1977	1.4	26.5		2.6	17.5	17.5		47.0	14.1	25.8	28.4	222.5	18.9
1978	0.4	19.7		4.2	17.2	22.0		11.7	8.6	44.8	34.4	25.3	19.3
1979	0.4	24.6		0.4	20.1	13.6		40.0		22.4	22.8	40.0	15.3
1980	2.5	24.6	23.1		20.2	13.7		10.1		16.5	19.8	100.0	33.7
1981	0.6	22.9	34.9		29.8	31.0		28.7		21.9	18.0	206.0	31.1
1982	0.9	19.7	22.1		23.0	23.8		20.0		35.3	22.1	560.0	25.0
1983	2.6	15.2	20.1	2.0	21.8	32.4		32.0		31.7	16.3	28.7	26.1
1984	0.6	36.0	32.0	18.5		34.6		13.0	6.3	35.5	32.8		35.2
1985	2.1	24.0	30.1	2.0		28.3		20.0	6.5	33.8	20.0		18.6
1986	1.0	31.3	18.6	1.9	21.6	29.1		15.0	4.5	19.0	35.7		22.9
1987	0.5	24.9	16.1		16.1	18.6		10.9	17.0	24.6	15.9	173.0	18.6
1988	0.3	30.0	19.2	3.0	16.4	30.2	15.4	17.5	5.8	20.9	16.8	42.7	20.9
1989	2.7		29.2	4.7	21.8	30.4	17.3	27.0	8.9	21.3	17.9		21.5
1990	1.1	18.2	11.5		24.9	23.9	15.3	30.0	11.4	23.4	16.5	90.0	19.7
1991	0.6	34.6	16.2		11.2	18.2	15.2	26.0	8.7	17.2	13.4	14.0	15.6

AÑO	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pachamachay	Pallac	Pampa Libre	Parquin	Picoy	San Rafael	Santa Cruz
1992	0.3	16.9	22.3		12.5	11.9	13.8	7.0	7.2	22.8	40.3	8.0	14.2
1993	0.9	20.2	18.2	0.2	17.3	21.8	15.5	28.5	8.2	22.0	17.0	40.0	23.0
1994	0.8	17.8	21.7	11.2	16.0	27.5	16.5	20.7	10.5	28.8	18.0	38.5	17.6
1995	0.4	21.8	30.7	3.0	22.1	21.5	12.7	21.9	8.7	19.2	23.3	36.8	24.2
1996	3.6	19.9	19.8	0.4	23.7	39.2	15.1	19.2	17.1	50.2	20.2	22.8	23.0
1997	1.5	19.8	24.5	10.5	19.6	26.4	17.8	32.3	8.6	23.2	18.0	56.7	20.1
1998	1.8	16.1	48.9	11.0	19.5	32.9	19.0	13.4	11.7	20.3	15.4	29.4	24.0
1999	2.4	16.0	19.8	4.8	22.5	44.5	18.2	15.5	13.0	34.5	19.3	21.6	25.8
2000	0.4	17.3	23.8	4.5	20.3	25.8	17.4	9.5	13.0	21.8	6.8	25.1	23.7
2001	1.1	17.0	33.3	3.7	19.5	24.2	16.8	9.6	11.5	24.4	16.6	41.8	23.4
2002	5.2	22.8	22.3	10.0	22.1	22.6	17.0	16.3	7.0	26.0	6.0	29.9	40.7
2003	1.2	21.1	19.9	7.4	26.6	26.3	17.1	15.8	9.1	22.8	12.0	52.9	26.5
2004	1.7	15.9	16.9	3.4	16.6	22.6	16.0	26.0	13.4	22.6	17.7	41.9	21.2
2005	0.7	11.5	9.9	11.0	15.9	18.8	15.1	9.9	6.1	17.2	15.3	32.0	18.2
2006	1.4	20.7	9.1	5.0	20.6	26.2	19.4	18.4	12.3	30.2	30.5	28.8	30.6
2007	0.5	25.0	15.7	6.6	22.2	27.8	19.3	19.2	9.5	24.0	20.0	31.9	25.0
2008	0.8	20.3	12.5	9.8	20.7	27.5	22.5	22.4	13.6	23.4	29.5	42.1	24.5
2009	2.4	24.0	21.1	7.3	22.2	27.0	19.4	41.0	9.8	28.0	23.4	25.5	22.8
2010	0.7	24.7	22.5	5.6	29.6	21.9	11.2	11.9	6.5	18.9	27.6	25.1	15.5
2011	1.0	17.9	21.2	7.0	22.8	21.2	14.2	14.7	5.4	23.1	16.1	21.8	27.3
2012	1.3	25.2	23.0	5.1	18.5	31.7	22.3	50.5	16.2	28.7	19.0	33.5	30.8
2013	2.3	19.0	48.0	5.0	18.6	22.8	22.4	24.2	5.3	21.1	18.5	41.1	17.5
2014	1.2	13.7	18.2	4.6	19.1	21.4	24.4	17.0	5.0	27.5	14.7	25.7	19.7
2015	0.9	23.9	12.5	7.4	17.6	33.2	18.2	21.6	5.0	34.2	15.0	16.4	15.0
2016	1.4	16.8	8.3	3.9	16.8	19.5	18.7	18.0	6.1	34.3	17.9	28.2	19.3
2017	1.0	20.5	10.3	5.6	18.1	34.1	21.9	41.7	19.4	28.4	13.5	28.6	20.7
2018	2.3	15.0	9.1	3.9	28.7	27.2	16.3	15.7	4.2	20.4	12.0	32.7	21.0
2019	3.5	16.0	7.2	4.2	20.5	31.9	28.4	29.7	15.4	28.3	13.0	29.3	13.6
2020	0.5	9.0	7.1	1.2	17.1	17.8	29.5	20.4	4.2	29.3	9.0	19.2	19.2

Tabla 14: Precipitación máxima en 24 horas en mm
(Estudio de Preinversión - SENAMHI, 2021)

AÑO	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pachamachay	Pallac	Pampa Libre	Parquin	Picoy	San Rafael	Santa Cruz
1964		36.5		4.2	19.3			10.2					21.1
1965		31.5		7.5	29.3	77.2		24.4		104.0			33.3
1966		28.3		6.8	23.5	20.8		20.8		32.4		23.0	20.0
1967	4.0	38.5		4.4	21.0	29.1		23.4		36.9	13.8	108.6	26.4
1968	0.8	21.8		1.4	17.5	33.7		10.0		18.2	25.1	15.6	14.6
1969	0.6	14.9		3.0	24.8	18.9		13.0		20.0	22.0	22.9	24.1
1970	10.8	26.8		12.3	19.4	14.2		97.9		20.3	20.8	15.0	28.6
1971	1.5	25.1		6.2	14.2	15.6		19.0	9.4	23.8	16.6	27.6	18.7
1972	3.0	44.5		6.4	27.5	41.0		33.3	10.0	27.2	25.2	58.2	41.1
1973	1.2	26.6		1.5	29.3	24.3		21.3	20.1	24.2	20.8	35.9	44.1
1974	3.0	18.7		3.6	23.4	19.7		19.2	8.4	24.3	21.5	30.7	33.8
1975	0.6	26.5		3.3	27.6	20.8		32.8	11.0	29.4	25.2	36.4	17.6
1976	1.1	16.2		4.3	22.6	24.1		23.1	9.7	26.5	20.0	145.6	21.6
1977	1.5	27.6		2.7	18.2	18.2		48.9	14.7	26.8	29.5	231.4	19.7
1978	0.4	20.5		4.4	17.9	22.9		12.2	8.9	46.6	35.8	26.3	20.1
1979	0.4	25.6		0.4	20.9	14.1		41.6		23.3	23.7	41.6	15.9
1980	2.6	25.6	24.0		21.0	14.2		10.5		17.2	20.6	104.0	35.0
1981	0.6	23.8	36.3		31.0	32.2		29.8		22.8	18.7	214.2	32.3
1982	0.9	20.5	23.0		23.9	24.8		20.8		36.7	23.0	582.4	26.0
1983	2.7	15.8	20.9	2.1	22.7	33.7		33.3		33.0	17.0	29.8	27.1
1984	0.6	37.4	33.3	19.2		36.0		13.5	6.6	36.9	34.1		36.6
1985	2.2	25.0	31.3	2.1		29.4		20.8	6.8	35.2	20.8		19.3
1986	1.0	32.6	19.3	2.0	22.5	30.3		15.6	4.7	19.8	37.1		23.8
1987	0.5	25.9	16.7		16.7	19.3		11.3	17.7	25.6	16.5	179.9	19.3
1988	0.3	31.2	20.0	3.1	17.1	31.4	16.0	18.2	6.0	21.7	17.5	44.4	21.7
1989	2.8		30.4	4.9	22.7	31.6	18.0	28.1	9.3	22.2	18.6		22.4
1990	1.1	18.9	12.0		25.9	24.9	15.9	31.2	11.9	24.3	17.2	93.6	20.5
1991	0.6	36.0	16.8		11.6	18.9	15.8	27.0	9.0	17.9	13.9	14.6	16.2
1992	0.3	17.6	23.2		13.0	12.4	14.4	7.3	7.5	23.7	41.9	8.3	14.8

AÑO	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pachamachay	Pallac	Pampa Libre	Parquin	Picoy	San Rafael	Santa Cruz
1993	0.9	21.0	18.9	0.2	18.0	22.7	16.1	29.6	8.5	22.9	17.7	41.6	23.9
1994	0.8	18.5	22.6	11.6	16.6	28.6	17.2	21.5	10.9	30.0	18.7	40.0	18.3
1995	0.4	22.7	31.9	3.1	23.0	22.4	13.2	22.8	9.0	20.0	24.2	38.3	25.2
1996	3.7	20.7	20.6	0.4	24.6	40.8	15.7	20.0	17.8	52.2	21.0	23.7	23.9
1997	1.6	20.6	25.5	10.9	20.4	27.5	18.5	33.6	8.9	24.1	18.7	59.0	20.9
1998	1.9	16.7	50.9	11.4	20.3	34.2	19.8	13.9	12.2	21.1	16.0	30.6	25.0
1999	2.5	16.6	20.6	5.0	23.4	46.3	18.9	16.1	13.5	35.9	20.1	22.5	26.8
2000	0.4	18.0	24.8	4.7	21.1	26.8	18.1	9.9	13.5	22.7	7.1	26.1	24.6
2001	1.1	17.7	34.6	3.8	20.3	25.2	17.5	10.0	12.0	25.4	17.3	43.5	24.3
2002	5.4	23.7	23.2	10.4	23.0	23.5	17.7	17.0	7.3	27.0	6.2	31.1	42.3
2003	1.2	21.9	20.7	7.7	27.7	27.4	17.8	16.4	9.5	23.7	12.5	55.0	27.6
2004	1.8	16.5	17.6	3.5	17.3	23.5	16.6	27.0	13.9	23.5	18.4	43.6	22.0
2005	0.7	12.0	10.3	11.4	16.5	19.6	15.7	10.3	6.3	17.9	15.9	33.3	18.9
2006	1.5	21.5	9.5	5.2	21.4	27.2	20.2	19.1	12.8	31.4	31.7	30.0	31.8
2007	0.5	26.0	16.3	6.9	23.1	28.9	20.1	20.0	9.9	25.0	20.8	33.2	26.0
2008	0.8	21.1	13.0	10.2	21.5	28.6	23.4	23.3	14.1	24.3	30.7	43.8	25.5
2009	2.5	25.0	21.9	7.6	23.1	28.1	20.2	42.6	10.2	29.1	24.3	26.5	23.7
2010	0.7	25.7	23.4	5.8	30.8	22.8	11.6	12.4	6.8	19.7	28.7	26.1	16.1
2011	1.0	18.6	22.0	7.3	23.7	22.0	14.8	15.3	5.6	24.0	16.7	22.7	28.4
2012	1.4	26.2	23.9	5.3	19.2	33.0	23.2	52.5	16.8	29.8	19.8	34.8	32.0
2013	2.4	19.8	49.9	5.2	19.3	23.7	23.3	25.2	5.5	21.9	19.2	42.7	18.2
2014	1.2	14.2	18.9	4.8	19.9	22.3	25.4	17.7	5.2	28.6	15.3	26.7	20.5
2015	0.9	24.9	13.0	7.7	18.3	34.5	18.9	22.5	5.2	35.6	15.6	17.1	15.6
2016	1.5	17.5	8.6	4.1	17.5	20.3	19.4	18.7	6.3	35.7	18.6	29.3	20.1
2017	1.0	21.3	10.7	5.8	18.8	35.5	22.8	43.4	20.2	29.5	14.0	29.7	21.5
2018	2.4	15.6	9.5	4.1	29.8	28.3	17.0	16.3	4.4	21.2	12.5	34.0	21.8
2019	3.6	16.6	7.5	4.4	21.3	33.2	29.5	30.9	16.0	29.4	13.5	30.5	14.1
2020	0.5	9.4	7.4	1.2	17.8	18.5	30.7	21.2	4.4	30.5	9.4	20.0	20.0

4.1.3 Temperatura Mínima, Media y Máxima

De las todas las estaciones existentes, se descartaron las estaciones que solo registran lluvia. La temperatura es el elemento meteorológico más ligado al factor altitudinal; en lo que respecta a la temperatura máxima en la cuenca, se puede mencionar lo siguiente:

- En la cabecera de la cuenca, para una altitud que oscila en los 3667 m.s.n.m., se ubica la estación Oyón, con una temperatura promedio multianual de 10.42 °C, el rango de variación oscila desde los 10.12 °C en el mes de julio hasta los 10.93 °C en el mes de septiembre.
- En la cuenca media, a la altura de la estación Pampa Libre, la temperatura promedio multianual es de 19.43 °C, el rango de variación oscila desde los 19.14 °C en el mes de junio hasta los 20.45 °C en el mes de noviembre.
- En la cuenca baja, a la altura de la estación Alcantarilla, la temperatura promedio multianual es de 20.20 °C, el rango de variación oscila desde los 17.16 °C en el mes de agosto hasta los 24.21 °C en el mes de febrero.
- En la zona sur-oeste de la cuenca en la estación Santa Rosa, la temperatura promedio multianual es de 20.29 °C, el rango de variación oscila desde los 17.16 °C en el mes de agosto hasta los 24.21 °C en el mes de febrero. En la siguiente tabla se muestra la temperatura promedio mensual y multianual de las estaciones climatológicas, y en la Ilustración 12 se muestra su variación mensual.

Tabla 15: Temperatura mínima mensual para el año promedio (°C)
(TYPESA - Estudio de pre-inversión, 2021)

ESTACIONES	ALTITUD (msnm)	PERIODO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
ALCANTARILLA	131,0	1967-2020	18.72	19.61	19.18	17.36	15.84	14.99	14.57	14.32	14.21	14.63	15.26	16.93	16.30
LOMAS DE LACHAY	384,0	1964-2020	17.93	19.03	18.62	17.04	14.84	13.38	12.71	12.40	12.38	13.02	14.24	15.85	15.14
OYÓN	3.667,0	1964-2020	5.07	5.24	5.41	4.85	3.64	2.99	2.67	3.16	3.98	4.41	4.51	4.76	4.27
CAJATAMBO	3.432,0	1994-2020	6.04	6.22	6.25	5.83	5.18	4.66	4.36	4.72	5.54	5.86	5.63	6.18	5.52
PAMPA LIBRE	1.756,0	2004-2020	11.62	11.93	11.65	11.40	11.04	9.94	9.72	9.56	9.83	10.28	12.55	10.84	10.86
PICOY	2.903,0	1967-2013	7.37	7.49	7.55	6.61	5.04	4.11	3.77	4.55	5.50	6.20	6.39	6.93	5.96
SAN RAFAEL	2.722,0	1965-2020	10.77	10.79	10.64	9.74	8.84	7.50	6.82	7.79	9.25	9.86	10.34	10.69	9.47
SANTA ROSA	380,0	1967-2006	17.30	18.59	18.26	16.56	14.31	12.90	12.27	12.23	12.61	13.39	14.19	15.74	14.86
UNJF SÁNCHEZ CARRIÓN	45,0	2009-2020	19.87	21.04	20.38	19.17	17.28	16.65	15.64	14.80	15.05	15.54	16.66	18.12	17.74

Ilustración 12: Temperatura mínima mensual – Estaciones Cuenca del río Huaura
(TYPSA - Estudio de pre-inversión, 2021)

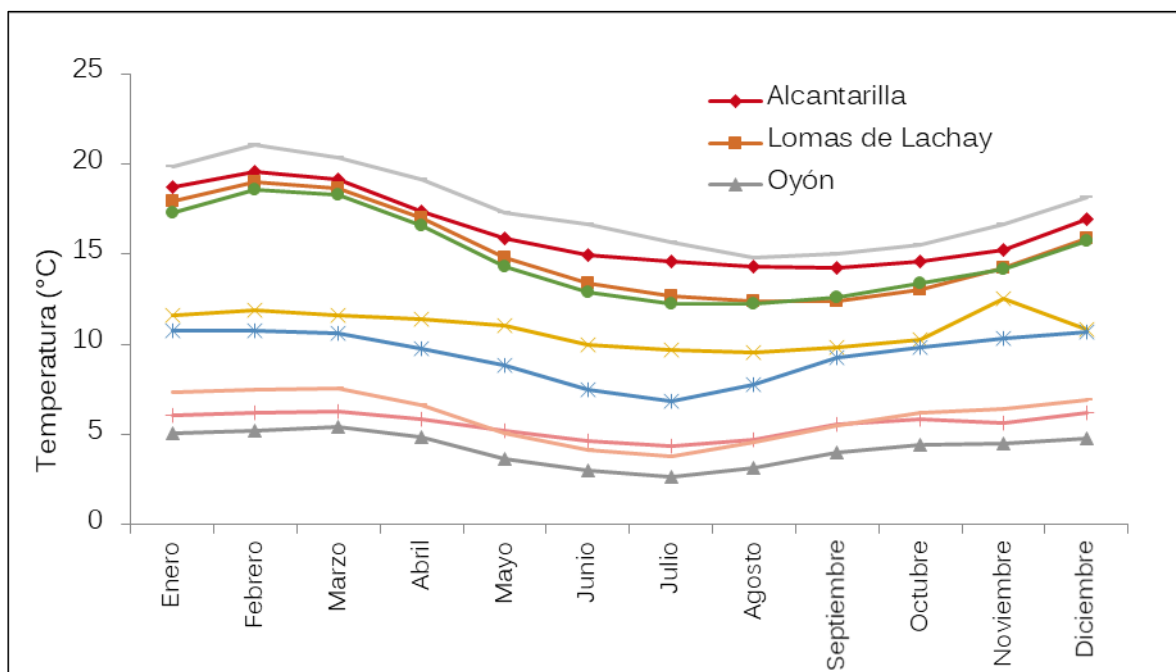


Tabla 16: Temperatura media mensual para el año promedio (°C)
(TYPSA, 2021)

ESTACIONES	ALTITUD (msnm)	PERIODO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
ALCANTARILLA*	131,0	1967-2018	23,29	24,21	23,78	21,94	19,76	18,12	17,40	17,16	17,53	18,33	19,49	21,34	20,20
LOMAS DE LACHAY*	384,0	1964-2018	21,64	23,11	22,70	20,81	17,89	15,64	14,61	14,13	14,51	15,91	17,63	19,30	18,16
UNJF SÁNCHEZ CARRIÓN*	45,0	2009-2018	24,02	24,98	24,04	22,23	20,48	19,28	18,27	17,26	17,68	18,48	19,99	21,90	20,72
PAMPA LIBRE**	1.756,0	2004-2018	19,35	19,53	19,27	19,31	19,34	19,14	19,23	19,27	19,34	19,48	20,45	19,39	19,43
SAN RAFAEL**	2.722,0	1965-2018	16,11	16,11	15,74	15,73	15,86	15,08	15,03	15,60	16,12	16,52	16,70	16,52	15,92
SANTA ROSA	380,0	1967-2006	22,99	24,20	24,08	22,48	19,84	17,74	16,98	17,14	17,95	18,87	19,78	21,41	20,29
OYÓN***	3.667,0	1964-2018	10,19	10,20	10,37	10,61	10,42	10,16	10,12	10,61	10,93	10,73	10,50	10,24	10,42
CAJATAMBO***	3.432,0	1994-2018	10,67	10,58	10,67	10,96	11,04	10,66	10,57	11,05	11,57	11,43	10,92	10,81	10,91
PICOY***	2.903,0	1967-2013	12,30	12,17	12,24	12,29	12,13	11,81	11,59	12,07	12,56	12,54	12,35	12,31	12,20

*Cuenca baja

**Cuenca media

***Cuenca alta

Ilustración 13: Temperatura media mensual
(TYP SA, 2021)

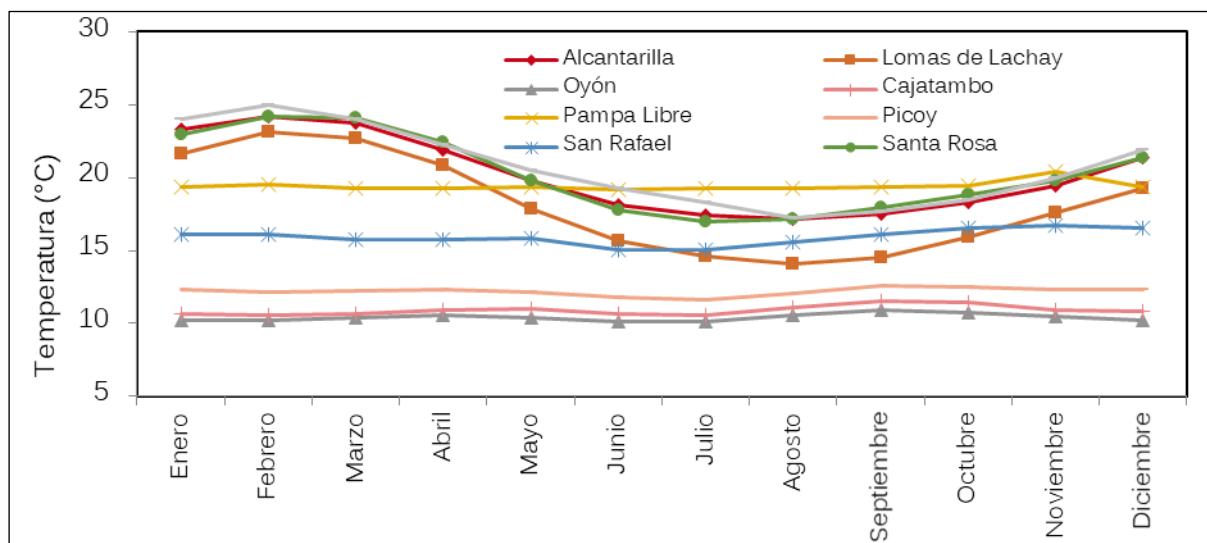
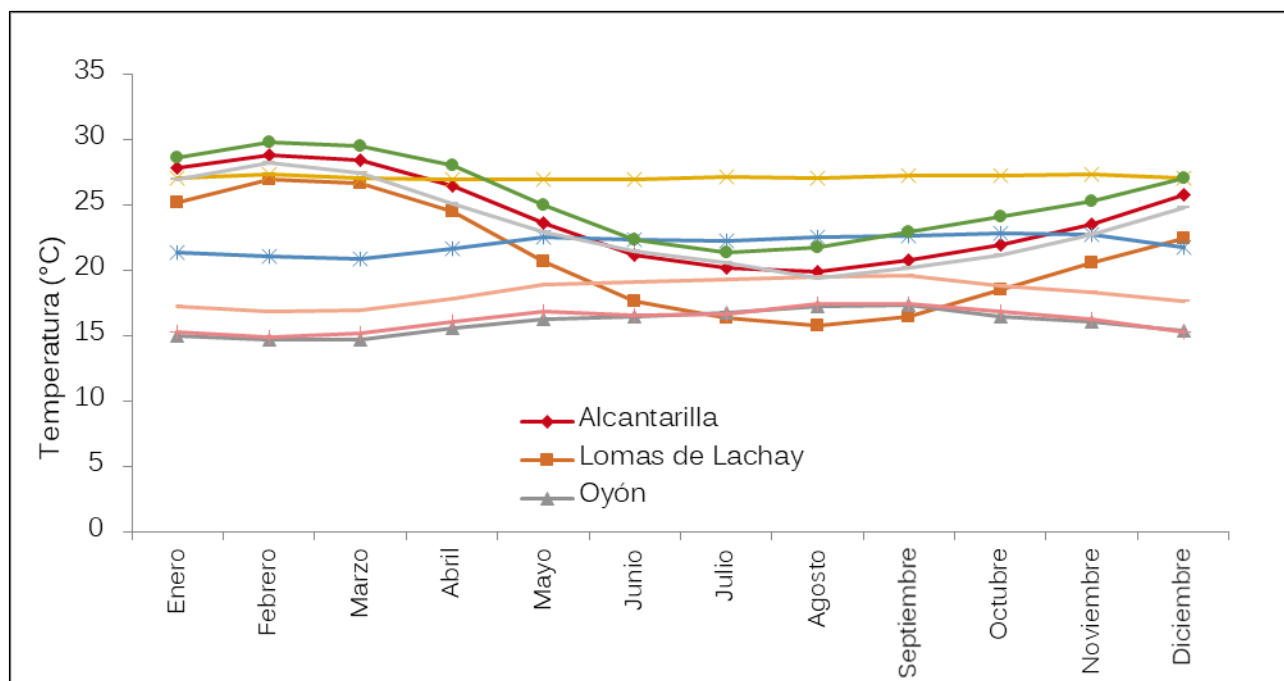


Tabla 17: Temperatura máxima mensual para el año promedio (°C)
(TYP SA - Estudio de pre-inversión, 2021)

ESTACIONES	ALTITUD (msnm)	PERIODO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
ALCANTARILLA	131,0	1967-2020	28,5	29,5	29,0	27,1	24,2	21,7	20,6	20,4	21,3	22,5	24,0	26,3	24,6
LOMAS DE LACHAY	384,0	1964-2020	25,7	27,4	27,1	25,0	21,2	18,1	16,7	16,1	16,9	18,9	21,0	23,0	21,4
OYÓN	3.667,0	1964-2020	15,3	15,0	15,1	15,9	16,6	16,8	17,1	17,6	17,8	16,9	16,4	15,7	16,3
CAJATAMBO	3.432,0	1994-2020	15,5	15,2	15,4	16,4	17,3	16,9	17,0	17,8	17,9	17,1	16,5	15,7	16,6
PAMPA LIBRE	1.756,0	2004-2020	27,4	27,7	27,4	27,3	27,4	27,3	27,4	27,6	27,6	27,6	27,7	27,4	27,5
PICOY	2.903,0	1967-2013	17,6	17,2	17,3	18,3	19,3	19,6	19,8	20,0	20,0	19,3	18,7	18,1	18,8
SAN RAFAEL	2.722,0	1965-2020	21,7	21,5	21,2	22,1	23,0	22,8	22,7	23,0	23,2	23,3	23,2	22,2	22,5
SANTA ROSA	380,0	1967-2006	29,3	30,4	30,2	28,6	25,6	22,8	21,9	22,2	23,5	24,6	25,9	27,7	26,1
UNJF SÁNCHEZ CARRIÓN	45,0	2009-2020	27,4	28,7	27,8	25,7	23,5	22,1	21,2	19,9	20,6	21,7	23,2	25,3	23,9

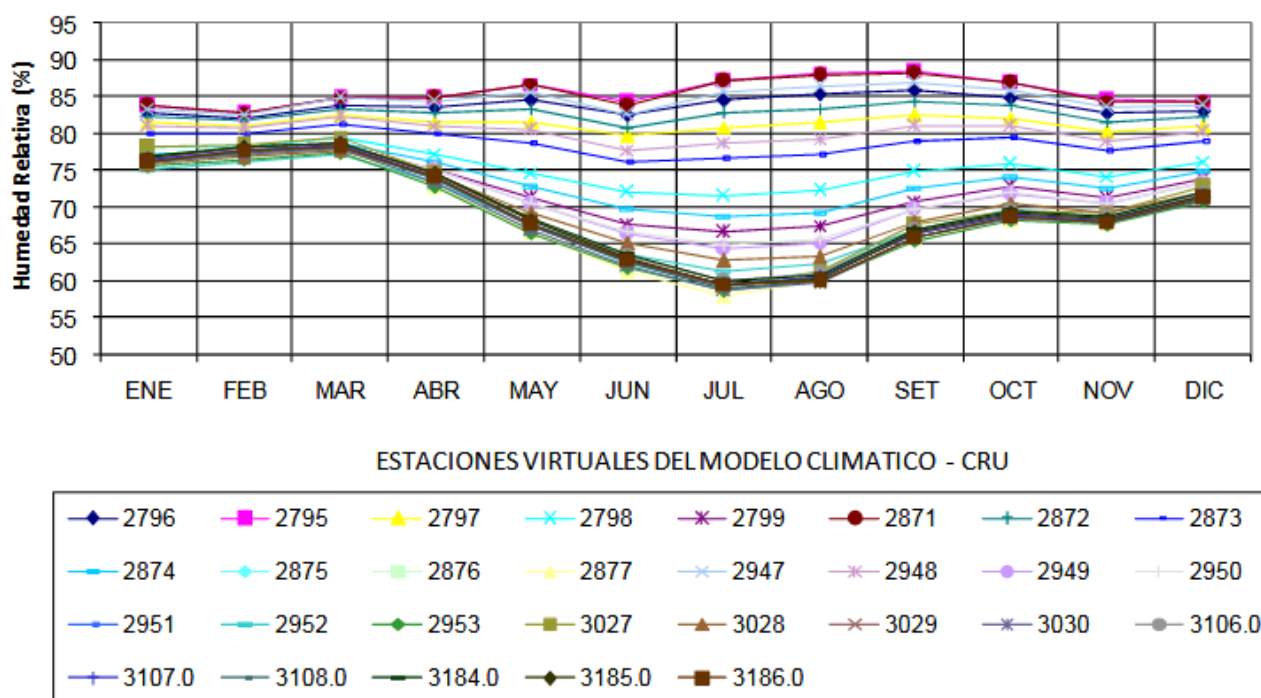
Ilustración 14: Temperatura máxima mensual – Estaciones Cuenca del río Huaura
(TYP SA, 2021)



4.1.4 Humedad relativa

La humedad relativa expresado en porcentaje (%) en el ámbito de la cuenca del río Huaura que va desde los 414 a los 4 472 msnm, cuyo rango de variación se encuentra entre los 57,9 % hasta los 88,3%, con un promedio para toda la cuenca de 73,7%, así mismo esta Tabla permite conocer la variación mensual de la humedad relativa en relación con la altitud. En la Ilustración siguiente, se muestra la variación mensual en cada una de las estaciones meteorológicas, la información ha sido tomada de la Autoridad Nacional del Agua.

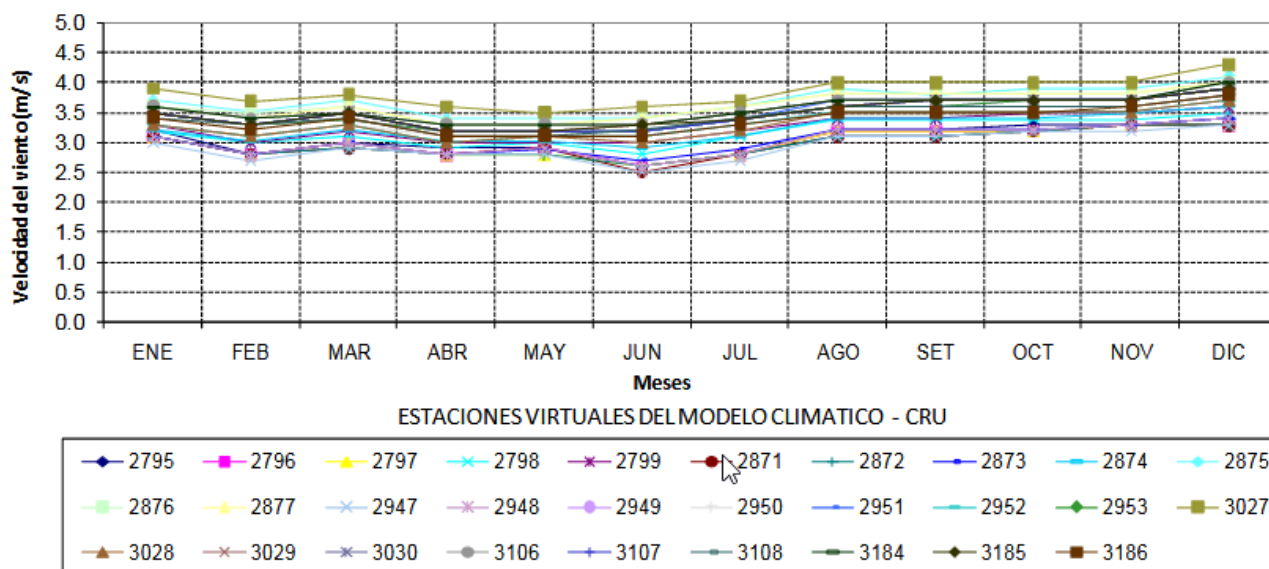
Ilustración 15: Variación Anual de la Humedad Relativa Media Mensual –Cuenca del Río Huaura
(ANA, 2010)



4.1.5 Velocidad del viento

En la Ilustración 16 se presenta el resumen de los promedios mensuales de la velocidad del viento en cada una de las estaciones que fueron analizadas en el estudio “Evaluación de los Recursos Hídricos de la cuenca del río Huaura”. En ella se muestra la variación mensual de la velocidad media, la cual se encuentra en el rango entre 2.5 y 4.3 m/s, y un promedio a nivel de la cuenca de 3.3 m/s, sin embargo, en la Ilustración siguiente se presenta la variación mensual a nivel altitudinal en el ámbito de la cuenca del río Huaura que va desde los 414 a los 4472 msnm.

Ilustración 16: Régimen de velocidad del Viento Media Mensual (m/s)
(ANA, 2010)



4.1.6 Clasificación climática

Para caracterizar el clima de la Cuenca de Río Huaura se utilizó la metodología de Thornthwaite el cual considera como datos de entrada la precipitación y la evapotranspiración y a partir de ella realizar el balance hídrico, determinándose los periodos de exceso y déficit con el cual es posible la caracterización climática. La nomenclatura de la caracterización Climática de Thornthwaite está compuesta por cuatro letras y unos subíndices. Las dos primeras letras, mayúsculas, se refieren al “Índice de humedad” y a la “Eficacia térmica” de la zona, respectivamente. La letra tercera y cuarta, minúsculas, corresponden a la “Variación estacional de la humedad” y a la “Concentración térmica en verano” respectivamente. Determinación del Índice de Humedad según Thornthwaite.

Tabla 18: Clasificación Climática según Thornthwaite
(ANA, 2010)

PROVINCIAS DE HUMEDAD		
Clasificación según Índice Hídrico		
TIPO	Índice de Pluvial	CLIMA
A	> a 100	Super húmedo
B4	80 a 100	Muy húmedo
B3	60 a 80	Húmedo
B2	40 a 60	Moderadamente húmedo
B1	20 a 40	Ligeramente húmedo
C2	0 a 20	Semi-húmedo
C1	(-20) a 0	Semi-seco
D	(-40 a -20)	Seco
E	(-60 a -40)	Arido

Estas provincias de humedad se subdividen atendiendo el régimen pluviométrico anual, mediante la determinación de la falta de exceso de agua. Los subtipos de humedad se designan por letras minúsculas sin acentuar y su significado; se presenta en el Tabla siguiente.

Tabla 19: Clasificación por Subtipos de Humedad
(ANA, 2010)

SubClasificación de Humedad según Índice de Exceso e Índice de Déficit		
SUB-TIPO	Índice de Exceso (%)	CLIMA SECO (por exceso de agua)
w'2	> 20	Exceso grande en invierno
s'2	> 20	Exceso grande en verano
w'	10 a 20	Exceso moderado en invierno
s'	10 a 20	Exceso moderado en verano
d	0 a 10	Poco o ningún exceso
SUB-TIPO	Índice de Déficit (%)	CLIMA HUMEDO (por falta de agua)
w2	> 33.3	Déficit grande en invierno
s2	> 33.3	Déficit grande en verano
w	16.7 a 33.3	Déficit moderado en invierno
s	16.7 a 33.3	Déficit moderado en verano
r	0 a 16.7	Déficit pequeño o ninguno

4.2 CAMBIO CLIMÁTICO

4.2.1 Análisis y Selección de escenario climático

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad natural del clima observada en el largo plazo. Es por ello que las forzantes climáticas también deben de evaluarse dentro del conjunto de escenarios claves para la toma de decisiones a largo plazo.

Los Modelos Climáticos Globales (GCM) del quinto informe del IPCC (AR5) en el marco de la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP5) tienen los siguientes objetivos (Taylor, 2012):

- Un enfoque en la adaptación y mitigación del cambio climático.
- La retroalimentación del ciclo del carbono: Modelos del Sistema Terrestre
- Una mejor evaluación de los aspectos ciertos – e inciertos – del cambio climático
- Facilitar la evaluación del modelo en comparación con las observaciones para evaluar la confiabilidad de las proyecciones de los modelos.

Los modelos son forzados principalmente por concentraciones de gases atmosféricos – antropogénicos y naturales – como gases de efecto invernadero (GEI), aerosoles provenientes de erupciones volcánicas, quema de biomasa, o contaminación. También son forzados por cambios de usos de suelo y por supuesto por radiación solar.

En el marco del quinto informe del IPCC (AR5) se han desarrollado 4 posibles “vías representativas de concentraciones” de gases invernadero (en inglés: Representative Concentration Pathways (RCP)). Las características de los nuevos escenarios del quinto informe de IPCC (AR5) son descritos a continuación:

- RCP8.5: El pathway RCP8.5 representa una vía de emisiones y concentraciones relativamente altas. Sus principales supuestos incluyen alto crecimiento demográfico, relativamente bajo crecimiento de PIB, con tasas modestas de cambios tecnológicos y de eficiencia energética. Esto lleva a importantes demandas energéticas y consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero. En este escenario no se implementan políticas de cambio climático. Por eso el escenario RCP8.5 también es llamado “business as usual”- escenario que significa “todo sigue como hasta ahora”. Basado en este escenario se calcula para el año 2100 un aumento de la temperatura global entre 3.4 y 5.5 °C respecto a la temperatura media global en el periodo 1980-1999
- RCP6: Esta vía representa emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y cambio de uso de suelo que se traducen en un forzamiento radiativo de 6 W/m² al año 2100. Esto requiere disminuciones significativas a partir del año 2060. Se debe resaltar que sin políticas que limiten las emisiones, en esta vía se llegaría a mayores valores de forzamiento radiativo al año 2100.
- RCP4.5: Como el pathway RCP6, también el RCP4.5 es un escenario de estabilización, que llega a un forzamiento radiativo de 4.5 W/m² al año 2100, sin haberlo excedido antes. El RCP4.5 es más ambicioso que el RCP6 y resulta en un calentamiento global de aproximado 2 °C, lo que corresponde con el objetivo climático de limitar el calentamiento global a 2 °C.
- RCP2.6: La cuarta vía o ruta de emisiones y concentraciones es representativa sobre escenarios de mitigación cuyo objetivo es limitar el calentamiento global por debajo de los 2 °C a fin de siglo. La vía es caracterizada por un forzamiento radiativo que llegará a 3 W/m² antes de 2100 y que disminuirá a 2.6 W/m² en 2100. Alcanzar esta meta requiere reducciones netas en emisiones bastante drásticas. Por eso este escenario se considera más bien utópico.

Las directrices de las notas técnicas recomiendan las precipitaciones estimadas a partir de un conjunto de Modelos Climáticos Globales (MCG) y dos escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.

4.2.2 Proyecciones de la precipitación

Par el presente informe se utilizó los Modelos de Circulación General (MCGs) ya que son la principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas. Estos datos incluyen:

- Datos sobre precipitaciones extremas con un periodo histórico entre 1981 – 2005.
- Datos sobre la precipitación extrema para el periodo de tiempo futuro que incluye las décadas de 2050 y 2080.

Se tuvo en cuenta la distribución espacial de las estaciones pluviométricas, por lo que se descargó diferentes previsiones para cada estación.

Los resultados de los modelos climáticos fueron objeto de una reducción de escala mediante el método estadístico de “cambio delta”. De la Tabla 20 a Tabla 23 se aprecian los deltas change de los diferentes modelos considerados.

El análisis de reducción estadístico se hizo para cada periodo de tiempo y para cada subregión (estación pluviométrica). El análisis estimó el factor de “cambio delta” como la relación entre la mediana de las precipitaciones máximas anuales de un día para el periodo de tiempo futuro e histórico.

Tabla 20: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2025-2065
(TYPESA, 2021)

Modelo	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
ACCESS1-0	1.17	1.17	1.13	1.17	1.17	1.18	1.17	1.16	1.18	1.17	1.18
bcc-csm1-1	1.14	1.15	1.18	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.15
bcc-csm1-1-m	1.18	1.17	1.19	1.17	1.17	1.17	1.17	1.18	1.17	1.18	1.17
CanESM2	1.15	1.14	1.15	1.14	1.14	1.15	1.14	1.14	1.15	1.15	1.15
CCSM4	1.00	1.01	0.99	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.00	1.01
CMCC-CM	1.09	1.12	1.11	1.12	1.12	1.10	1.12	1.10	1.10	1.09	1.10
CMCC-CMS	0.97	0.96	1.02	0.96	0.96	0.99	0.96	1.02	0.99	0.97	0.99
CNRM-CM5	1.15	1.15	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
CSIRO-Mk3-6-0	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06
GFDL-ESM2G	1.09	1.15	1.18	1.15	1.15	1.12	1.15	1.09	1.12	1.09	1.12
GFDL-ESM2M	1.00	1.01	0.97	1.01	1.01	1.02	1.01	1.00	1.02	1.00	1.02
GISS-E2-R_p1	1.06	1.10	1.06	1.10	1.10	1.07	1.10	1.09	1.07	1.06	1.07
GISS-E2-R_p3	1.03	1.03	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.03	1.03	1.03
HadGEM2-CC	1.06	1.07	1.14	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.08	1.06	1.08
HadGEM2-ES	1.18	1.16	1.19	1.16	1.16	1.18	1.16	1.20	1.18	1.18	1.18
inmcm4	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	1.03	1.02
IPSL-CM5A-LR	1.24	1.24	1.21	1.24	1.24	1.25	1.24	1.23	1.25	1.24	1.25
IPSL-CM5B-LR	0.98	0.97	1.01	0.97	0.97	0.97	0.97	0.99	0.97	0.98	0.97
MIROC5	1.12	1.12	1.10	1.12	1.12	1.13	1.12	1.12	1.13	1.12	1.13
MIROC-ESM	1.06	1.06	1.03	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
MIROC-ESM-CHEM	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.04	1.03	1.05	1.04	1.05
MPI-ESM-LR	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.09
MPI-ESM-MR	1.12	1.13	1.09	1.13	1.13	1.11	1.13	1.10	1.11	1.12	1.11
MRI-CGCM3	1.15	1.15	1.21	1.15	1.15	1.15	1.15	1.20	1.15	1.15	1.15
NorESM1-M	1.06	1.07	1.08	1.07	1.07	1.06	1.07	1.07	1.06	1.06	1.06

Tabla 21: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2060-2100
(TYPESA, 2021)

Modelo	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
ACCESS1-0	1.22	1.22	1.21	1.22	1.22	1.22	1.22	1.20	1.22	1.22	1.22
bcc-csm1-1	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.22	1.21	1.21	1.22	1.21	1.22
bcc-csm1-1-m	1.18	1.17	1.21	1.17	1.17	1.18	1.17	1.19	1.18	1.18	1.18
CanESM2	1.20	1.20	1.19	1.20	1.20	1.20	1.20	1.18	1.20	1.20	1.20
CCSM4	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.05	1.03	1.03	1.03
CMCC-CM	1.28	1.28	1.30	1.28	1.28	1.28	1.28	1.30	1.28	1.28	1.28
CMCC-CMS	1.03	1.03	1.06	1.03	1.03	1.05	1.03	1.07	1.05	1.03	1.05
CNRM-CM5	1.16	1.17	1.16	1.17	1.17	1.15	1.17	1.14	1.15	1.16	1.15
CSIRO-Mk3-6-0	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.09	1.09	1.09
GFDL-ESM2G	1.13	1.13	1.15	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
GFDL-ESM2M	1.33	1.29	1.56	1.29	1.29	1.27	1.29	1.42	1.27	1.33	1.27
GISS-E2-R_p1	1.09	1.13	1.07	1.13	1.13	1.11	1.13	1.13	1.11	1.09	1.11
GISS-E2-R_p3	1.08	1.08	1.12	1.08	1.08	1.07	1.08	1.08	1.07	1.08	1.07
HadGEM2-CC	1.15	1.16	1.15	1.16	1.16	1.15	1.16	1.13	1.15	1.15	1.15
HadGEM2-ES	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
inmcm4	1.04	1.03	1.05	1.03	1.03	1.04	1.03	1.05	1.04	1.04	1.04
IPSL-CM5A-LR	1.32	1.33	1.28	1.33	1.33	1.33	1.33	1.31	1.33	1.32	1.33
IPSL-CM5B-LR	0.91	0.93	0.96	0.93	0.93	0.91	0.93	0.91	0.91	0.91	0.91
MIROC5	1.14	1.15	1.13	1.15	1.15	1.14	1.15	1.13	1.14	1.14	1.14
MIROC-ESM	1.07	1.07	1.09	1.07	1.07	1.08	1.07	1.08	1.08	1.07	1.08
MIROC-ESM-CHEM	1.09	1.10	1.11	1.10	1.10	1.10	1.10	1.12	1.10	1.09	1.10
MPI-ESM-LR	1.10	1.09	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.09
MPI-ESM-MR	1.13	1.14	1.10	1.14	1.14	1.13	1.14	1.11	1.13	1.13	1.13
MRI-CGCM3	1.20	1.20	1.22	1.20	1.20	1.19	1.20	1.22	1.19	1.20	1.19
NorESM1-M	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.05	1.06	1.06	1.06

Tabla 22: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2025-2065
(TYPESA, 2021)

Modelo	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
ACCESS1-0	1.23	1.22	1.25	1.22	1.22	1.23	1.22	1.21	1.23	1.23	1.23
bcc-csm1-1	1.27	1.26	1.29	1.26	1.26	1.27	1.26	1.26	1.27	1.27	1.27
CanESM2	1.17	1.17	1.19	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
CCSM4	1.02	1.05	1.02	1.05	1.05	1.04	1.05	1.05	1.04	1.02	1.04
CMCC-CM	1.19	1.19	1.23	1.19	1.19	1.19	1.19	1.22	1.19	1.19	1.19
CMCC-CMS	1.01	1.02	1.12	1.02	1.02	1.04	1.02	1.07	1.04	1.01	1.04
CNRM-CM5	1.17	1.17	1.21	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
CSIRO-Mk3-6-0	1.07	1.06	1.08	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.06	1.07	1.06
GFDL-CM3	0.93	0.90	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90	0.93	0.90	0.93	0.90
GFDL-ESM2G	1.22	1.23	1.73	1.23	1.23	1.21	1.23	1.34	1.21	1.22	1.21
GFDL-ESM2M	1.10	1.11	1.09	1.11	1.11	1.09	1.11	1.10	1.09	1.10	1.09
HadGEM2-CC	1.20	1.21	1.19	1.21	1.21	1.21	1.21	1.18	1.21	1.20	1.21
HadGEM2-ES	1.21	1.21	1.25	1.21	1.21	1.22	1.21	1.23	1.22	1.21	1.22
inmcm4	1.05	1.03	1.07	1.03	1.03	1.04	1.03	1.07	1.04	1.05	1.04
IPSL-CM5A-LR	1.34	1.32	1.35	1.32	1.32	1.34	1.32	1.35	1.34	1.34	1.34
IPSL-CM5A-MR	1.18	1.17	1.23	1.17	1.17	1.18	1.17	1.14	1.18	1.18	1.18
IPSL-CM5B-LR	0.97	1.00	0.98	1.00	1.00	0.99	1.00	0.96	0.99	0.97	0.99
MIROC5	1.16	1.16	1.18	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
MIROC-ESM	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
MIROC-ESM-CHEM	1.07	1.07	1.11	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.07
MPI-ESM-LR	1.08	1.07	1.08	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08
MPI-ESM-MR	1.12	1.13	1.06	1.13	1.13	1.13	1.13	1.10	1.13	1.12	1.13
MRI-CGCM3	1.18	1.17	1.19	1.17	1.17	1.18	1.17	1.24	1.18	1.18	1.18
NorESM1-M	1.04	1.04	1.05	1.04	1.04	1.05	1.04	1.05	1.05	1.04	1.05

Tabla 23: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2060-2100
(TYPESA, 2021)

Modelo	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
ACCESS1-0	1.35	1.35	1.34	1.35	1.35	1.35	1.35	1.33	1.35	1.35	1.35
bcc-csm1-1	1.45	1.44	1.58	1.44	1.44	1.44	1.44	1.45	1.44	1.45	1.44
CanESM2	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
CCSM4	1.17	1.18	1.17	1.18	1.18	1.17	1.18	1.19	1.17	1.17	1.17
CMCC-CM	1.75	1.70	1.83	1.70	1.70	1.72	1.70	1.76	1.72	1.75	1.72
CMCC-CMS	1.10	1.10	1.21	1.10	1.10	1.11	1.10	1.16	1.11	1.10	1.11
CNRM-CM5	1.45	1.42	1.54	1.42	1.42	1.44	1.42	1.50	1.44	1.45	1.44
CSIRO-Mk3-6-0	1.15	1.15	1.17	1.15	1.15	1.15	1.15	1.16	1.15	1.15	1.15
GFDL-CM3	1.07	1.06	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	1.08	1.06	1.07	1.06
GFDL-ESM2G	2.82	2.76	2.84	2.76	2.76	2.80	2.76	2.75	2.80	2.82	2.80
GFDL-ESM2M	1.92	1.94	2.36	1.94	1.94	1.91	1.94	1.92	1.91	1.92	1.91
HadGEM2-CC	1.26	1.26	1.30	1.26	1.26	1.27	1.26	1.24	1.27	1.26	1.27
HadGEM2-ES	1.33	1.32	1.38	1.32	1.32	1.32	1.32	1.34	1.32	1.33	1.32
inmcm4	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04	1.03	1.04	1.03
IPSL-CM5A-LR	1.59	1.57	1.57	1.57	1.57	1.58	1.57	1.58	1.58	1.59	1.58
IPSL-CM5A-MR	1.24	1.23	1.26	1.23	1.23	1.25	1.23	1.19	1.25	1.24	1.25
IPSL-CM5B-LR	1.03	1.05	1.06	1.05	1.05	1.03	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03
MIROC5	1.33	1.34	1.39	1.34	1.34	1.34	1.34	1.35	1.34	1.33	1.34
MIROC-ESM	1.11	1.10	1.11	1.10	1.10	1.10	1.10	1.12	1.10	1.11	1.10
MIROC-ESM-CHEM	1.10	1.10	1.18	1.10	1.10	1.10	1.10	1.13	1.10	1.10	1.10
MPI-ESM-LR	1.14	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.12	1.13	1.13	1.14	1.13
MPI-ESM-MR	1.16	1.17	1.12	1.17	1.17	1.16	1.17	1.14	1.16	1.16	1.16
MRI-CGCM3	1.41	1.39	1.42	1.39	1.39	1.42	1.39	1.48	1.42	1.41	1.42
NorESM1-M	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08	1.07	1.07	1.07

La estimación central, para cada estación pluviométrica, se obtuvo de la estimación de la mediana de todos los resultados de los modelos climáticos, luego esta estimación se definió como el percentil 50 de los “Cambio Delta” de todos los modelos.

Estimaciones bajas y altas: Para todos los valores de todas las estaciones pluviométricas y todas las estimaciones de los modelos, estos valores se definieron como el percentil 10 y el percentil 90 para representar las estimaciones bajas y altas del cambio climático.

Tabla 24: Cambio Delta Medio – Escenario RCP4.5 – Periodo 2025-2065
(TYPESA, 2021)

Percentiles	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
Percentil 10	1.00	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01
Percentil 90	1.18	1.17	1.19	1.17	1.17	1.18	1.17	1.19	1.18	1.18	1.18
Cambio Delta	1.09	1.10	1.09	1.10	1.10	1.09	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09

Tabla 25: Cambio Delta Medio – Escenario RCP4.5 – Periodo 2060-2100
(TYPESA, 2021)

Percentiles	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
Percentil 10	1.04	1.03	1.05	1.03	1.03	1.04	1.03	1.05	1.04	1.04	1.04
Percentil 90	1.25	1.26	1.26	1.26	1.26	1.25	1.26	1.27	1.25	1.25	1.25
Cambio Delta	1.13	1.14	1.13	1.14	1.14	1.13	1.14	1.13	1.13	1.13	1.13

Tabla 26: Cambio Delta Medio – Escenario RCP8.5 – Periodo 2025-2065
(TYPESA, 2021)

Percentiles	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
Percentil 10	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.04	1.02	1.05	1.04	1.02	1.04
Percentil 90	1.23	1.23	1.28	1.23	1.23	1.22	1.23	1.25	1.22	1.23	1.22
Cambio Delta	1.14	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.12	1.15	1.14	1.15

Tabla 27: Cambio Delta Medio – Escenario RCP8.5 – Periodo 2060-2100
(TYPESA, 2021)

Percentil	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	SANTA CRUZ
Percentil 10	1.07	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.08	1.06	1.07	1.06
Percentil 90	1.70	1.66	1.75	1.66	1.66	1.68	1.66	1.70	1.68	1.70	1.68
Cambio Delta	1.25	1.25	1.28	1.25	1.25	1.26	1.25	1.22	1.26	1.25	1.26

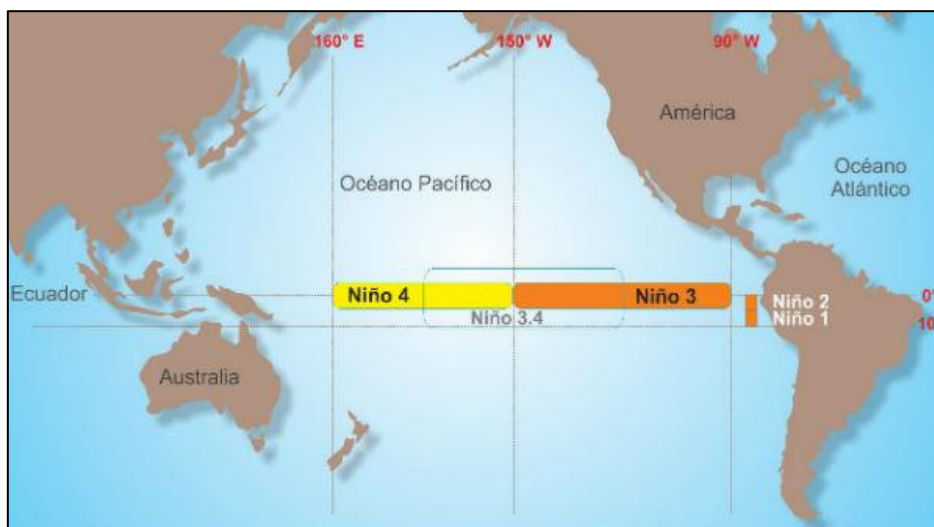
La precipitación extrema de la cuenca del río Huaura para un periodo entre los años 2025 - 2065 tiene una variación de 9% para un escenario RCP 4.5 y de 15% para un escenario RCP 8.5.

Para un periodo entre los años 2060 – 2100 la cuenca del río Huaura tiene una variación en la precipitación de 13% para un escenario RCP 4.5 y de 25% para un escenario RCP 8.5.

4.2.3 Intensidad y Recurrencia del Niño por efecto del Cambio Climático

El significado del fenómeno El Niño ha ido cambiando a lo largo de los años. En algunos países de Sudamérica como Perú y Ecuador, se denomina “El Niño” al incremento de la Temperatura Superficial del agua del Mar (TSM) en el litoral de la costa oeste de Sudamérica con ocurrencia de lluvias intensas. Antes, era considerado como un fenómeno local. Actualmente, se le reconoce como el principal modulador de la variabilidad climática interanual en todo el mundo. El Niño comprende los cambios observados en la TSM en el Pacífico ecuatorial central, así como los cambios de la presión atmosférica en el Pacífico, desde Australia (Darwin) hasta Tahití (Pacífico tropical central – oriental), las regiones de estudio se muestran en la siguiente imagen.

Ilustración 17: Regiones de estudio para el “Fenómeno El Niño” FEN
(SENAMHI “El Fenómeno El Niño en el Perú, 2014)



Uno de los factores a los que se atribuye el origen del FEN es a un debilitamiento en los vientos alisios (estos soplan de oriente hacia occidente normalmente). Al debilitarse los vientos alisios y generase las condiciones para evaporación del agua superficial del mar, las nubes generadas no son transportadas hacia el oeste y se quedan en la costa peruana y ecuatoriana, las que descargan las precipitaciones anómalas en tierra. Otro factor es el calentamiento de la temperatura superficial del mar (los que generan condiciones propicias para la evaporación).

La NOAA estima la presencia del FEN a través de un índice llamado ONI – Oceanic Niño Index monitoreado en la zona 3,4, el que es una media móvil trimestral del SSTA.

$$SSTA = SST_{\text{actual}} - SST_{\text{normal}}$$

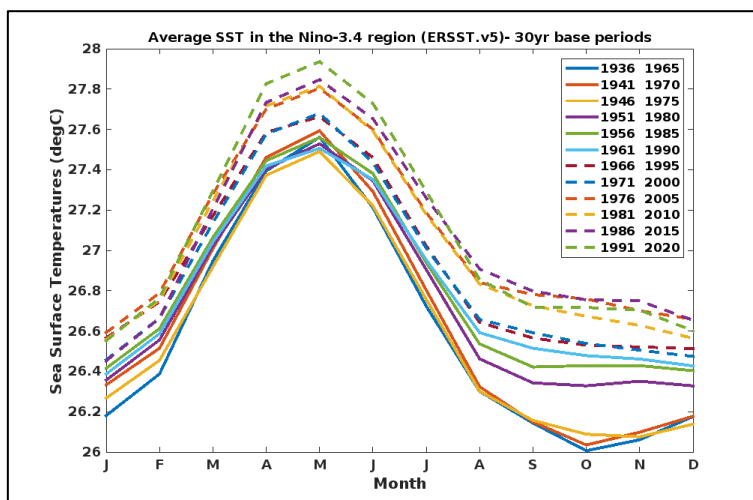
Donde:

SSTA: Sea Surface Temperature Anomaly in °C.

SST: Sea Surface Temperature in °C.

La temperatura normal del mar se refiere a la temperatura promedio de los últimos 30 años, como se puede ver en la siguiente ilustración.

Ilustración 18: Temperatura media del mar en la región 3,4 El Niño
(National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA. Estados Unidos)



Para que se declare un FEN se debe presentar consecutivamente tres (03) anomalías que dependiendo de los valores determinan si hay Niño, Fase Neutra o Niña (El Niño ONI mayor a $+0.5^{\circ}\text{C}$, Neutro entre $+0.5$ y -0.5 , La Niña menor a -0.5°C). En la siguiente tabla se presentan los índices ONI a lo largo del periodo comprendido entre 1950 y 2021.

Ilustración 19: Anomalía en la temperatura media superficial del mar desde el periodo de 1950 a 2021 en la región El Niño 3,4
(National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, 2021)

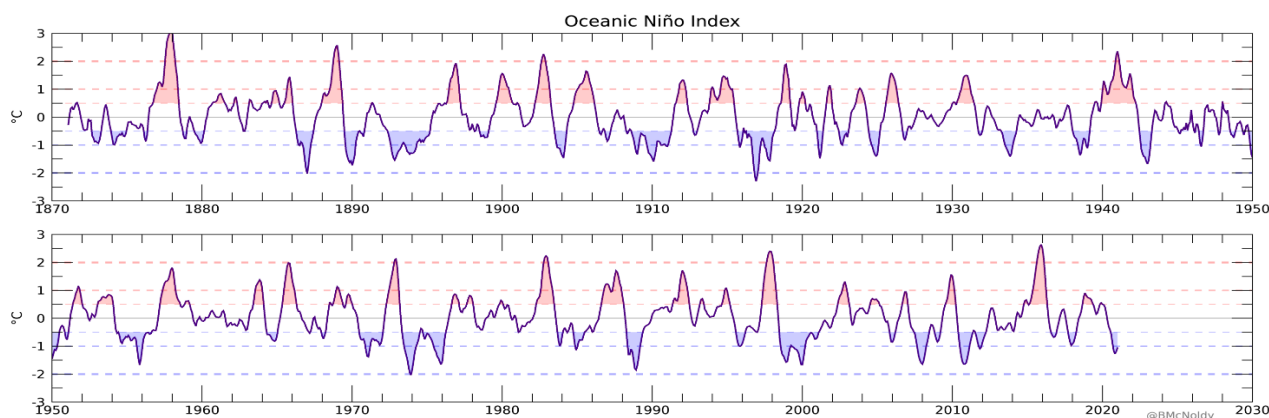


Tabla 28: Índice ONI (Oceanic Niño Index) en la región El Niño 3,4
(National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, 2021)

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AME	MEE	EEA	EAS	ASO	SON	OND	NDE
1950	-1.5	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-0.9	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1	1.2	1	0.8
1952	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0	-0.1	0	0.2	0.1	0	0.1
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.8	0.5	0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7
1955	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.5

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AME	MEE	EEA	EAS	ASO	SON	OND	NDE
1956	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0	0	0
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1
1961	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2	2	1.7
1966	1.4	1.2	1	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0	0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0	-0.1	0	0.1	0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1	1.1
1995	1	0.7	0.5	0.3	0.1	0	-0.2	-0.5	-0.8	-1	-1	-1
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AME	MEE	EEA	EAS	ASO	SON	OND	NDE
2002	-0.1	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0	0.3	0.5	0.6	0.7	1	1.4	1.6
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1	-1.1	-1
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0	0.2	0.2	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1	-0.9	-0.8									

4.2.4 Fenómeno del Niño Costero 2017

A diferencia del Fenómeno El Niño (1983 y 1998), cuyas ondas calientes recorrieron las costas del Pacífico. La zona norte del mar peruano y la zona sur del mar de Ecuador experimentaron un calentamiento inusual del mar del Pacífico, siendo éste, un evento meteorológico estrictamente local. De acuerdo con el ENFEN-2017 la presencia de una pared de lluvias en el norte peruano impidió que los vientos alisios logran “refrescar” las aguas calientes de norte y conllevando un calentamiento superficial profundidades entre 20 a 30 metros. Esta inusual configuración debilitó los vientos alisios por ende las aguas frías del sur quedaron inmovilizadas y calentadas por acción solar lo que desencadenó las lluvias por la evaporación del agua. Por otro lado, las mismas lluvias favorecen el calentamiento al no hacer circular los vientos.

Ilustración 20: Anomalía de Temperatura Superficial del Mar para los meses de enero y febrero del 2017
(Fuente: NOAA/IGP/ENFEN)

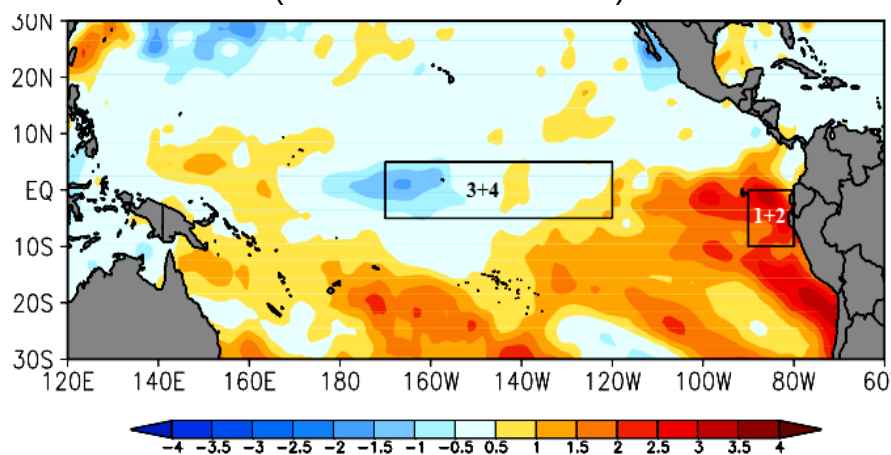
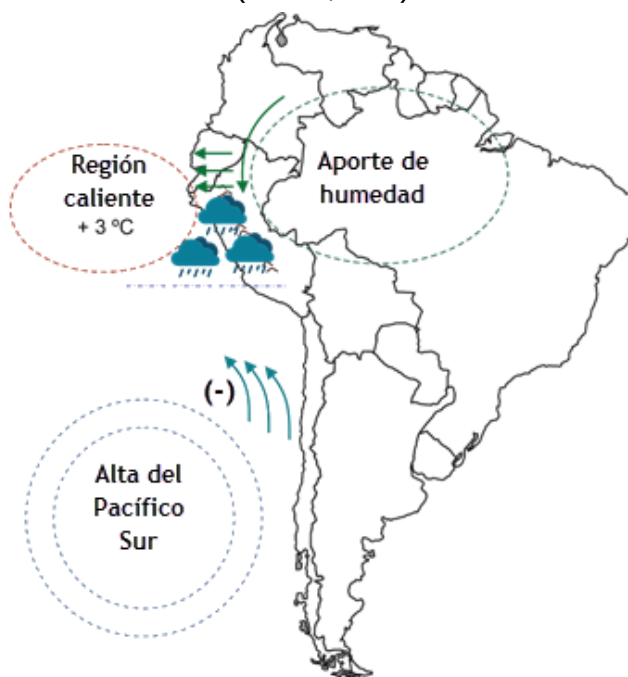


Ilustración 21: Representación gráfica de la configuración del evento del Niño Costero 2017
(TYPSA, 2021)



5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

5.1 ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA PP 24 HORAS

5.1.1 Análisis Estadístico

5.1.1.1 Análisis de datos dudosos

Antes de cualquier tratamiento estadístico a la información, se procedió a realizar un análisis de datos dudosos, mediante Método del Water Resources Council para determinar aquellos datos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante; estos datos son denominados “outliers”.

Para detectar los datos dudosos, se calcularon umbrales superiores e inferiores para cada serie de precipitaciones máximas de las estaciones analizadas, de acuerdo con las siguientes ecuaciones de frecuencia.

$$y_H = \bar{y} + K_n s_y$$

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y$$

Donde:

- y_H : Umbral superior para datos dudosos en unidades logarítmicas.
- y_L : Umbral inferior para datos dudosos en unidades logarítmicas.
- $\bar{y}$: Promedio de los logaritmos de las precipitaciones máximas.
- s_y : Desviación estándar de los logaritmos de las precipitaciones máximas.
- K_n : Valor tabulado para una muestra de tamaño n.

**Tabla 29: Valores de K_n para la prueba de datos dudosos
(Hidrología Aplicada – Ven Te Chow)**

n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.7	80	2.94
15	2.247	29	2.549	43	2.71	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.76	130	3.104

n	K _n	n	K _n	n	K _n	n	K _n
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.65	55	2.804		

Luego de realizar el análisis de datos dudosos de precipitación máxima de 24 horas presentados en la Tabla 14, descartando algunos valores fuera de los umbrales establecidos para cada serie de tiempo se obtuvo la Tabla 31, para mayor detalle ver anexos.

**Tabla 30: Datos dudosos de P_{máx24} horas
(TYPESA, 2021)**

Estación	Años Atípicos – P _{máx} 24h (mm)	
Alcantarilla	1970	10.8
Andajes	2020	9.4
Gorgor	-	-
Lomas de Lachay	1979	0.4
	1993	0.2
	1996	0.4
Oyon	1991	11.6
Paccho	1965	77.2
Pachamachay	-	-
Pallac	1970	97.9
	1992	7.3
	2012	52.5
Pampa Libre	-	-
Parquin	1965	104.0
	1996	52.2
Picoy	2000	7.1
	2002	6.2
San Rafael	1994	582.4
	1994	40.0
Santa Cruz	-	-

Tabla 31: Precipitación máxima de 24 sin datos dudosos
(TYPESA, 2021)

AÑO	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyón	Paccho	Pachamachay	Pallac	Pampa Libre	Parquin	Picoy	San Rafael	Santa Cruz
1964		36.5		4.2	19.3			10.2					21.1
1965		31.5		7.5	29.3			24.4					33.3
1966		28.3		6.8	23.5	20.8		20.8		32.4		23.0	20.0
1967	4.0	38.5		4.4	21.0	29.1		23.4		36.9	13.8		26.4
1968	0.8	21.8		1.4	17.5	33.7		10.0		18.2	25.1	108.6	14.6
1969	0.6	14.9		3.0	24.8	18.9		13.0		20.0	22.0	15.6	24.1
1970		26.8		12.3	19.4	14.2				20.3	20.8	22.9	28.6
1971	1.5	25.1		6.2	14.2	15.6		19.0	9.4	23.8	16.6	15.0	18.7
1972	3.0	44.5		6.4	27.5	41.0		33.3	10.0	27.2	25.2	27.6	41.1
1973	1.2	26.6		1.5	29.3	24.3		21.3	20.1	24.2	20.8	58.2	44.1
1974	3.0	18.7		3.6	23.4	19.7		19.2	8.4	24.3	21.5	35.9	33.8
1975	0.6	26.5		3.3	27.6	20.8		32.8	11.0	29.4	25.2	30.7	17.6
1976	1.1	16.2		4.3	22.6	24.1		23.1	9.7	26.5	20.0		21.6
1977	1.5	27.6		2.7	18.2	18.2		48.9	14.7	26.8	29.5		19.7
1978	0.4	20.5		4.4	17.9	22.9		12.2	8.9	46.6	35.8	36.4	20.1
1979	0.4	25.6			20.9	14.1		41.6		23.3	23.7	145.6	15.9
1980	2.6	25.6	24.0		21.0	14.2		10.5		17.2	20.6		35.0
1981	0.6	23.8	36.3		31.0	32.2		29.8		22.8	18.7		32.3
1982	0.9	20.5	23.0		23.9	24.8		20.8		36.7	23.0		26.0
1983	2.7	15.8	20.9	2.1	22.7	33.7		33.3		33.0	17.0	231.4	27.1
1984	0.6	37.4	33.3	19.2		36.0		13.5	6.6	36.9	34.1		36.6
1985	2.2	25.0	31.3	2.1		29.4		20.8	6.8	35.2	20.8		19.3
1986	1.0	32.6	19.3	2.0	22.5	30.3		15.6	4.7	19.8	37.1		23.8
1987	0.5	25.9	16.7		16.7	19.3		11.3	17.7	25.6	16.5	179.9	19.3
1988	0.3	31.2	20.0	3.1	17.1	31.4	16.0	18.2	6.0	21.7	17.5	26.3	21.7
1989	2.8		30.4	4.9	22.7	31.6	18.0	28.1	9.3	22.2	18.6		22.4
1990	1.1	18.9	12.0		25.9	24.9	15.9	31.2	11.9	24.3	17.2	93.6	20.5
1991	0.6	36.0	16.8			18.9	15.8	27.0	9.0	17.9	13.9	41.6	16.2
1992	0.3	17.6	23.2		13.0	12.4	14.4		7.5	23.7	41.9	104.0	14.8

AÑO	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyón	Paccho	Pachamachay	Pallac	Pampa Libre	Parquin	Picoy	San Rafael	Santa Cruz
1993	0.9	21.0	18.9		18.0	22.7	16.1	29.6	8.5	22.9	17.7	214.2	23.9
1994	0.8	18.5	22.6	11.6	16.6	28.6	17.2	21.5	10.9	30.0	18.7		18.3
1995	0.4	22.7	31.9	3.1	23.0	22.4	13.2	22.8	9.0	20.0	24.2	29.8	25.2
1996	3.7	20.7	20.6		24.6	40.8	15.7	20.0	17.8		21.0	23.7	23.9
1997	1.6	20.6	25.5	10.9	20.4	27.5	18.5	33.6	8.9	24.1	18.7	59.0	20.9
1998	1.9	16.7	50.9	11.4	20.3	34.2	19.8	13.9	12.2	21.1	16.0	30.6	25.0
1999	2.5	16.6	20.6	5.0	23.4	46.3	18.9	16.1	13.5	35.9	20.1	22.5	26.8
2000	0.4	18.0	24.8	4.7	21.1	26.8	18.1	9.9	13.5	22.7		26.1	24.6
2001	1.1	17.7	34.6	3.8	20.3	25.2	17.5	10.0	12.0	25.4	17.3	43.5	24.3
2002	5.4	23.7	23.2	10.4	23.0	23.5	17.7	17.0	7.3	27.0		31.1	42.3
2003	1.2	21.9	20.7	7.7	27.7	27.4	17.8	16.4	9.5	23.7	12.5	55.0	27.6
2004	1.8	16.5	17.6	3.5	17.3	23.5	16.6	27.0	13.9	23.5	18.4	43.6	22.0
2005	0.7	12.0	10.3	11.4	16.5	19.6	15.7	10.3	6.3	17.9	15.9	33.3	18.9
2006	1.5	15.5	9.5	5.2	21.4	27.2	20.2	19.1	12.8	31.4	31.7	30.0	31.8
2007	0.5	26.0	16.3	6.9	23.1	28.9	20.1	20.0	9.9	25.0	20.8	33.2	26.0
2008	0.8	21.1	13.0	10.2	21.5	28.6	23.4	23.3	14.1	24.3	30.7	43.8	25.5
2009	2.5	25.0	21.9	7.6	23.1	28.1	20.2	42.6	10.2	29.1	24.3	26.5	23.7
2010	0.7	25.7	23.4	5.8	30.8	22.8	11.6	12.4	6.8	19.7	28.7	26.1	16.1
2011	1.0	18.6	22.0	7.3	23.7	22.0	14.8	15.3	5.6	24.0	16.7	22.7	28.4
2012	1.4	26.2	23.9	5.3	19.2	33.0	23.2		16.8	29.8	19.8	34.8	32.0
2013	2.4	19.8	49.9	5.2	19.3	23.7	23.3	25.2	5.5	21.9	19.2	42.7	18.2
2014	1.2	14.2	18.9	4.8	19.9	22.3	25.4	17.7	5.2	28.6	15.3	26.7	20.5
2015	0.9	24.9	13.0	7.7	18.3	34.5	18.9	22.5	5.2	35.6	15.6	17.1	15.6
2016	1.5	17.5	8.6	4.1	17.5	20.3	19.4	18.7	6.3	35.7	18.6	29.3	20.1
2017	1.0	21.3	10.7	5.8	18.8	35.5	22.8	43.4	20.2	29.5	14.0	29.7	21.5
2018	2.4	15.6	9.5	4.1	29.8	28.3	17.0	16.3	4.4	21.2	12.5	34.0	21.8
2019	3.6	16.6	7.5	4.4	21.3	33.2	29.5	30.9	16.0	29.4	13.5	30.5	14.1
2020	3.8		7.4	1.2	17.8	18.5	30.7	21.2	4.4	30.5	9.4	20.0	20.0

5.1.1.2 Análisis de independencia, estacionalidad y homogeneidad

Luego de realizar el análisis de datos dudosos y descartar algunos datos que se encontraban fuera de los umbrales esperados de cada serie de precipitación máxima de 24 horas de las estaciones de estudio, mediante el software Hyfran se aplicaron las pruebas estadísticas de Wilcoxon (homogeneidad), Kendall (Tendencia) y Wald -Wolfowitz (Independencia) para las trece (13). En la Tabla 32 se muestran los resultados.

Es de mencionar que mediante este análisis se descartó la estación Pachamachay que llegó a contar con 20 datos luego de la depuración para superar las pruebas estadísticas, además durante la visita a campo indicaron que la estación fue reubicada de su posición original.

**Tabla 32: Análisis de independencia, estacionalidad y homogeneidad
(TYPESA, 2021)**

Estación	N° Obs. Iniciales	N° Obs. Activas	Test de independencia (Wald – Wolfowitz)	Test de estacionariedad (Kendall)	Test de Homogeneidad (Wilcoxon)
Alcantarilla	52	52	0.87	0.52	0.72
Andajes	55	38	0.569	0.0577	0.226
Gorgor	41	36	0.302	0.196	0.535
Lomas de Lochay	47	47	0.667	0.420	0.0656
Oyón	54	54	0.211	0.343	0.917
Paccho	55	55	0.209	0.207	0.457
Pachamachay	33	20	0.0681	0.0798	0.118
Pallac	54	54	0.239	0.994	0.742
Pampa Libre	45	45	0.0653	0.291	0.882
Parquin	54	54	0.200	0.551	0.755
Picoy	52	48	0.890	0.0947	0.140
San Rafael	52	45	0.677	0.457	0.261
Santa Cruz	57	54	0.792	0.447	0.521

5.1.1.3 Ajuste de distribución

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

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones:

- Valor extremo generalizado (GEV)
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Normal de 3 parámetros
- Distribución Pearson Tipo 3

- Distribución Log Pearson Tipo 3

Para realizar el ajuste de distribución de frecuencias se seleccionaron las doce (12) estaciones que pasaron las pruebas estadísticas indicadas en el párrafo anterior, y a la vez superaron el registro de 30 años estas fueron: Alcantarilla, Andajes, Gorgor, Lomas de Lochay, Oyón, Paccho, Pallac, Pampa Libre, Parquin, Picoy y San Rafael.

5.1.1.3.1 Valor extremo generalizado (GEV)

La función de distribución de valores extremos generalizados es la siguiente:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} e^{\left[\frac{-x-\beta}{\alpha} - e^{\frac{-x-\beta}{\alpha}} \right]}$$

α y β son los parámetros de la distribución.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma$$

$$\beta = \bar{x} - 0.5772\alpha$$

Donde:

$\bar{x}$: Media de la serie.

σ : Desviación estándar de la distribución

5.1.1.3.2 Distribución Gumbel

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

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

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

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

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

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

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

Donde:

x: Valor con una probabilidad dada.

$\bar{x}$: Media de la serie.

k: Factor de frecuencia.

5.1.1.3.3 Distribución Log Normal de 3 parámetros

La función de densidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-1/2 \left(\frac{\ln(x-x_0) - u_y}{S_y} \right)^2}$$

Para $x > x_0$

Donde:

x_0 : parámetro de posición

u_y : parámetro de escala o media

S_y^2 : parámetro de forma o varianza

5.1.1.3.4 Distribución Pearson Tipo 3

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x - \delta}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}}$$

Donde α , β , δ son los parámetros de la función y $\Gamma(\beta)$ es la función de Gamma. Los parámetros α , β , δ se evalúan a partir de n datos medidos. Asimismo, los parámetros de la distribución pueden ser estimados en función del promedio ($\bar{x}$) y de la desviación estándar (σ) de la muestra, por medio de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}}$$

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma} \right)^2$$

$$\delta = \bar{x} - \alpha\beta$$

Donde:

γ : Coeficiente de sesgo

e : Constante de Neper

El coeficiente de sesgo se define como,

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{(x - \bar{x})^3}{\frac{n}{\sigma^3}}$$

5.1.1.3.5 Distribución Log Pearson Tipo 3

La función de densidad es:

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

Valido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : parámetro de posición

β : parámetro de forma

γ : parámetro de escala

Ilustración 22: Estación Andajes – Ajuste de Distribución

(TYP SA, 2021)

ANDAJES

Gumbel (Maximum Likelihood)

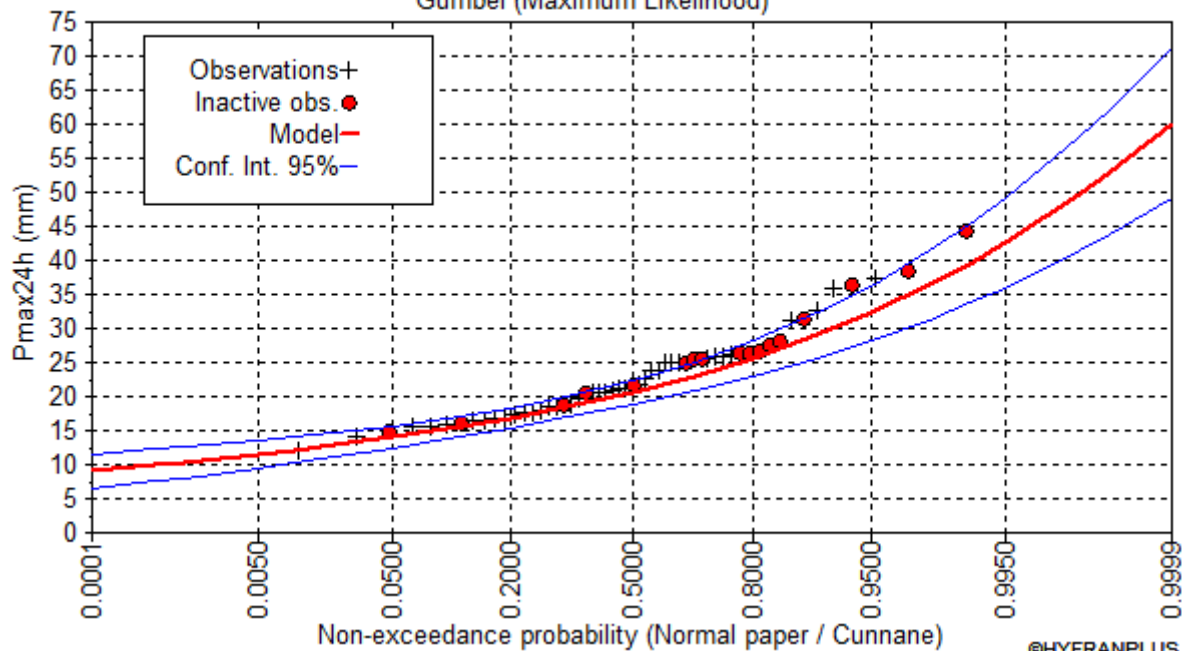


Ilustración 23: Estación Alcantarilla – Ajuste de Distribución

(TYP SA, 2021)

ALCANTARILLA

3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)

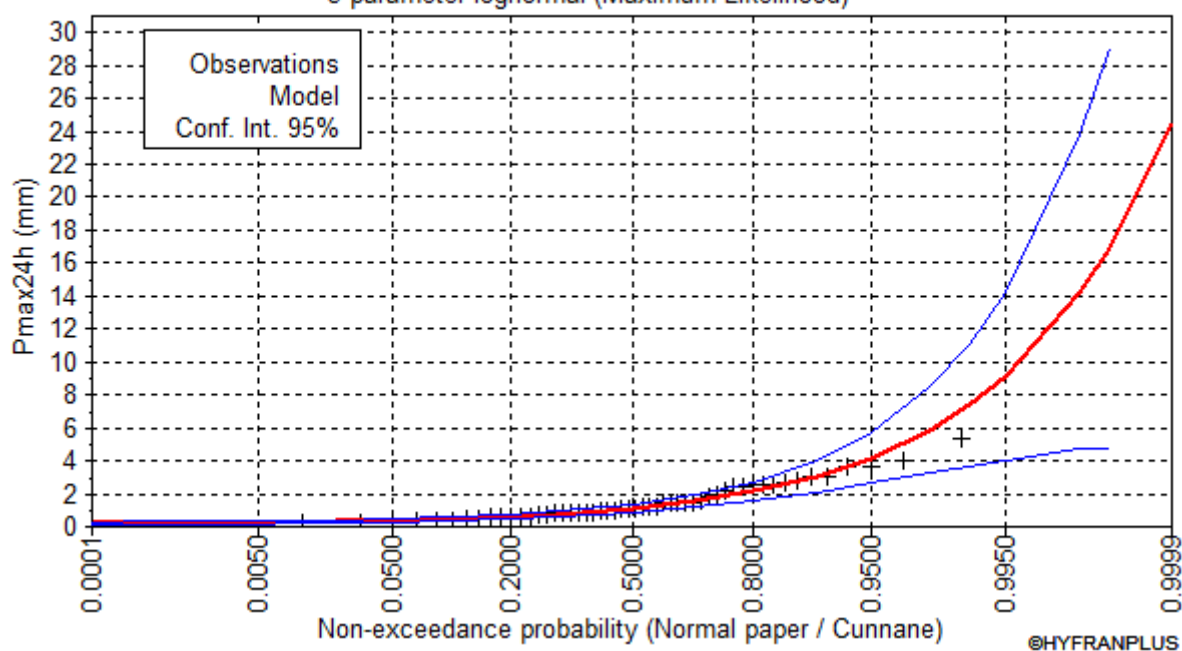


Ilustración 24: Estación Gorgor – Ajuste de Distribución
(TYP SA, 2021)

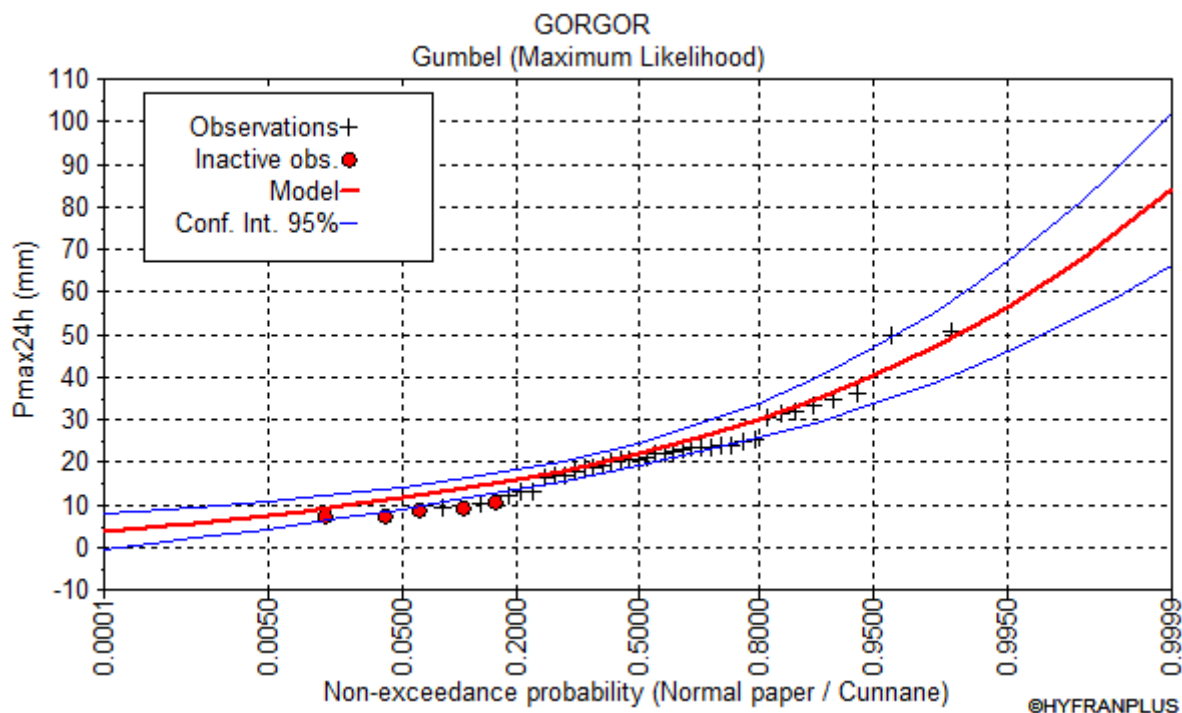


Ilustración 25: Estación Lomas de Lachay – Ajuste de Distribución
(TYP SA, 2021)

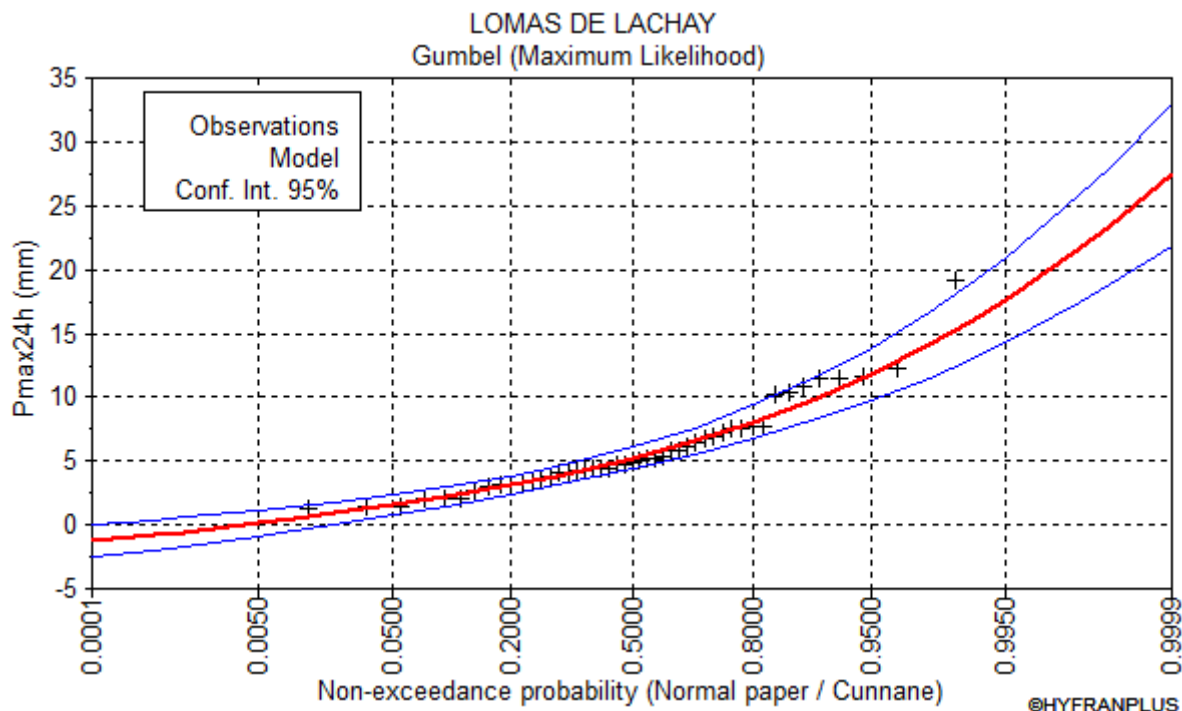


Ilustración 26: Estación Oyón – Ajuste de Distribución
(TYP SA, 2021)

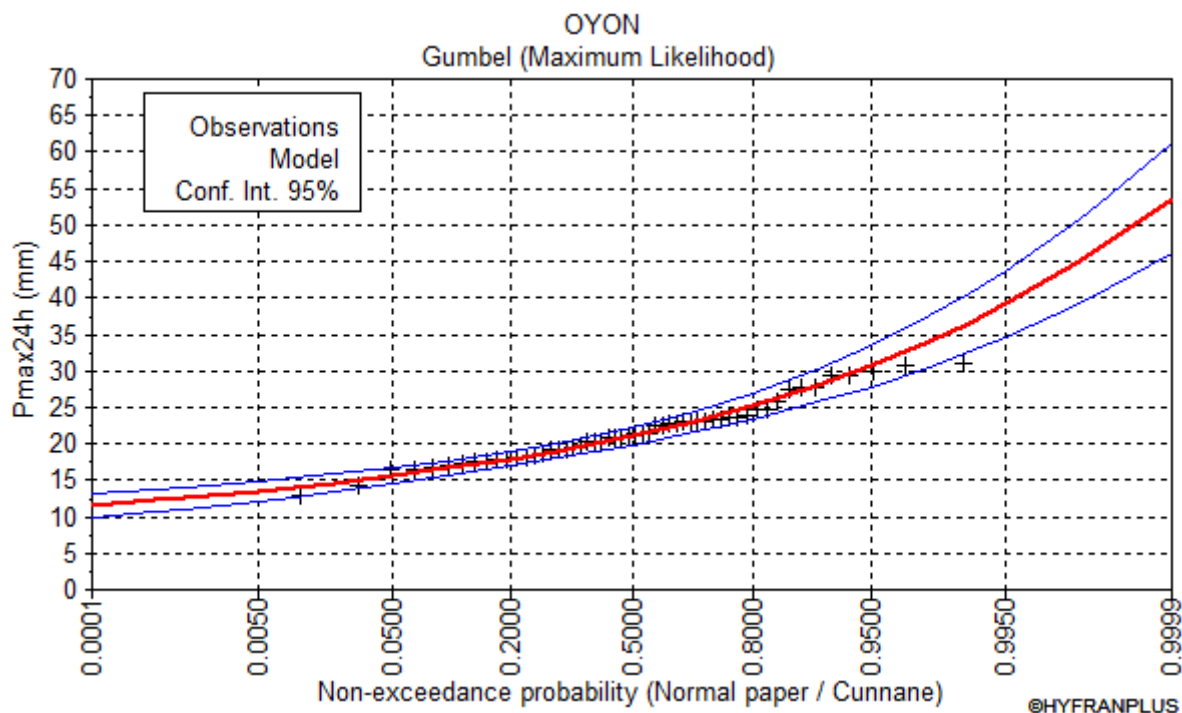


Ilustración 27: Estación Paccho – Ajuste de Distribución
(TYP SA, 2021)

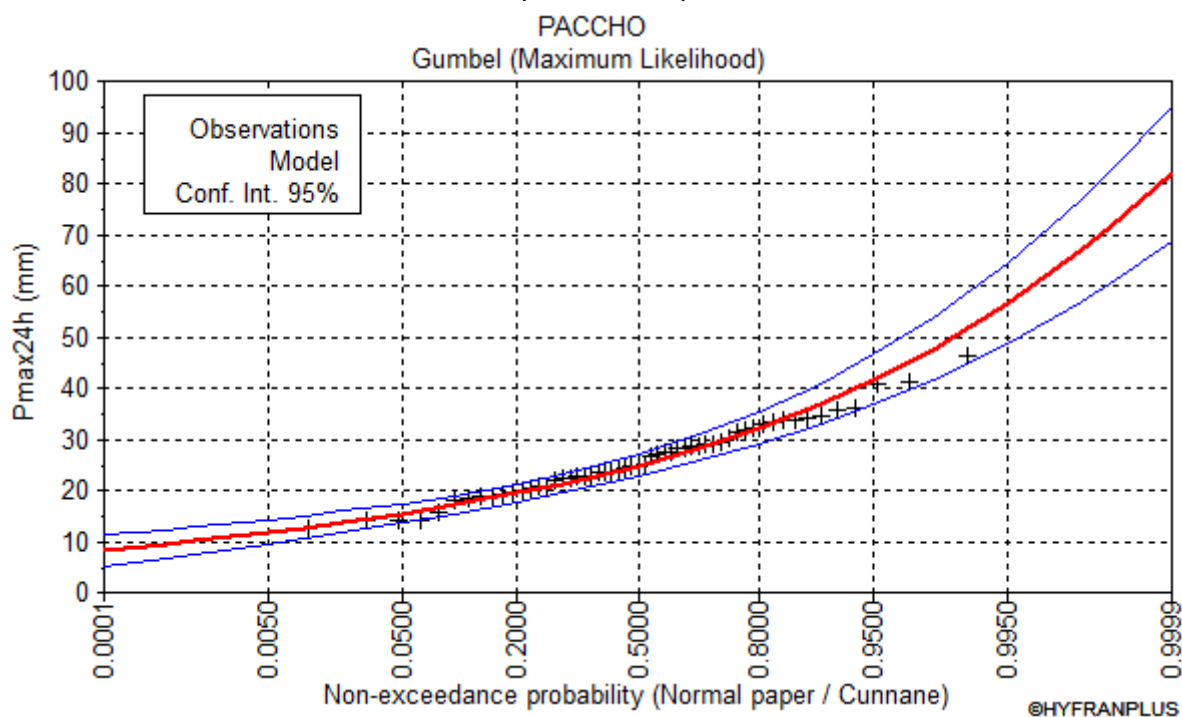


Ilustración 28: Estación Pallac – Ajuste de Distribución

(TYP SA, 2021)

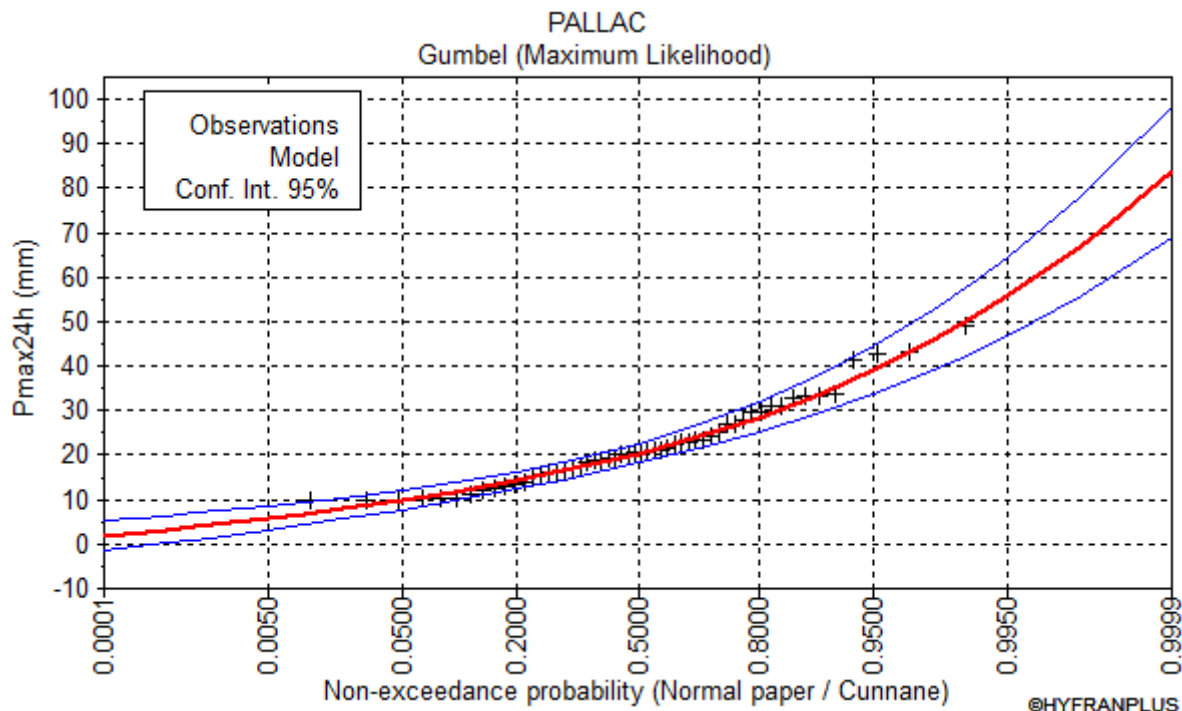


Ilustración 29: Estación Pampa Libre – Ajuste de Distribución

(TYP SA, 2021)

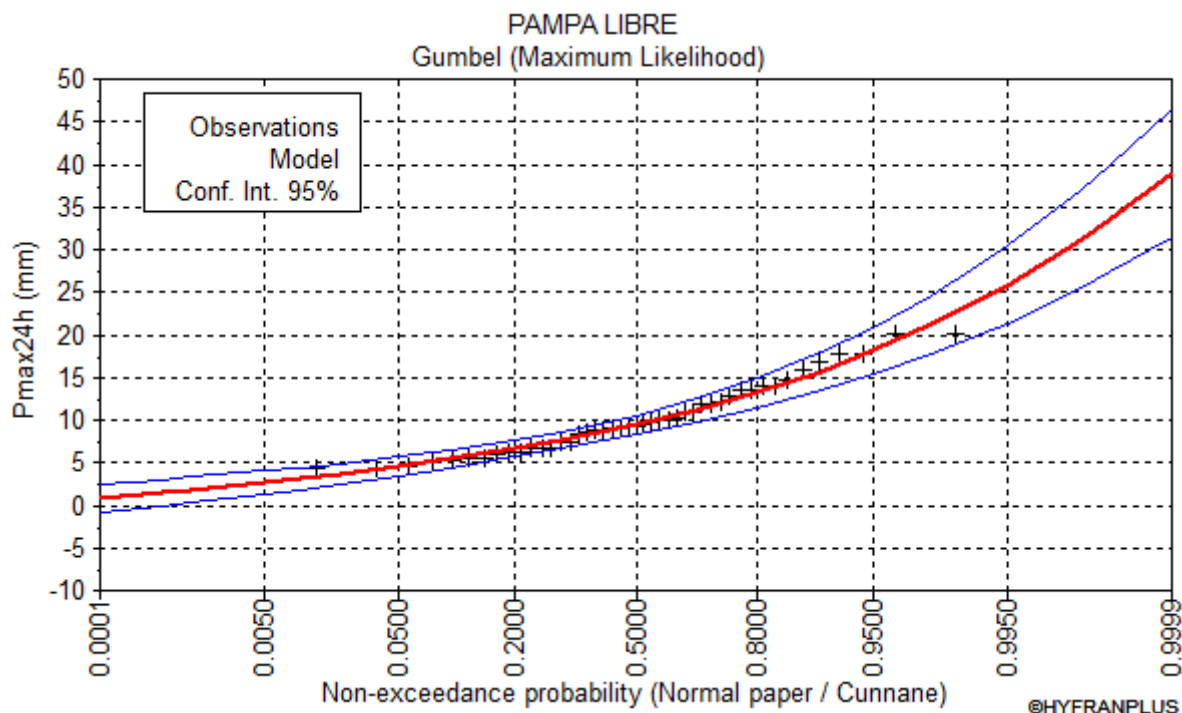


Ilustración 30: Estación Parquin – Ajuste de Distribución
(TYP SA, 2021)

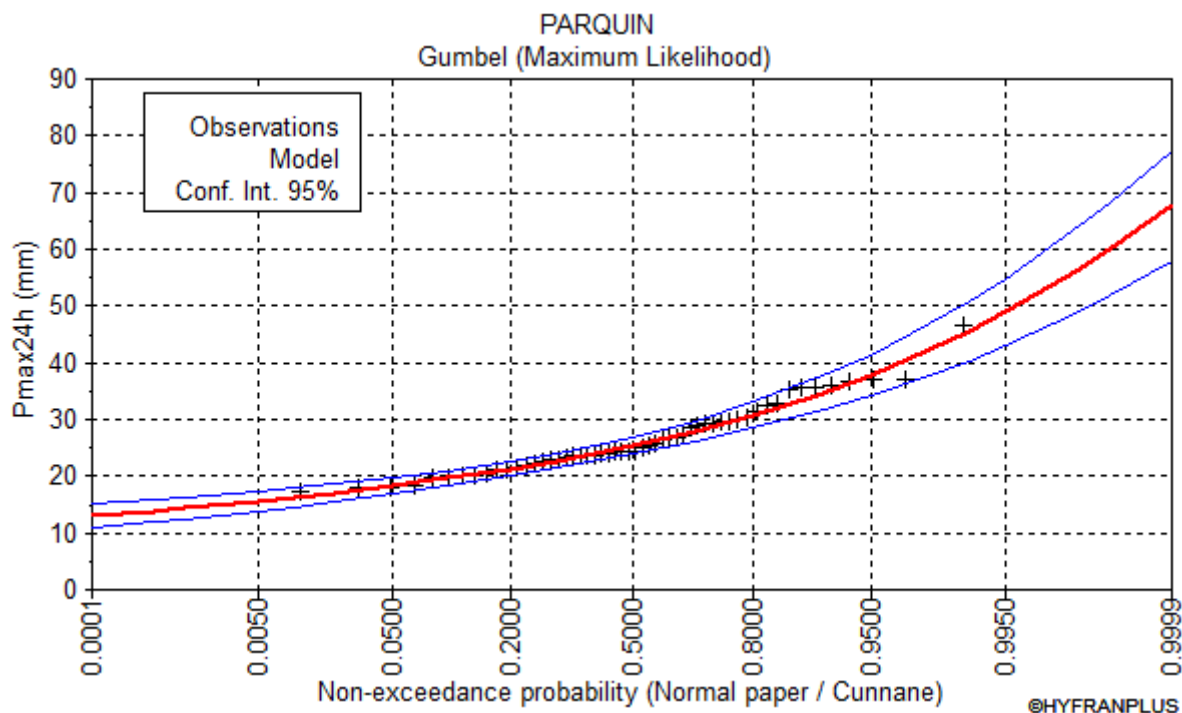


Ilustración 31: Estación Picoy – Ajuste de Distribución
(TYP SA, 2021)

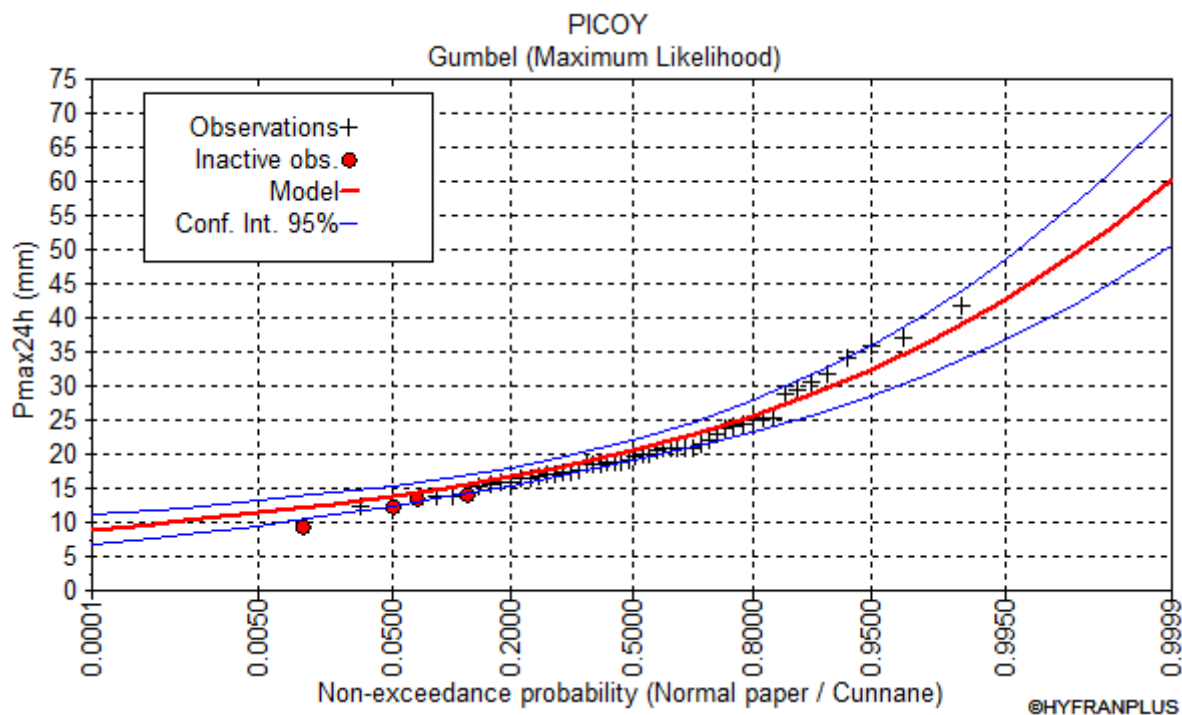


Ilustración 32: Estación San Rafael – Ajuste de Distribución

(TYP SA, 2021)

SAN RAFAEL

GEV (Maximum Likelihood)

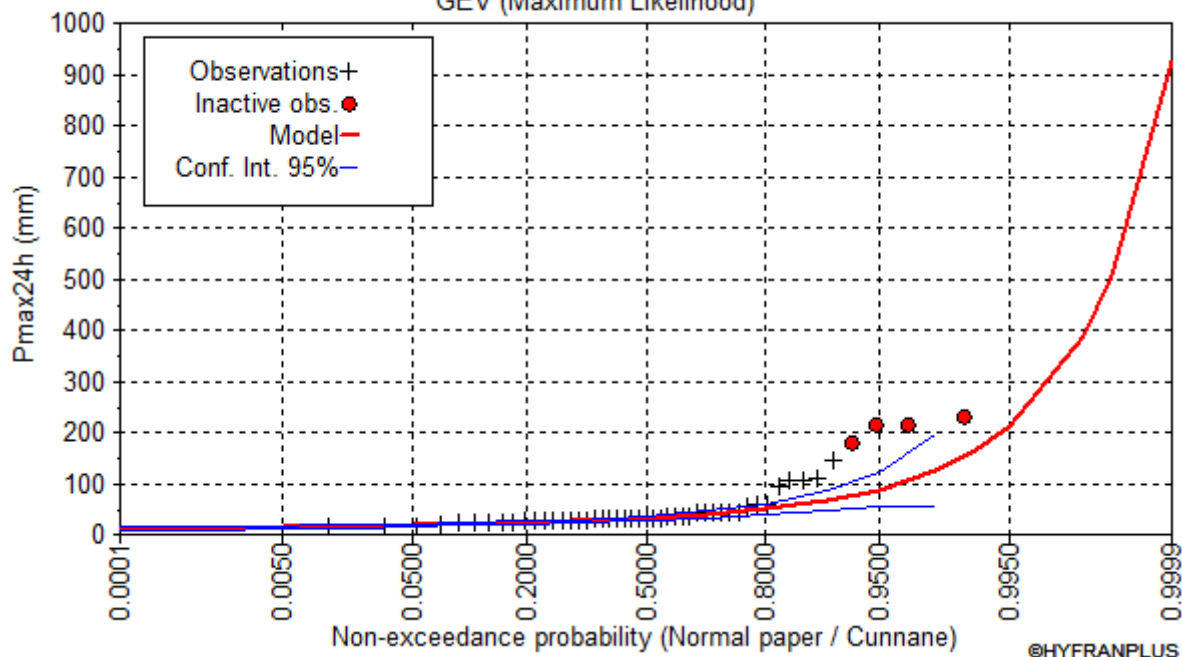
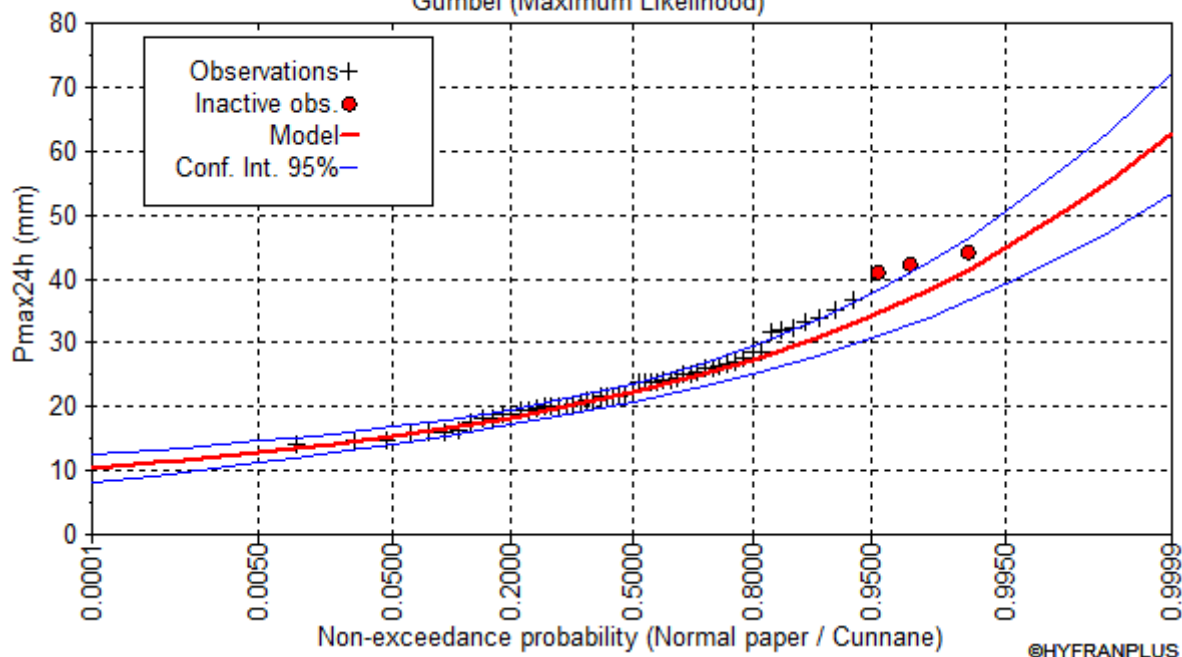


Ilustración 33: Estación Santa Cruz – Ajuste de Distribución

(TYP SA, 2021)

SANTA CRUZ

Gumbel (Maximum Likelihood)



5.1.1.4 Pruebas de Bondad y Factor de Ajuste

La prueba de bondad y factor de ajuste se realizó mediante los criterios de información Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Estos criterios de información están asociados con el método de máxima verosimilitud, los cuales en modelos causales están basados en el supuesto de que las variables observadas siguen una distribución normal multi variante. El AIC penaliza un exceso de parámetros ajustados, mientras el BIC se penaliza el número de parámetros teniendo en cuenta que el AIC podría no ser asintóticamente justificable.

La función de máxima de verosimilitud está dada por la máxima probabilidad de que ocurra o se dé una determinada muestra si es cierta la estimación que hemos efectuado, o el estimador que hemos planteado.

El criterio de información Akaike propuesto en 1974 y utilizado como un estimador insesgado, precisa que el modelo de probabilidad de menor valor AIC es el que se selecciona como el menor al que se le ajustan los datos. La función está dada por la maximización del logaritmo de la máxima verosimilitud denotado como $(\ln L)$ y K es el número de parámetros de la función de probabilidad.

$$AIC = 2 \times K - 2 \times \ln L$$

La estructura del AIC está compuesta por la maximización del logaritmo de verosimilitud como componente de la falta de ajuste del modelo y K como el número de parámetros estimados dentro del modelo como componente de penalidad. La penalidad es una medida de la complejidad o compensación por el sesgo debido a la falta de ajuste cuando los estimadores de máxima verosimilitud son empleados (Bozdogan, 1987 en Acuña et. al., 2012).

BIC sirve para la selección del modelo entre un conjunto finito de modelos, está estrechamente relacionado con el criterio AIC y se basa en parte en la función de probabilidad. Para mejorar la inconsistencia del criterio AIC, Akaike 1978 y Schwarz 1978 presentaron un criterio de selección de modelos desde la perspectiva bayesiana. Schwarz estableció que la solución de bayes consiste en seleccionar el modelo con una alta probabilidad a posteriori. El criterio de información bayesiana (BIC) se define como:

$$BIC = 2 \times \ln(L) + K \times \ln(n)$$

Estos dos criterios (BIC y AIC) permiten construir una clasificación de modelos estadísticos que tienen en cuenta el principio de parsimonia. Los mejores ajustes corresponden a los valores más bajos.

Ilustración 34: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Alcantarilla (TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Sample size :

52

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	7.396	25.00	53.21	140.204	134.350
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	6.201	25.00	32.59	141.185	135.331
GEV (Maximum Likelihood)	3	8.908	25.00	12.33	143.128	137.275
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	4.467	25.00	1.87	146.897	142.994

P(Mi) : A priori probability
P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)
BIC : Bayesian information criterion
AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

7.1380

OK

Printing

Ilustración 35: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Andajes (TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Sample size :

38

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	39.514	20.00	66.63	240.119	236.844
GEV (Maximum Likelihood)	3	40.099	20.00	11.27	243.673	238.760
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	39.684	20.00	10.93	243.735	238.822
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	39.795	20.00	10.89	243.741	238.828
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	34.838	20.00	0.27	251.100	246.188

P(Mi) : A priori probability
P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)
BIC : Bayesian information criterion
AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

39.6160

OK

Printing

Ilustración 36: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Gorgor (TYPESA, 2021)

Comparison criteria of the distributions

Return period :
WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Sample size :

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	51.619	20.00	60.37	260.136	256.969
GEV (Maximum Likelihood)	3	52.799	20.00	10.65	263.606	258.856
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	52.541	20.00	10.01	263.730	258.979
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	52.058	20.00	9.97	263.737	258.987
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	50.921	20.00	9.01	263.941	259.190

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

Ilustración 37: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Lomas de Lachay
(TYPESA, 2021)

Comparison criteria of the distributions

Return period :

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Sample size :

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	15.848	20.00	38.67	244.114	240.413
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	17.523	20.00	19.64	245.469	239.919
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	17.918	20.00	15.60	245.930	240.380
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	18.431	20.00	14.38	246.092	240.541
GEV (Maximum Likelihood)	3	18.982	20.00	11.71	246.503	240.953

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

OK

Printing

Ilustración 38: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Oyón
(TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

Sample size :

54

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	36.615	20.00	40.64	313.686	309.708
GEV (Maximum Likelihood)	3	32.285	20.00	16.70	315.464	309.497
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	32.780	20.00	14.35	315.768	309.801
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	32.872	20.00	14.18	315.792	309.825
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	32.925	20.00	14.13	315.799	309.832

P(Mi) : A priori probability

P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)

BIC : Bayesian information criterion

AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

34.2892

OK

Printing

Ilustración 39: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Paccho
(TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

Sample size :

55

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	52.133	20.00	37.56	381.075	377.060
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	45.343	20.00	16.28	382.747	376.725
GEV (Maximum Likelihood)	3	44.709	20.00	15.73	382.815	376.793
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	45.473	20.00	15.62	382.830	376.808
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	45.447	20.00	14.81	382.936	376.914

P(Mi) : A priori probability

P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)

BIC : Bayesian information criterion

AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

47.8291

OK

Printing

Ilustración 40: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Pallac
(TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

Sample size :

54

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	50.752	20.00	56.85	390.928	386.950
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	55.342	20.00	13.27	393.837	387.870
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	52.621	20.00	12.16	394.013	388.046
Pearson type 3 (Method of moments)	3	49.535	20.00	9.12	394.587	388.620
GEV (Maximum Likelihood)	3	53.641	20.00	8.60	394.705	388.738

P(Mi) : A priori probability

P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)

BIC : Bayesian information criterion

AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

51.7260

OK

Printing

Ilustración 41: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Pampa Libre
(TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

Sample size :

45

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	23.561	20.00	42.04	257.538	253.924
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	25.957	20.00	31.68	258.103	252.683
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	25.678	20.00	10.18	260.374	254.954
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	24.095	20.00	9.50	260.511	255.091
GEV (Maximum Likelihood)	3	24.471	20.00	6.60	261.240	255.820

P(Mi) : A priori probability

P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)

BIC : Bayesian information criterion

AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

24.6461

OK

Printing

Ilustración 42: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Parquin
(TYPESA, 2021)

Return period :
Sample size :

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	45.614	20.00	57.55	346.912	342.934
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	46.109	20.00	15.78	349.499	343.532
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	46.929	20.00	10.30	350.352	344.385
GEV (Maximum Likelihood)	3	46.557	20.00	8.21	350.805	344.838
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	45.470	20.00	8.16	350.819	344.852

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

Ilustración 43: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Picoy
(TYPESA, 2021)

Return period :
Sample size :

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developped. It should therefore only be used as an indication.

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	39.572	20.00	43.62	306.130	302.387
GEV (Maximum Likelihood)	3	45.723	20.00	15.95	308.142	302.528
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	43.718	20.00	14.92	308.275	302.661
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	43.888	20.00	14.70	308.305	302.691
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	41.229	20.00	10.80	308.921	303.308

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

Ilustración 44: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación San Rafael
(TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developed. It should therefore only be used as an indication.

Sample size :

48

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	39.572	20.00	43.62	306.130	302.387
GEV (Maximum Likelihood)	3	45.723	20.00	15.95	308.142	302.528
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	43.718	20.00	14.92	308.275	302.661
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	43.888	20.00	14.70	308.305	302.691
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	41.229	20.00	10.80	308.921	303.308

P(Mi) : A priori probability
P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)
BIC : Bayesian information criterion
AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

41.9853

OK

Printing

Ilustración 45: Ajuste de distribución de probabilidades de la Precipitación – Estación Santa Cruz
(TYPESA, 2021)

Return period :

T= 100

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developed. It should therefore only be used as an indication.

Sample size :

48

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	39.572	20.00	43.62	306.130	302.387
GEV (Maximum Likelihood)	3	45.723	20.00	15.95	308.142	302.528
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	43.718	20.00	14.92	308.275	302.661
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	43.888	20.00	14.70	308.305	302.691
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	41.229	20.00	10.80	308.921	303.308

P(Mi) : A priori probability
P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz)
BIC : Bayesian information criterion
AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

41.9853

OK

Printing

5.1.2 Resultados de PP 24 horas

En la siguiente Tabla se sintetiza el resultado de las precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno en las estaciones analizadas. Es de mencionar que luego del ajuste de distribución de probabilidades se decidió no usar la estación de San Rafael dado que los valores estimados no guardaban relación con las demás estaciones, además de encontrarse en otro tipo de orografía.

Tabla 33: Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno en las estaciones de la cuenca del río Huaura (TYPESA, 2021)

Tr	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyón	Paccho	Pallac	Pampa libre	Parquin	Picoy	Santa Cruz
2	1.1	20.6	21.8	5.2	21.0	24.9	20.4	9.5	25.4	20.5	22.2
10	3.1	29.0	35.1	10.0	28.0	37.0	33.9	15.7	34.4	29.0	30.8
25	4.5	33.2	41.8	12.3	31.5	43.1	40.7	18.9	38.9	33.3	35.1
50	5.9	36.4	46.7	14.1	34.0	47.6	45.8	21.2	42.3	36.4	38.4
100	7.4	39.5	51.6	15.8	36.6	52.1	50.8	23.6	45.6	39.6	41.6
200	9.2	42.6	56.5	17.6	39.2	56.6	55.7	25.9	48.9	42.7	44.7

5.1.3 IDF y Elaboración de Hietogramas

Para elaboración de los hietogramas se decidió analizar la información base utilizada en el desarrollo de las curvas IDF desarrolladas por el SENAMHI (Modulo para la estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)).

Las curvas IDF desarrolladas por el SENAMHI usan como referencia los estudios de “Caracterización de eventos de tormenta pluviométricas de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú” y “Regionalización de las precipitaciones máximas en el Perú”. De estos estudios se extrajo la información de duración de las tormentas y el perfil de lluvia.

El estudio “Caracterización de eventos de tormenta pluviométricas de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú” analizó la información estadística de los eventos de tormenta pluviométrica (TP) a nivel nacional de cada estación, considerando la: estacionalidad, duración, total de lluvia, intensidad y el ciclo diurno de eventos de TP basados en cuartiles así como en el patrón del evento de TP utilizando la metodología de las “Curvas Huff” considerando las regiones de precipitaciones máximas en 24 horas previamente determinadas por SENAMHI (Tupac, 2017). Ver Ilustración 46.

El estudio de caracterización de eventos de tormentas nos muestra una imagen con duraciones de TP en estaciones, en base a eso se pudo estimar las duraciones de lluvia. Ver Ilustración 47.

Ilustración 46: Regiones de precipitaciones máximas
(Regionalización de precipitaciones extremas (Tupac, 2017) – caracterizaciones eventos de tormenta pluviométrica de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú (Quijada, 2020))

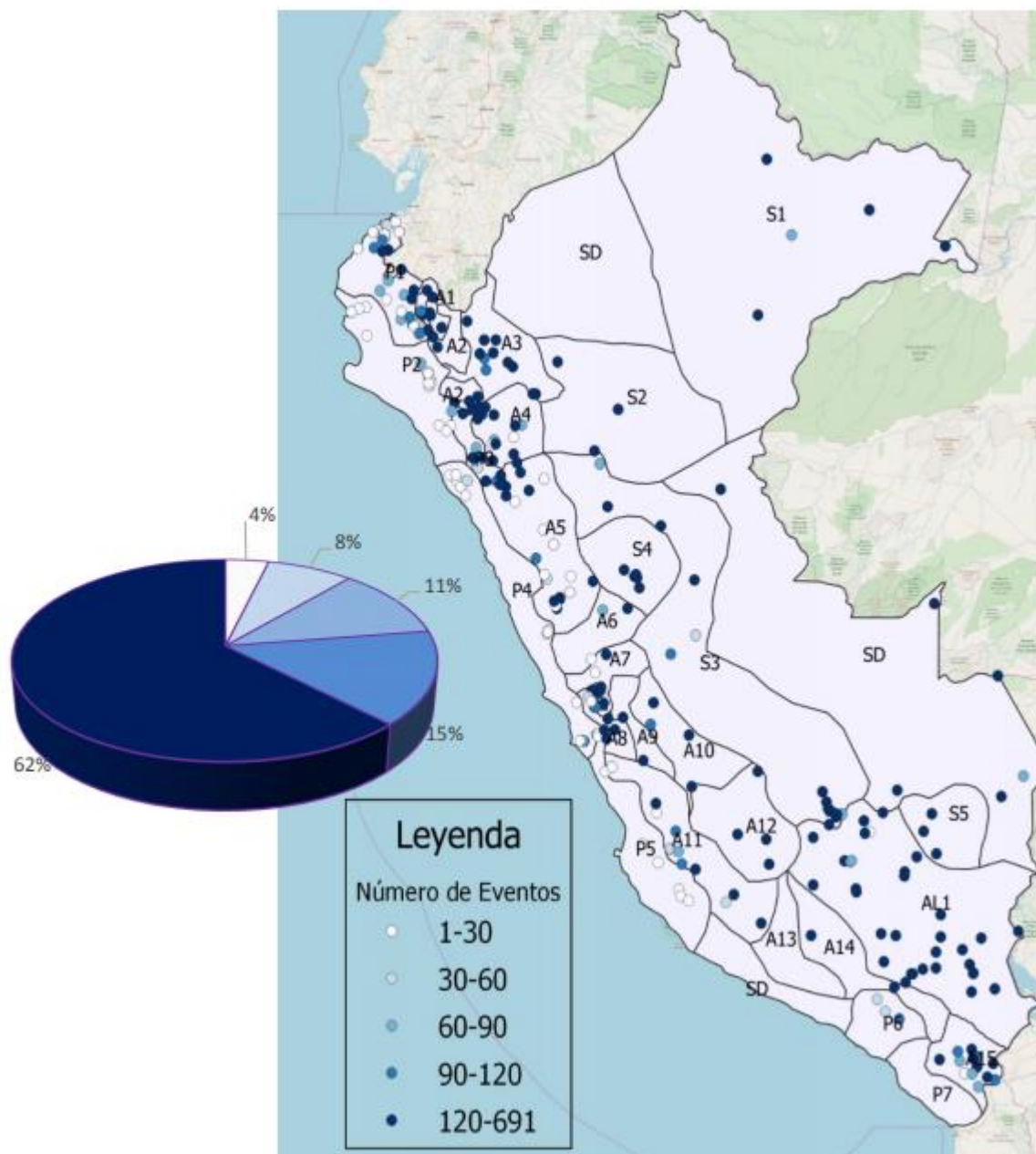
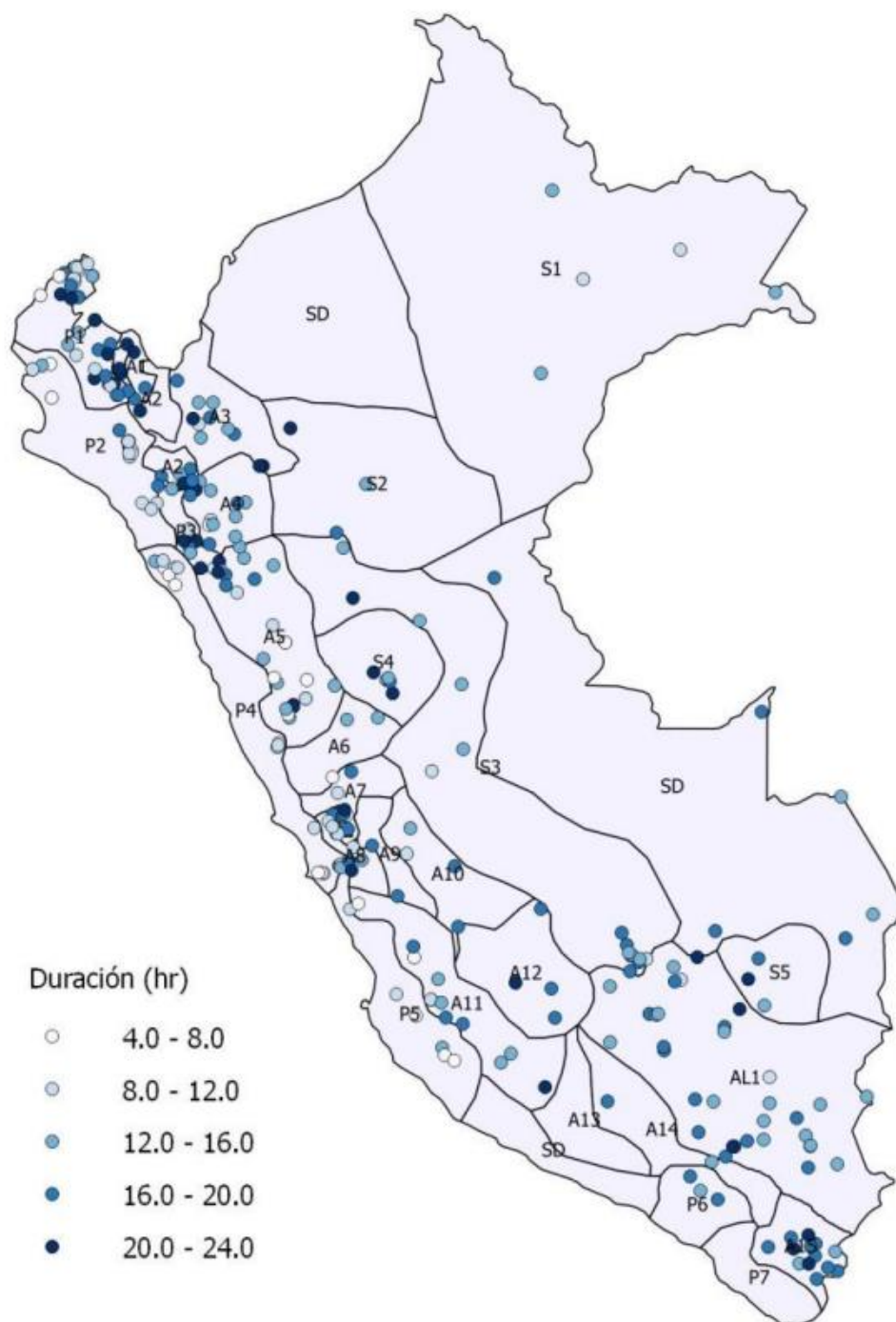


Ilustración 47: Mapa de regiones de precipitaciones máximas – duraciones de tormenta
(Regionalización de precipitaciones extremas (Tupac, 2017) – Caracterizaciones eventos de tormenta pluviométrica de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú (Quijada, 2020))



La fuente de la Ilustración 47 está basado en "Regionalización de precipitaciones extremas (Tupac, 2017) – caracterizaciones eventos de tormenta pluviométrica de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú (Quijada, 2020)"

Ilustración 48: Regionalización de precipitaciones de la cuenca del río Huaura
(TYPSA ,2021 y Tupac, 2017)

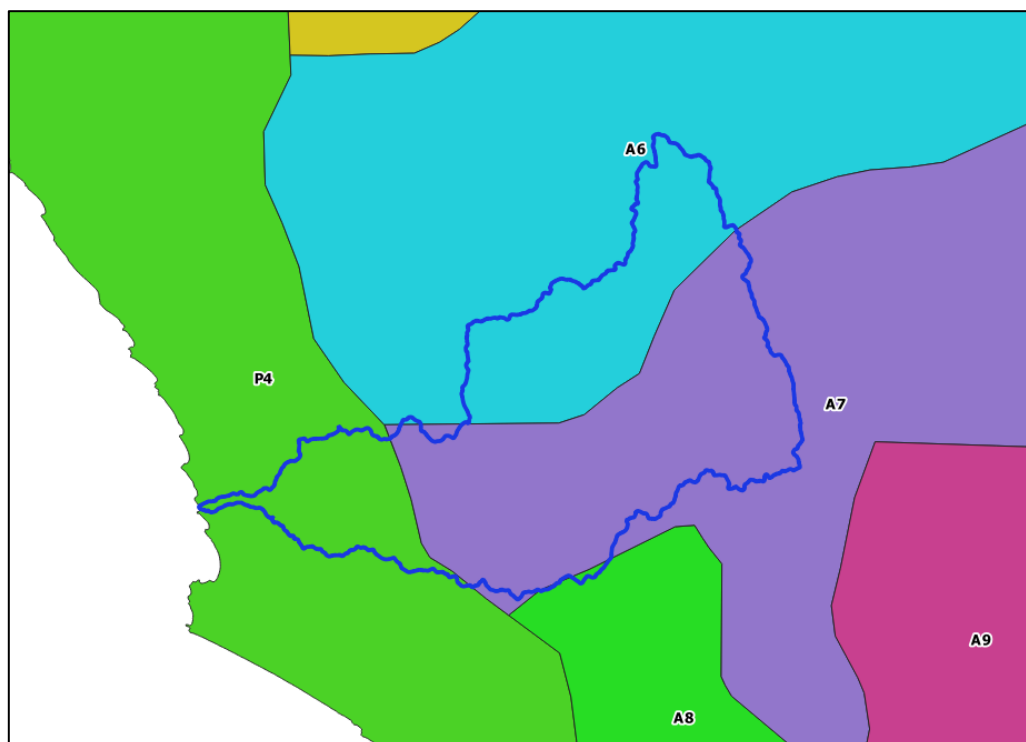


Ilustración 49: Coeficientes de duración adimensionales de las curvas Huff para cada clasificación y para las probabilidades de ocurrencia de 10%, 50% y 90% para la región A6
(Quijada, 2020)

REGION A6												
Duración	Cuartil I			Cuartil II			Cuartil III			Cuartil IV		
(%)	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.042	0.009	0.06	0.122	0.005	0.023	0.052	0.004	0.013	0.031	0.003	0.006	0.013
0.083	0.018	0.12	0.244	0.009	0.047	0.105	0.007	0.026	0.064	0.007	0.011	0.027
0.125	0.054	0.181	0.366	0.014	0.071	0.157	0.011	0.044	0.1	0.022	0.043	0.045
0.167	0.11	0.272	0.463	0.022	0.103	0.211	0.016	0.059	0.135	0.028	0.051	0.092
0.208	0.19	0.349	0.551	0.045	0.14	0.262	0.025	0.078	0.175	0.034	0.056	0.137
0.25	0.294	0.416	0.625	0.07	0.19	0.314	0.036	0.125	0.217	0.039	0.062	0.168
0.292	0.366	0.46	0.69	0.134	0.261	0.399	0.064	0.155	0.253	0.058	0.077	0.202
0.333	0.406	0.519	0.743	0.178	0.333	0.492	0.088	0.195	0.298	0.077	0.092	0.223
0.375	0.462	0.576	0.789	0.235	0.403	0.603	0.112	0.238	0.35	0.096	0.108	0.24
0.417	0.495	0.633	0.828	0.278	0.499	0.694	0.136	0.283	0.389	0.125	0.174	0.272
0.458	0.538	0.69	0.857	0.385	0.581	0.753	0.175	0.328	0.422	0.154	0.241	0.312
0.5	0.572	0.735	0.89	0.472	0.638	0.819	0.198	0.373	0.479	0.184	0.308	0.351
0.542	0.601	0.773	0.906	0.567	0.708	0.869	0.277	0.419	0.552	0.243	0.344	0.405
0.583	0.635	0.806	0.919	0.618	0.76	0.897	0.343	0.492	0.627	0.302	0.379	0.46
0.625	0.675	0.84	0.935	0.677	0.804	0.927	0.419	0.575	0.728	0.361	0.415	0.493
0.667	0.709	0.87	0.949	0.716	0.844	0.94	0.492	0.667	0.815	0.42	0.451	0.512
0.708	0.76	0.899	0.957	0.765	0.876	0.957	0.575	0.763	0.871	0.479	0.487	0.537
0.75	0.805	0.925	0.971	0.815	0.917	0.983	0.68	0.84	0.94	0.527	0.542	0.591
0.792	0.848	0.95	0.98	0.855	0.941	0.987	0.766	0.895	0.956	0.624	0.646	0.654
0.833	0.894	0.965	0.989	0.885	0.96	0.99	0.85	0.94	0.971	0.707	0.754	0.766
0.875	0.92	0.977	0.992	0.914	0.975	0.993	0.905	0.961	0.982	0.79	0.863	0.887
0.917	0.951	0.986	0.995	0.943	0.984	0.996	0.937	0.974	0.991	0.864	0.928	0.938
0.958	0.975	0.993	0.998	0.971	0.992	0.998	0.968	0.987	0.995	0.932	0.964	0.969
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Caracterizaciones eventos de tormenta pluviométrica de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú (Quijada, 2020)

Ilustración 50: Coeficientes de duración adimensionales de las curvas Huff para cada clasificación y para las probabilidades de ocurrencia de 10%, 50% y 90% para la región A7 (Quijada, 2020)

REGION A7												
Duración	Cuartil I			Cuartil II			Cuartil III			Cuartil IV		
(%)	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.042	0.01	0.066	0.121	0.005	0.02	0.053	0.005	0.019	0.048	0.008	0.018	0.052
0.083	0.021	0.132	0.242	0.01	0.04	0.107	0.01	0.037	0.095	0.016	0.035	0.103
0.125	0.039	0.206	0.357	0.017	0.061	0.16	0.016	0.058	0.144	0.024	0.053	0.155
0.167	0.09	0.278	0.473	0.027	0.083	0.209	0.022	0.078	0.193	0.032	0.081	0.206
0.208	0.185	0.361	0.569	0.041	0.118	0.258	0.033	0.108	0.234	0.041	0.112	0.244
0.25	0.278	0.439	0.634	0.063	0.167	0.316	0.044	0.139	0.274	0.049	0.137	0.276
0.292	0.364	0.506	0.681	0.103	0.233	0.386	0.065	0.174	0.309	0.072	0.171	0.318
0.333	0.414	0.56	0.731	0.139	0.3	0.486	0.083	0.209	0.34	0.097	0.202	0.336
0.375	0.446	0.604	0.764	0.2	0.382	0.577	0.101	0.25	0.372	0.114	0.23	0.362
0.417	0.479	0.645	0.803	0.259	0.467	0.677	0.118	0.289	0.402	0.136	0.263	0.382
0.458	0.521	0.679	0.852	0.353	0.546	0.743	0.152	0.321	0.439	0.157	0.286	0.414
0.5	0.542	0.726	0.886	0.444	0.62	0.824	0.185	0.347	0.487	0.174	0.311	0.459
0.542	0.583	0.756	0.901	0.525	0.681	0.853	0.256	0.412	0.558	0.202	0.336	0.481
0.583	0.617	0.785	0.914	0.598	0.745	0.889	0.333	0.475	0.627	0.227	0.367	0.508
0.625	0.662	0.819	0.928	0.651	0.792	0.913	0.397	0.555	0.71	0.266	0.399	0.546
0.667	0.697	0.851	0.944	0.696	0.833	0.931	0.467	0.641	0.793	0.28	0.447	0.583
0.708	0.732	0.878	0.952	0.739	0.873	0.949	0.554	0.728	0.868	0.296	0.491	0.618
0.75	0.776	0.909	0.967	0.785	0.913	0.972	0.647	0.812	0.941	0.309	0.536	0.658
0.792	0.822	0.933	0.977	0.826	0.94	0.979	0.733	0.877	0.959	0.424	0.607	0.722
0.833	0.858	0.954	0.985	0.87	0.958	0.987	0.8	0.925	0.979	0.539	0.685	0.8
0.875	0.899	0.969	0.99	0.904	0.971	0.99	0.857	0.951	0.986	0.65	0.768	0.881
0.917	0.935	0.981	0.993	0.936	0.98	0.994	0.906	0.969	0.991	0.767	0.845	0.929
0.958	0.969	0.991	0.997	0.968	0.99	0.997	0.953	0.984	0.996	0.885	0.923	0.98
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Caracterizaciones eventos de tormenta pluviométrica de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú (Quijada, 2020)

Ilustración 51: Coeficientes de duración adimensionales de las curvas Huff para cada clasificación y para las probabilidades de ocurrencia de 10%, 50% y 90% para la región P4 (Quijada, 2020)

REGION P4												
Duración	Cuartil I			Cuartil II			Cuartil III			Cuartil IV		
(%)	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.042	0.025	0.06	0.099	0.008	0.033	0.052	0.009	0.025	0.044	0.007	0.033	0.05
0.083	0.05	0.119	0.198	0.017	0.066	0.105	0.017	0.05	0.087	0.013	0.066	0.099
0.125	0.077	0.18	0.297	0.029	0.099	0.157	0.026	0.075	0.131	0.02	0.098	0.149
0.167	0.113	0.242	0.399	0.046	0.133	0.209	0.035	0.1	0.177	0.026	0.131	0.192
0.208	0.227	0.306	0.502	0.07	0.175	0.258	0.056	0.128	0.224	0.033	0.163	0.239
0.25	0.293	0.374	0.585	0.092	0.217	0.317	0.067	0.171	0.262	0.04	0.196	0.286
0.292	0.334	0.436	0.632	0.162	0.269	0.39	0.1	0.214	0.295	0.043	0.224	0.311
0.333	0.366	0.49	0.707	0.23	0.333	0.484	0.133	0.246	0.34	0.047	0.251	0.341
0.375	0.41	0.537	0.763	0.28	0.397	0.566	0.167	0.287	0.385	0.051	0.278	0.374
0.417	0.453	0.585	0.799	0.331	0.464	0.662	0.173	0.333	0.43	0.057	0.307	0.407
0.458	0.5	0.62	0.845	0.4	0.533	0.727	0.214	0.366	0.477	0.094	0.348	0.442
0.5	0.534	0.662	0.856	0.473	0.598	0.805	0.25	0.408	0.524	0.132	0.385	0.474
0.542	0.572	0.691	0.872	0.531	0.635	0.827	0.318	0.486	0.575	0.176	0.406	0.511
0.583	0.606	0.721	0.89	0.587	0.678	0.852	0.38	0.543	0.648	0.22	0.421	0.547
0.625	0.646	0.759	0.903	0.633	0.72	0.876	0.452	0.623	0.722	0.28	0.449	0.583
0.667	0.685	0.8	0.922	0.674	0.763	0.903	0.569	0.69	0.799	0.35	0.487	0.619
0.708	0.739	0.835	0.949	0.719	0.803	0.923	0.649	0.763	0.879	0.421	0.542	0.655
0.75	0.784	0.869	0.965	0.759	0.843	0.948	0.711	0.833	0.952	0.479	0.581	0.693
0.792	0.819	0.894	0.973	0.804	0.876	0.96	0.778	0.869	0.969	0.521	0.651	0.745
0.833	0.862	0.919	0.981	0.843	0.904	0.973	0.823	0.905	0.981	0.61	0.721	0.796
0.875	0.896	0.94	0.986	0.883	0.929	0.982	0.868	0.929	0.986	0.706	0.791	0.847
0.917	0.931	0.96	0.991	0.922	0.953	0.988	0.912	0.952	0.991	0.804	0.86	0.905
0.958	0.965	0.98	0.995	0.961	0.976	0.994	0.956	0.976	0.995	0.902	0.93	0.952
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Caracterizaciones eventos de tormenta pluviométrica de utilidad para el diseño hidráulico en el Perú (Quijada, 2020)

El módulo para la estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia elaborado por el SENAMHI es una valiosa herramienta para el análisis de intensidades. Sin embargo, se decidió utilizar la metodología

descrita líneas arribas (duración y patrón de lluvia) ya que nos permite tener el entendimiento de los cálculos realizados.

En la Tabla 34 se presentan las duraciones de lluvia por cada subcuenca en el río Huaura, además de a qué región de precipitación máxima pertenecen.

Tabla 34: Duraciones de tormenta de acuerdo con regionalización de Precipitaciones máximas en el Perú
(TYPESA, 2021 y Tupac, 2017)

Nombre	Centroide Este (m)	Centroide Norte (m)	Longitud	Latitud	Región Pmax	Unidad Hidrográfica	duración Tormenta (horas)
S9	300,993	8,814,153	-76.820	-10.722	A6	ALTO HUAURA	14
S7	304,768	8,822,359	-76.785	-10.648	A6	ALTO HUAURA	14
S5	306,344	8,824,814	-76.770	-10.626	A6	ALTO HUAURA	14
S4	294,519	8,805,372	-76.879	-10.801	A6	ALTO HUAURA	14
S3	296,267	8,809,401	-76.863	-10.765	A6	ALTO HUAURA	14
S2	292,801	8,802,106	-76.895	-10.831	A6	ALTO HUAURA	14
S1	295,035	8,803,472	-76.875	-10.818	A6	ALTO HUAURA	14
S15	303,146	8,840,549	-76.799	-10.484	A6	YARUCAYA	14
S14	310,341	8,832,177	-76.733	-10.560	A6	YARUCAYA	14
S11	290,316	8,811,096	-76.917	-10.749	A6	ALTO HUAURA	14
S21	289,264	8,799,162	-76.928	-10.857	A6	MEDIO HUAURA	14
S55	302,919	8,792,417	-76.803	-10.919	A6	ALTO HUAURA	14
S66	298,011	8,789,739	-76.848	-10.943	A6	ALTO HUAURA	14
S65	323,441	8,797,872	-76.615	-10.870	A6	ALTO HUAURA	14
S61	323,638	8,784,510	-76.614	-10.991	A6	ALTO HUAURA	14
S59	276,031	8,769,312	-77.051	-11.126	A6	YARUCAYA	14
S75	289,341	8,769,120	-76.929	-11.129	A6	ALTO HUAURA	14
S71	277,029	8,761,921	-77.042	-11.193	A6	ALTO HUAURA	14
S83	261,893	8,763,525	-77.180	-11.177	A6	MEDIO HUAURA	14
S82	270,878	8,768,592	-77.098	-11.132	A6	MEDIO ALTO HUAURA	14
S81	299,648	8,781,876	-76.834	-11.014	A6	ALTO HUAURA	14
S80	294,341	8,782,434	-76.882	-11.009	A6	ALTO HUAURA	14
S78	280,658	8,765,986	-77.009	-11.156	A6	ALTO HUAURA	14
S84	270,005	8,778,231	-77.105	-11.045	A6	MEDIO HUAURA	14
S10	242,962	8,771,671	-77.353	-11.102	A6	HUANCOY	14
S19	310,386	8,824,976	-76.733	-10.625	A7	CHECRAS	16
S18	299,318	8,821,984	-76.835	-10.651	A7	CHECRAS	16
S17	308,251	8,838,503	-76.752	-10.502	A7	CHECRAS	16
S13	299,924	8,831,493	-76.829	-10.565	A7	ALTO HUAURA	16
S12	294,703	8,817,103	-76.877	-10.695	A7	ALTO HUAURA	16

Nombre	Centroide Este (m)	Centroide Norte (m)	Longitud	Latitud	Región Pmax	Unidad Hidrográfica	duración Tormenta (horas)
S27	307,416	8,828,400	-76.760	-10.594	A7	BAJO HUAURA	16
S25	282,820	8,797,964	-76.987	-10.867	A7	CHECRAS	16
S24	278,497	8,804,677	-77.026	-10.807	A7	CHECRAS	16
S23	283,371	8,809,627	-76.981	-10.762	A7	MEDIO HUAURA	16
S22	284,799	8,797,877	-76.969	-10.868	A7	CHECRAS	16
S20	281,982	8,793,079	-76.995	-10.912	A7	CHECRAS	16
S38	283,487	8,796,513	-76.981	-10.881	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S36	267,615	8,805,011	-77.125	-10.803	A7	HUANANGUE	16
S31	269,001	8,791,406	-77.114	-10.926	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S30	305,082	8,816,676	-76.782	-10.700	A7	MEDIO HUAURA	16
S29	311,376	8,818,498	-76.725	-10.683	A7	CHECRAS	16
S28	314,911	8,823,558	-76.692	-10.638	A7	CHECRAS	16
S47	316,522	8,817,159	-76.678	-10.696	A7	HUANANGUE	16
S46	303,328	8,808,078	-76.799	-10.777	A7	HUANANGUE	16
S43	308,665	8,818,815	-76.749	-10.680	A7	BAJO HUAURA	16
S41	251,437	8,783,307	-10.998	-77.275	A7	HUANANGUE	16
S40	308,190	8,789,194	-76.755	-10.948	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S39	311,986	8,795,226	-76.720	-10.894	A7	BAJO HUAURA	16
S58	320,462	8,792,594	-76.643	-10.918	A7	HUANANGUE	16
S57	310,974	8,789,382	-76.730	-10.947	A7	ALTO HUAURA	16
S54	301,128	8,795,741	-76.819	-10.889	A7	CHECRAS	16
S53	325,747	8,789,300	-76.595	-10.948	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S51	305,482	8,785,068	-76.780	-10.985	A7	CHECRAS	16
S49	305,572	8,802,513	-76.778	-10.828	A7	HUANANGUE	16
S67	316,370	8,803,950	-76.680	-10.815	A7	CHECRAS	16
S63	317,576	8,785,674	-76.670	-10.980	A7	CHECRAS	16
S62	314,469	8,782,693	-76.698	-11.007	A7	CHECRAS	16
S60	318,982	8,799,510	-76.656	-10.855	A7	HUANANGUE	16
S74	267,483	8,770,604	-77.129	-11.114	A7	HUANANGUE	16
S73	301,909	8,777,377	-76.813	-11.055	A7	CHECRAS	16
S72	287,059	8,763,615	-76.950	-11.178	A7	CHECRAS	16
S70	295,648	8,776,976	-76.871	-11.058	A7	HUANANGUE	16
S69	271,235	8,760,722	-77.095	-11.203	A7	CHECRAS	16
S68	266,275	8,763,909	-77.140	-11.174	A7	ALTO HUAURA	16
S79	286,400	8,774,954	-76.955	-11.076	A7	HUANANGUE	16
S77	274,238	8,775,704	-77.067	-11.068	A7	HUANANGUE	16
S76	278,477	8,777,845	-77.028	-11.049	A7	CHECRAS	16
S91	262,048	8,774,653	-77.178	-11.077	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S90	262,462	8,771,204	-77.175	-11.108	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16

Nombre	Centroide Este (m)	Centroide Norte (m)	Longitud	Latitud	Región Pmax	Unidad Hidrográfica	duración Tormenta (horas)
S89	264,055	8,776,996	-77.160	-11.056	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S88	257,465	8,769,908	-77.221	-11.119	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S87	260,110	8,767,879	-77.196	-11.138	A7	MEDIO HUAURA	16
S86	271,921	8,780,539	-77.088	-11.024	A7	MEDIO HUAURA	16
S85	267,726	8,777,133	-77.126	-11.055	A7	MEDIO HUAURA	16
S94	288,960	8,789,378	-76.931	-10.945	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S93	282,529	8,783,304	-76.990	-11.000	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S92	239,657	8,766,862	-77.384	-11.146	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S16	236,642	8,778,821	-77.410	-11.037	A7	HUANANGUE	16
S8	219,890	8,774,741	-77.564	-11.073	A7	HUANANGUE	16
S33	251,018	8,768,117	-77.280	-11.135	A7	MEDIO BAJO HUAURA	16
S6	227,041	8,773,047	-77.499	-11.089	A7	ALTO HUAURA	16
S102	235,005	8,771,827	-77.426	-11.101	A7	HUANANGUE	16
S26	304,523	8,832,891	-76.786	-10.553	P4	BAJO HUAURA	10
S37	277,064	8,796,822	-77.039	-10.877	P4	BAJO HUAURA	10
S34	272,683	8,803,892	-77.079	-10.813	P4	BAJO HUAURA	10
S45	314,919	8,812,028	-76.693	-10.742	P4	BAJO HUAURA	10
S42	254,646	8,773,820	-77.246	-11.084	P4	BAJO HUAURA	10
S56	295,910	8,796,793	-76.867	-10.879	P4	BAJO HUAURA	10
S99	260,681	8,782,318	-11.007	-77.190	P4	BAJO HUAURA	10
S98	266,018	8,782,996	-77.141	-11.002	P4	BAJO HUAURA	10
S97	276,402	8,781,320	-77.046	-11.018	P4	BAJO HUAURA	10
S96	275,624	8,784,749	-77.053	-10.986	P4	BAJO HUAURA	10
S95	277,948	8,789,751	-77.032	-10.941	P4	BAJO HUAURA	10
S101	235,682	8,783,240	-77.419	-10.997	P4	BAJO HUAURA	10
S100	246,609	8,776,302	-77.319	-11.061	P4	BAJO HUAURA	10

5.1.4 Distribución Espacial

Para el presente informe se han analizado distribuir tres métodos para distribuir espacialmente la precipitación máxima de 24 horas para diferentes periodos de retorno, estos fueron el método de polígonos de Thiessen, el método de Isoyetas y la regionalización por altitud media. En los siguientes numerales se describe la aplicación de los métodos indicados.

Finalmente, una vez obtenidos los valores de precipitación máxima de 24 horas por cada subcuenca para diferentes periodos de retorno, se procedió a optar por los valores obtenidos por el método de las isoyetas, dado que este método considera la distribución orográfica.

5.1.4.1 Método de Polígonos de Thiessen

El método asigna a cada estación un peso proporcional al área de influencia, la cual se define para cada estación. Se recomienda utilizar para una distribución no uniforme de estaciones pluviométricas, dado que provee resultados más correctos con un área de cuenca aproximadamente plana, pues no considera influencias orográficas.

Los polígonos de Thiessen se obtuvieron mediante herramientas GIS, para posteriormente asignar el valor de precipitación máxima de 24 horas para cada subcuenca del río Huaura. En la siguiente tabla se presenta la Precipitación máxima de 24 horas para cada subcuenca. Así mismo, en los mapas ubicados en los anexos se presentan los polígonos de Thiessen para la cuenca del río Huaura.

Para la realización de los polígonos de Thiessen se emplearon las 11 estaciones mostradas en la Tabla 33, sin embargo, el área de la estación Santa Cruz no llegó a interceptar parte de la cuenca, por tal sentido no se ve reflejado en el mapa.

**Ilustración 52: Polígonos de Thiessen para la cuenca hidrográfica del río Huaura
(TYPSPA, 2021)**



Tabla 35: Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno en las subcuencas de la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS PROMEDIO POR SUBCUENCAS CON EL METODO DE POLIGONOS DE THIESSEN (mm)																		
N°	Subcuenca	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	TOTAL	TR=200	TR=100	TR=50	TR=25	TR=10	TR=2
1	S1					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
2	S10		35%	15%					49%			100%	36.4	33.5	30.4	27.4	23.3	15.3
3	S100	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
4	S101	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
5	S102						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
6	S11		100%									100%	42.6	39.5	36.4	33.2	29.0	20.6
7	S12					99%					1%	100%	39.3	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
8	S13		56%			44%					0%	100%	41.1	38.2	35.3	32.5	28.6	20.8
9	S14			27%					73%			100%	34.1	31.1	28.1	25.1	20.9	12.8
10	S15			13%					87%			100%	29.8	27.1	24.4	21.8	18.1	11.0
11	S16						50%	50%				100%	56.2	51.5	46.7	41.9	35.5	22.7
12	S17					9%					91%	100%	42.4	39.3	36.2	33.1	28.9	20.5
13	S18		22%			8%					70%	100%	42.4	39.3	36.2	33.1	28.9	20.6
14	S19									7%	93%	100%	43.1	40.0	36.8	33.7	29.4	20.8
15	S2					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
16	S20						86%				14%	100%	54.7	50.4	46.0	41.7	35.9	24.3
17	S21								100%			100%	25.9	23.6	21.2	18.9	15.7	9.5
18	S22									100%		100%	48.9	45.6	42.3	38.9	34.4	25.4
19	S23						89%		11%			100%	53.2	49.0	44.7	40.4	34.7	23.2
20	S24									80%	20%	100%	47.7	44.4	41.1	37.8	33.3	24.4
21	S25									100%		100%	48.9	45.6	42.3	38.9	34.4	25.4

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS PROMEDIO POR SUBCUENCAS CON EL METODO DE POLIGONOS DE THIESSEN (mm)																		
N°	Subcuenca	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	TOTAL	TR=200	TR=100	TR=50	TR=25	TR=10	TR=2
22	S26	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
23	S27	74%							26%			100%	13.6	11.7	9.9	8.3	6.4	3.3
24	S28									100%		100%	48.9	45.6	42.3	38.9	34.4	25.4
25	S29									100%		100%	48.9	45.6	42.3	38.9	34.4	25.4
26	S3					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
27	S30						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
28	S31						75%		25%			100%	48.9	45.0	41.0	37.0	31.7	21.0
29	S33						51%		49%			100%	41.6	38.2	34.7	31.3	26.6	17.3
30	S34	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
31	S36						61%			39%		100%	53.6	49.5	45.5	41.4	36.0	25.1
32	S37	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
33	S38						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
34	S39	77%					14%		9%			100%	17.2	15.0	13.0	11.1	8.9	5.1
35	S4					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
36	S40						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
37	S41						18%			82%		100%	50.3	46.8	43.2	39.6	34.9	25.3
38	S42	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
39	S43	47%			40%		13%					100%	18.7	16.5	14.5	12.6	10.2	5.8
40	S45	91%			9%							100%	9.9	8.1	6.6	5.2	3.7	1.5
41	S46				1%		99%					100%	56.1	51.6	47.1	42.7	36.6	24.6
42	S47						65%	35%				100%	56.3	51.6	47.0	42.3	35.9	23.3
43	S49				28%		56%	16%				100%	45.6	41.8	38.0	34.2	29.0	18.7
44	S5					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS PROMEDIO POR SUBCUENCAS CON EL METODO DE POLIGONOS DE THIESSEN (mm)																		
N°	Subcuenca	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	TOTAL	TR=200	TR=100	TR=50	TR=25	TR=10	TR=2
45	S51									60%	40%	100%	46.4	43.2	39.9	36.7	32.2	23.4
46	S53						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
47	S54									61%	39%	100%	46.5	43.2	40.0	36.7	32.3	23.5
48	S55					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
49	S56	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
50	S57					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
51	S58						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
52	S59						16%		84%			100%	30.9	28.2	25.5	22.8	19.2	12.0
53	S6					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
54	S60						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
55	S61					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
56	S62										100%	100%	42.7	39.6	36.4	33.3	29.0	20.5
57	S63									5%	95%	100%	43.0	39.9	36.7	33.6	29.3	20.7
58	S65					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
59	S66					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
60	S67										100%	100%	42.7	39.6	36.4	33.3	29.0	20.5
61	S68					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
62	S69									46%	54%	100%	45.5	42.3	39.1	35.8	31.5	22.7
63	S7					100%						100%	39.2	36.6	34.0	31.5	28.0	21.0
64	S70						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
65	S71		27%			73%						100%	40.1	37.4	34.7	32.0	28.3	20.9
66	S72						12%			2%	86%	100%	44.5	41.2	37.8	34.6	30.0	21.1
67	S73						10%				90%	100%	44.1	40.9	37.5	34.3	29.8	20.9

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS PROMEDIO POR SUBCUENCAS CON EL METODO DE POLIGONOS DE THIESSEN (mm)																		
N°	Subcuenca	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	TOTAL	TR=200	TR=100	TR=50	TR=25	TR=10	TR=2
68	S74						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
69	S75		100%									100%	42.6	39.5	36.4	33.2	29.0	20.6
70	S76		45%				48%		6%		1%	100%	48.4	44.7	40.9	37.1	32.1	22.0
71	S77				57%		43%					100%	34.2	31.2	28.3	25.4	21.4	13.6
72	S78		100%									100%	42.6	39.5	36.4	33.2	29.0	20.6
73	S79				97%		3%					100%	18.8	16.9	15.1	13.2	10.8	5.8
74	S8						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
75	S80		100%									100%	42.6	39.5	36.4	33.2	29.0	20.6
76	S81		100%									100%	42.6	39.5	36.4	33.2	29.0	20.6
77	S82		17%				3%		80%			100%	29.8	27.3	24.7	22.1	18.7	11.9
78	S83								100%			100%	25.9	23.6	21.2	18.9	15.7	9.5
79	S84						20%		80%			100%	32.1	29.4	26.5	23.8	20.0	12.6
80	S85						50%		50%			100%	41.3	37.9	34.5	31.1	26.4	17.2
81	S86						99%		1%			100%	56.4	51.9	47.4	42.9	36.9	24.8
82	S87						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
83	S88						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
84	S89						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
85	S9		71%			29%						100%	41.6	38.7	35.7	32.7	28.7	20.7
86	S90						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
87	S91						100%					100%	56.6	52.1	47.6	43.1	37.0	24.9
88	S92				17%		83%					100%	49.9	45.9	41.8	37.8	32.3	21.5
89	S93				100%							100%	17.6	15.8	14.1	12.3	10.0	5.2
90	S94	0%			79%		21%					100%	25.6	23.3	21.0	18.6	15.5	9.3

PRECIPITACION MAXIMA 24 HORAS PROMEDIO POR SUBCUENCAS CON EL METODO DE POLIGONOS DE THIESSEN (mm)																		
N°	Subcuenca	ALCANTARILLA	ANDAJES	GORGOR	LOMAS DE LACHAY	OYON	PACCHO	PALLAC	PAMPA LIBRE	PARQUIN	PICOY	TOTAL	TR=200	TR=100	TR=50	TR=25	TR=10	TR=2
91	S95	36%			64%							100%	14.6	12.8	11.1	9.5	7.5	3.7
92	S96	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
93	S97	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
94	S98	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1
95	S99	100%										100%	9.2	7.4	5.9	4.5	3.1	1.1

5.1.4.2 Método de Isoyetas

El método de isoyetas se caracteriza por su precisión, pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca en estudio. Se basa en el trazado de curvas de igual precipitación de la misma forma que se hace para estimar las curvas de nivel de un levantamiento topográfico.

Sobre la base de los valores puntuales de precipitación en cada estación dentro de la cuenca, se construyen, por interpolación, líneas de igual precipitación. Las líneas así construidas son conocidas como isoyetas. Un mapa de isoyetas de una cuenca no solamente permite la cuantificación del valor medio, sino que también presenta de manera gráfica la distribución de la precipitación sobre la zona para el período considerado.

Actualmente, mediante el uso de herramientas de interpolación incorporadas en los softwares SIG o GIS permite obtener rasters (cuadrículas) con valores interpolados que representan una variable (en este caso $P_{\text{máx 24 horas}}$) de acuerdo con el tamaño del píxel que se le asigne (Ver siguiente tabla). Una vez obtenido el ráster de precipitación máxima de 24 horas para cada periodo de retorno se asignó el valor promedio de los pixeles que se encontraban dentro del polígono de cada subcuenca, lo indicado asegura una mayor precisión que el método del polígono de Thiessen modificado al tener valores puntuales por cada 100m x 100m y no por el área de un polígono de influencia de alguna estación.

Para la realización de las isoyetas se emplearon las 11 estaciones mostradas en la Tabla 33, en este método a diferencia del método de isoyetas la estación Santa Cruz si tiene influencia.

Tabla 36: Precipitación Máxima en 24 Horas de Subcuencas – Isoyetas
(TYPESA, 2021)

N°	Subcuenca	TR=2 (mm)	TR=10 (mm)	TR=25 (mm)	TR=50 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)
1	S1	20.2	28.9	33.3	36.5	39.8	43.0
2	S2	20.3	28.7	33.0	36.1	39.2	42.4
3	S3	20.4	28.8	33.1	36.1	39.3	42.4
4	S4	20.5	28.5	32.5	35.5	38.4	41.4
5	S5	20.8	28.2	31.9	34.6	37.4	40.1
6	S6	20.7	28.4	32.3	35.1	38.0	40.8
7	S7	20.5	28.4	32.4	35.3	38.3	41.2
8	S8	20.2	29.8	34.7	38.3	41.9	45.5
9	S9	20.1	28.6	32.9	36.1	39.3	42.4
10	S10	16.9	25.5	29.8	33.0	36.2	39.3
11	S11	19.9	28.5	32.8	36.0	39.2	42.4
12	S12	20.7	28.8	32.9	35.8	38.8	41.8
13	S13	20.3	28.6	32.7	35.8	38.9	42.0
14	S14	17.7	26.8	31.4	34.8	38.2	41.6
15	S15	17.2	26.0	30.5	33.8	37.1	40.4
16	S16	19.6	29.3	34.2	37.9	41.5	45.1

N°	Subcuenca	TR=2 (mm)	TR=10 (mm)	TR=25 (mm)	TR=50 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)
17	S17	21.0	29.6	33.9	37.1	40.3	43.4
18	S18	20.5	29.1	33.4	36.6	39.8	43.0
19	S19	21.6	30.3	34.7	38.0	41.2	44.4
20	S20	21.2	30.8	35.6	39.2	42.8	46.3
21	S21	15.2	23.3	27.4	30.4	33.5	36.5
22	S22	22.1	31.0	35.4	38.7	42.0	45.3
23	S23	21.8	32.5	37.9	41.9	45.8	49.8
24	S24	22.5	31.5	36.0	39.4	42.7	46.0
25	S25	23.6	32.5	37.0	40.3	43.6	46.9
26	S26	7.3	11.9	14.5	16.6	18.8	21.1
27	S27	14.1	21.5	25.3	28.2	31.1	34.1
28	S28	22.5	31.4	35.9	39.2	42.5	45.8
29	S29	23.9	32.9	37.4	40.8	44.1	47.4
30	S30	20.8	30.9	36.1	39.9	43.7	47.4
31	S31	17.4	26.1	30.5	33.8	37.1	40.4
32	S33	16.4	24.7	29.0	32.1	35.3	38.5
33	S34	3.3	6.3	8.1	9.7	11.5	13.5
34	S36	21.6	31.1	35.9	39.4	43.0	46.5
35	S37	7.0	11.5	14.1	16.1	18.3	20.6
36	S38	18.7	27.9	32.5	36.0	39.4	42.9
37	S39	14.3	21.9	25.7	28.7	31.6	34.6
38	S40	19.5	29.1	33.9	37.5	41.0	44.6
39	S41	21.7	31.0	35.7	39.2	42.7	46.1
40	S42	8.3	13.4	16.1	18.3	20.6	23.0
41	S43	14.2	21.7	25.6	28.5	31.4	34.3
42	S45	8.6	14.0	16.8	19.1	21.4	23.8
43	S46	17.1	25.7	30.1	33.3	36.6	39.8
44	S47	18.2	27.4	32.1	35.5	39.0	42.4
45	S49	17.0	25.7	30.1	33.4	36.7	40.0
46	S51	22.2	31.0	35.4	38.7	42.0	45.2
47	S53	16.7	25.1	29.4	32.6	35.8	39.0
48	S54	23.2	32.0	36.4	39.7	42.9	46.2
49	S55	20.4	28.6	32.8	35.8	38.8	41.9
50	S56	11.7	18.2	21.6	24.2	26.9	29.6
51	S57	20.9	28.1	31.7	34.3	37.0	39.6
52	S58	19.0	28.4	33.2	36.7	40.3	43.8
53	S59	17.4	26.1	30.6	33.9	37.2	40.5
54	S60	20.5	30.4	35.3	39.0	42.7	46.4
55	S61	20.7	28.4	32.2	35.0	37.9	40.7

N°	Subcuenca	TR=2 (mm)	TR=10 (mm)	TR=25 (mm)	TR=50 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)
56	S62	21.4	30.1	34.5	37.7	40.9	44.1
57	S63	21.3	29.9	34.3	37.5	40.7	43.9
58	S65	20.8	28.1	31.8	34.4	37.1	39.9
59	S66	20.9	28.1	31.7	34.3	36.9	39.6
60	S67	20.8	29.4	33.7	36.8	40.0	43.2
61	S68	20.8	28.2	31.9	34.6	37.3	40.1
62	S69	22.4	31.2	35.7	38.9	42.2	45.4
63	S70	18.6	27.8	32.4	35.9	39.3	42.8
64	S71	20.4	28.4	32.4	35.4	38.3	41.3
65	S72	21.2	30.2	34.7	38.1	41.4	44.7
66	S73	20.6	29.5	34.0	37.3	40.6	43.9
67	S74	17.6	26.4	30.9	34.3	37.6	40.9
68	S75	20.1	28.6	32.8	36.0	39.1	42.2
69	S76	19.8	28.8	33.4	36.8	40.2	43.6
70	S77	16.1	24.5	28.7	31.9	35.0	38.2
71	S78	20.2	28.6	32.8	36.0	39.1	42.2
72	S79	14.9	22.8	26.8	29.8	32.8	35.8
73	S80	20.0	28.4	32.6	35.8	38.9	42.0
74	S81	19.4	27.8	32.0	35.2	38.3	41.4
75	S82	14.8	22.5	26.4	29.3	32.2	35.0
76	S83	11.2	18.0	21.5	24.0	26.6	29.1
77	S84	15.8	24.2	28.5	31.6	34.8	37.9
78	S85	18.3	27.5	32.2	35.7	39.1	42.5
79	S86	18.8	28.1	32.8	36.3	39.8	43.3
80	S87	19.2	28.7	33.4	37.0	40.5	44.0
81	S88	18.3	27.4	32.0	35.4	38.9	42.3
82	S89	18.0	26.9	31.5	34.8	38.2	41.6
83	S90	17.6	26.3	30.8	34.1	37.4	40.7
84	S91	16.9	25.5	29.8	33.1	36.3	39.6
85	S92	16.0	24.2	28.4	31.5	34.7	37.8
86	S93	15.0	22.9	26.9	29.9	32.9	36.0
87	S94	14.5	22.2	26.1	29.1	32.0	35.0
88	S95	12.1	18.8	22.3	25.0	27.6	30.3
89	S96	9.8	15.6	18.7	21.1	23.5	26.0
90	S97	6.8	11.4	13.9	15.9	18.0	20.3
91	S98	5.0	8.6	10.8	12.6	14.5	16.6
92	S99	2.2	4.7	6.3	7.8	9.5	11.3
93	S100	1.5	3.6	5.1	6.6	8.1	9.9
94	S101	1.5	3.7	5.2	6.6	8.2	10.0

N°	Subcuenca	TR=2 (mm)	TR=10 (mm)	TR=25 (mm)	TR=50 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)
95	S102	21.6	31.6	36.6	40.3	44.1	47.7

Ilustración 53: Isoyetas TR=2 años
(TYP SA, 2021)

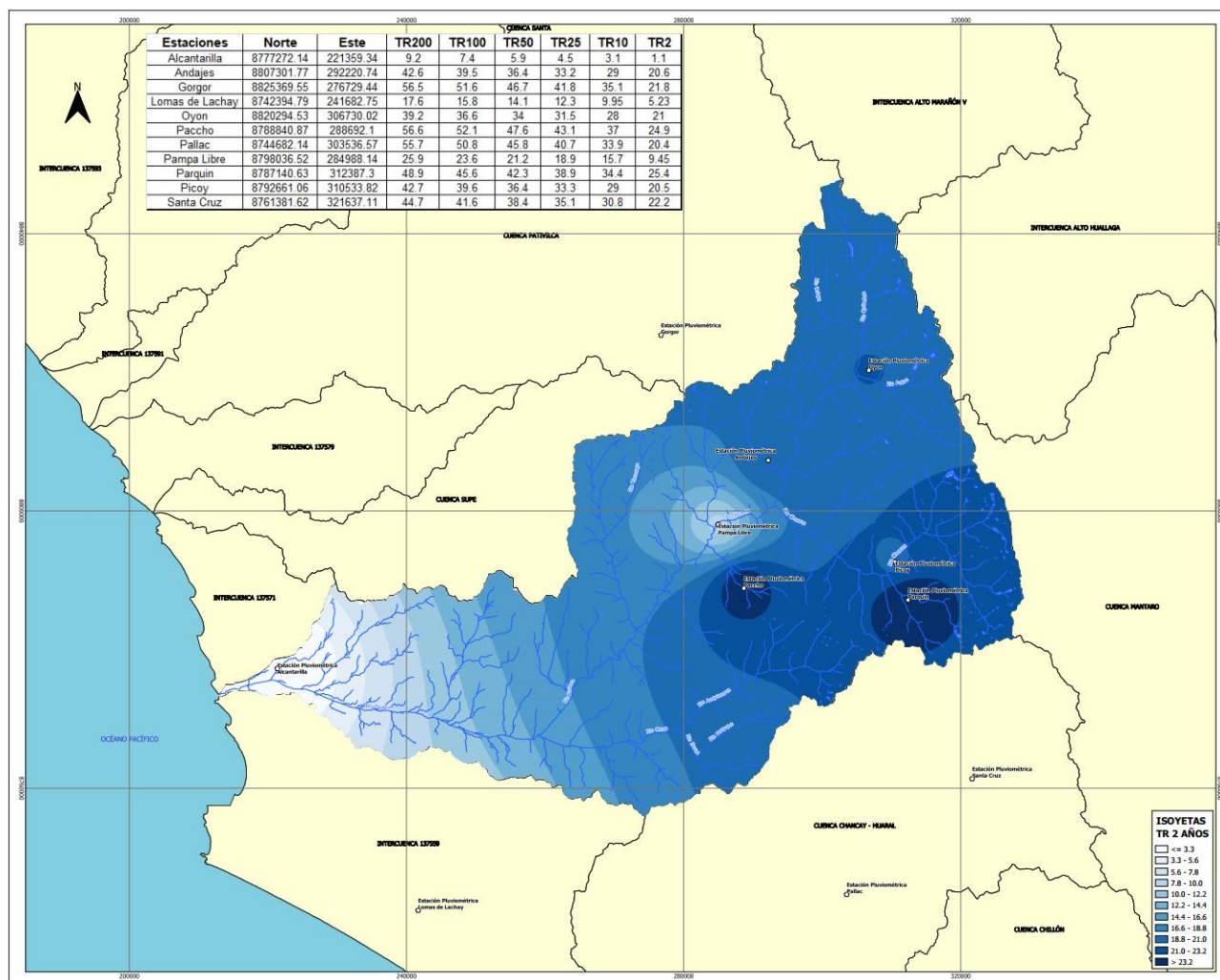


Ilustración 54: Isoyetas TR=10 años
(TYPSE, 2021)

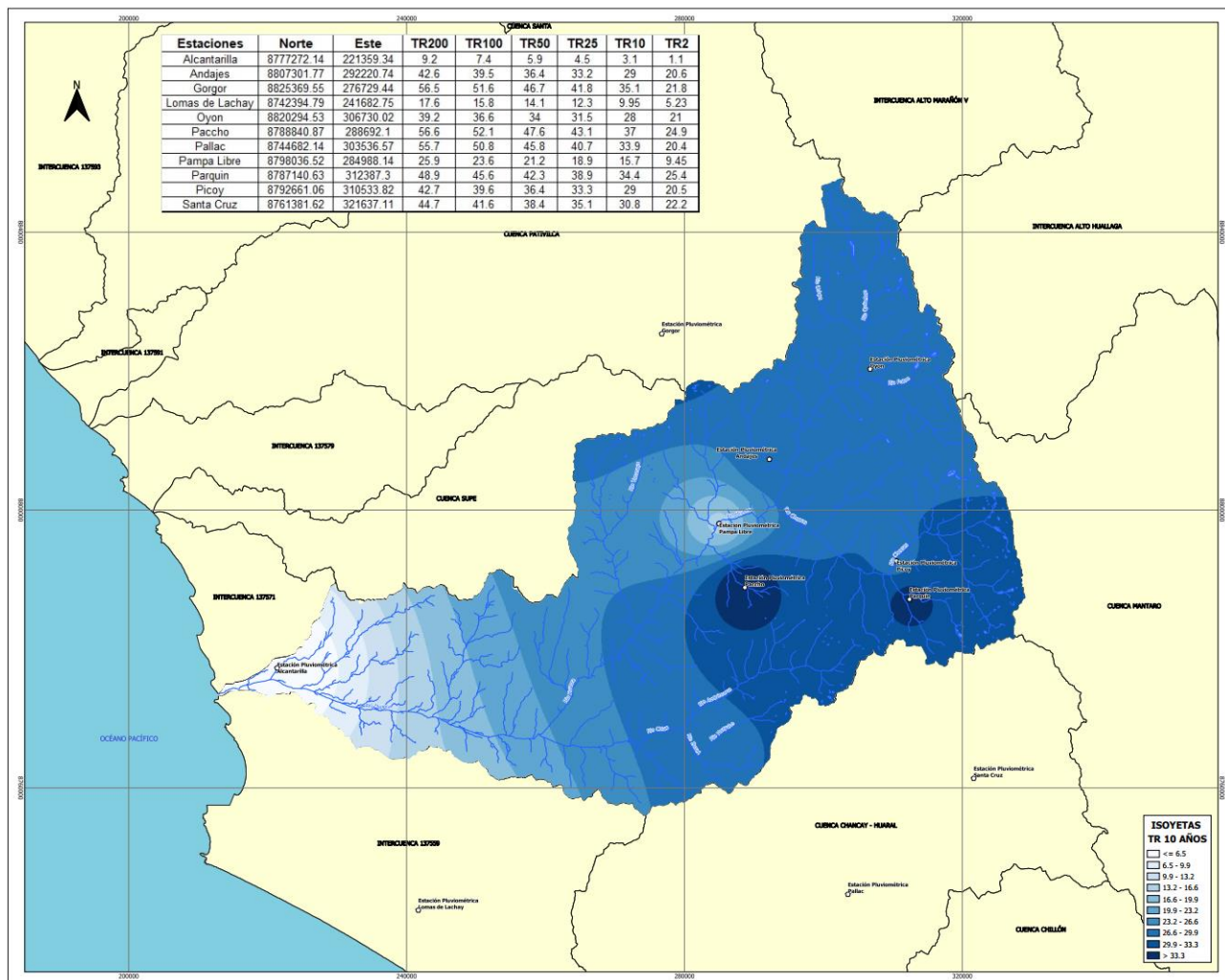


Ilustración 55: Isoyetas TR=25 años
(TYP SA, 2021)

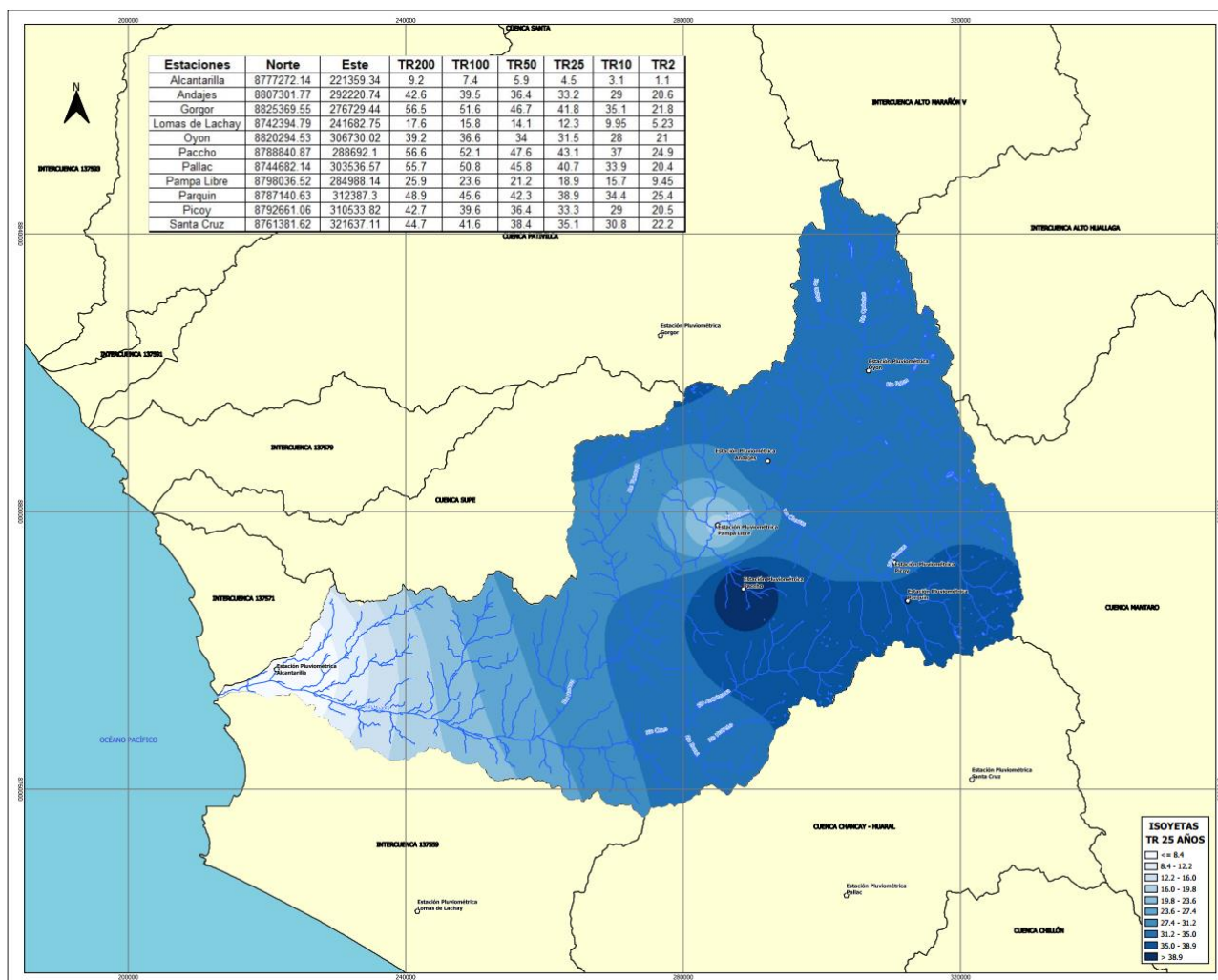


Ilustración 56: Isoyetas TR=50 años
(TYP SA, 2021)

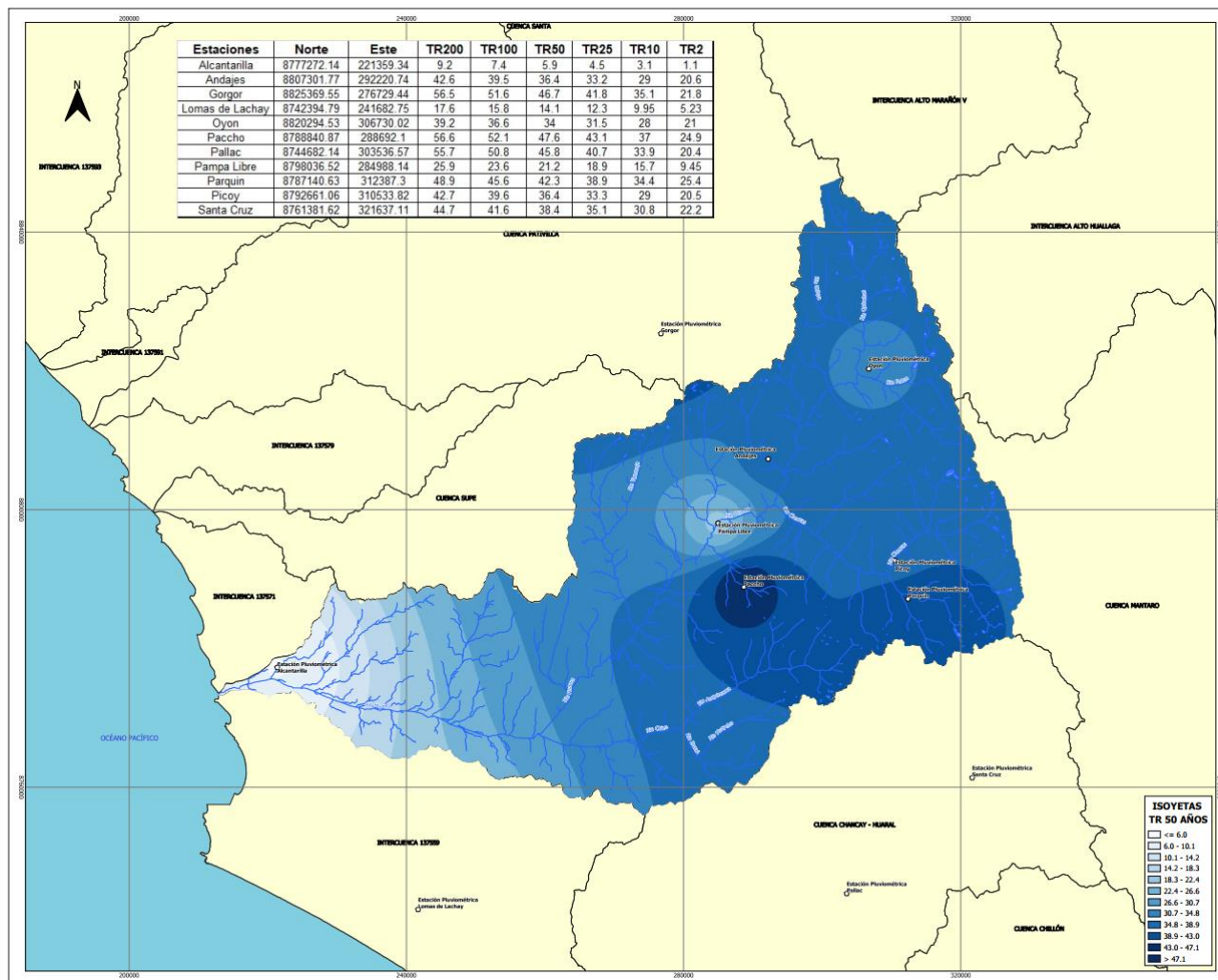


Ilustración 57: Isoyetas TR=100 años
(TYP SA, 2021)

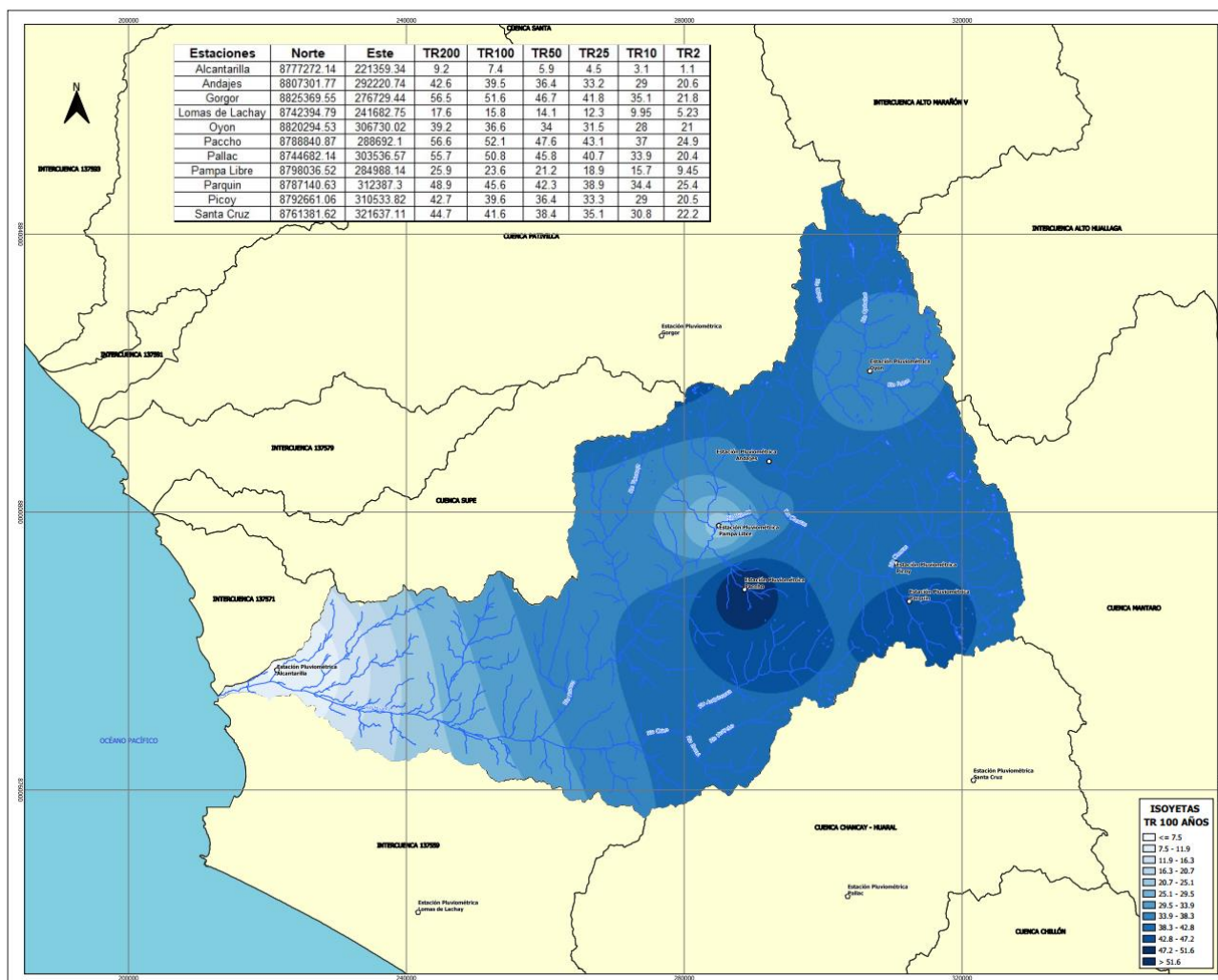
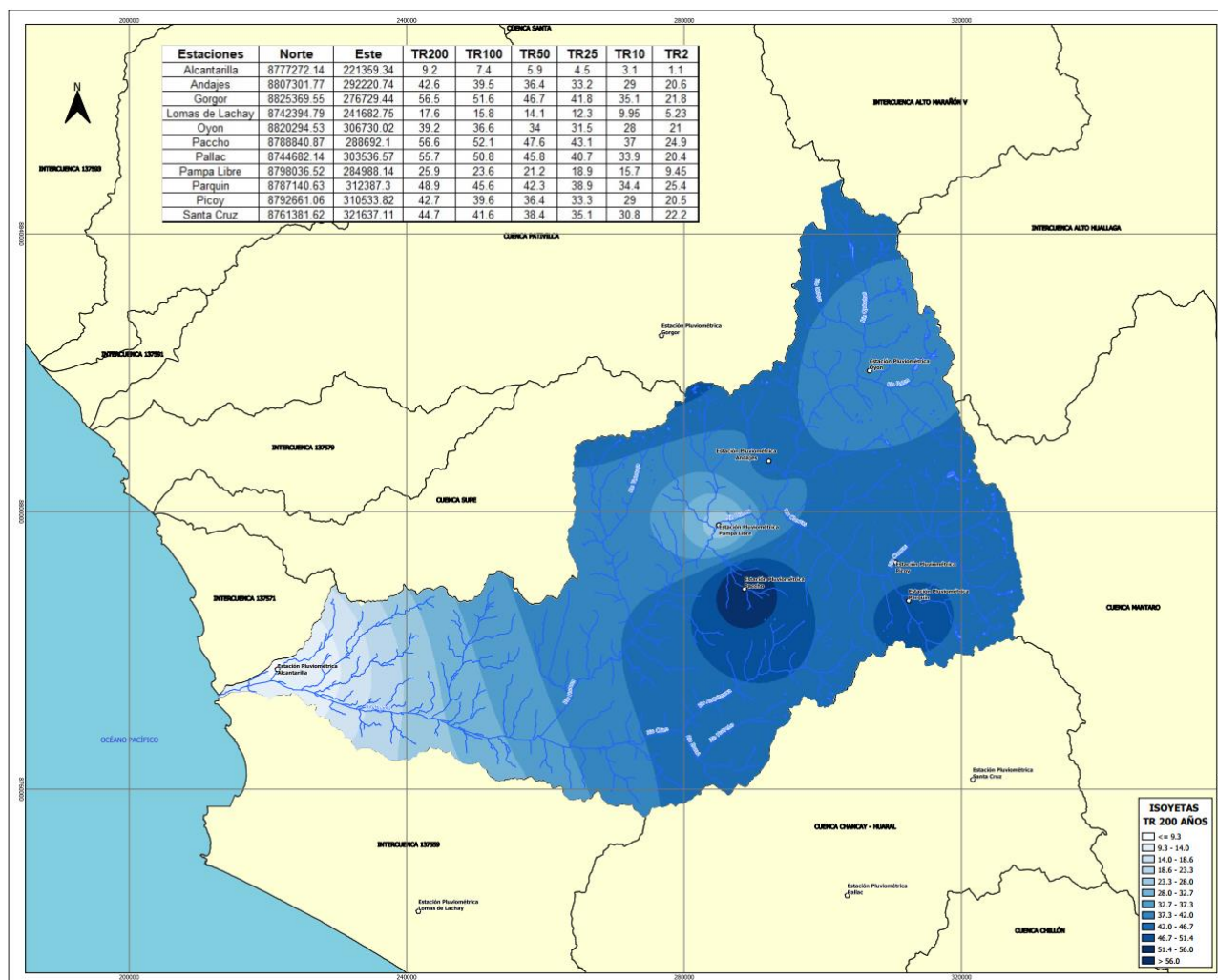


Ilustración 58: Isoyetas TR=200 años
(TYP SA, 2021)



5.1.4.3 Regionalización por altitud de la precipitación máxima de 24 horas

En base a las precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno para las estaciones de interés del presente estudio, se realizó la correlación altitud-pmax24 horas con el fin de poder determinar las P_{máx}24 horas para cada subcuenca en función de altitud mediante una función de regresión exponencial. La Tabla 37 muestran los valores de elevación de cada estación y las precipitaciones máximas de 24 horas empleadas para determinar las ecuaciones de regresión.

Tabla 37: Regionalización de la P_{max}24 horas en función de la altitud

REGIONALIZACIÓN DE LA P _{MAX} - ALTITUD VS PERIODO DE RETORNO											
ESTACIÓN	Alcantarilla	Andajes	Gorgor	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pallac	Pampa Libre	Parquin	Picoy	Santa Cruz
ALTITUD (msnm)	131	2707	3025	416	3652	3208	2367	1756	3571	3013	3583
TR	Precipitación máxima 24h										
TR2	1.1	22.2	19.8	5.5	21.0	25.1	20.2	9.4	25.3	20.1	25.1
TR10	3.1	32.0	34.9	10.3	28.0	37.3	34.0	15.3	34.2	28.7	37.3
TR25	4.7	37.0	42.5	12.8	31.5	43.4	41.0	18.3	38.6	33.0	43.4
TR50	6.0	40.7	48.1	14.6	34.0	47.9	46.2	20.5	42.0	36.2	47.9
TR100	7.6	44.3	53.7	16.4	36.6	52.4	51.3	22.7	45.2	39.3	52.4
TR200	9.4	48.0	59.3	18.1	39.2	56.9	56.5	24.9	48.5	42.5	56.9

Ilustración 59: Regionalización de las precipitaciones máximas de 24h en función de la altitud (TYPESA, 2021)

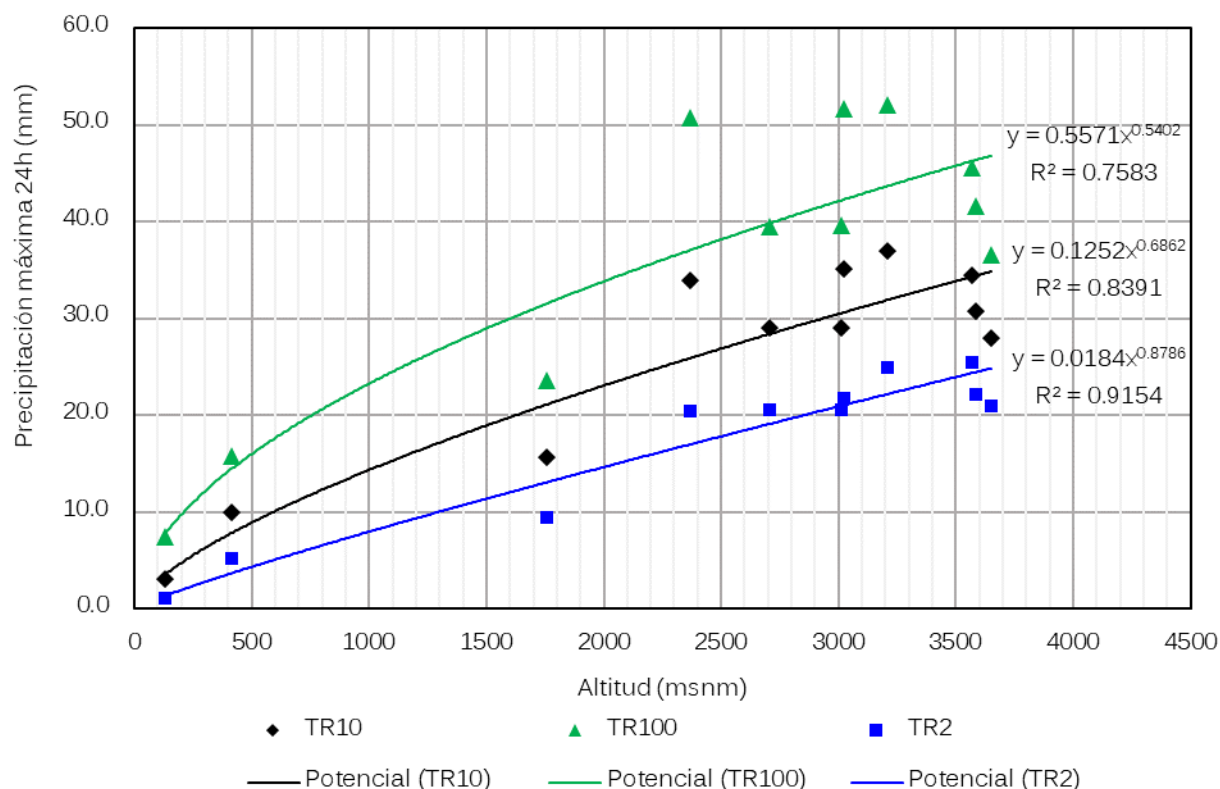


**Tabla 38: Precipitación máxima de 24 horas para diferentes TR en función de la altitud
(TYPESA, 2021)**

N°	Subcuenca	Altitud media (msnm)	TR=2 (mm)	TR=10 (mm)	TR=25 (mm)	TR=50 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)
1	S1	4738.35	31.2	41.7	45.2	50.3	53.9	57.3
2	S2	4687.35	30.9	41.4	44.9	50.0	53.6	57.0
3	S3	4643.94	30.7	41.1	44.7	49.7	53.3	56.7
4	S4	4635.69	30.6	41.0	44.6	49.7	53.3	56.7
5	S5	4516.15	29.9	40.3	43.9	49.0	52.5	55.9
6	S6	4579.50	30.3	40.7	44.3	49.3	52.9	56.3
7	S7	4387.42	29.2	39.5	43.1	48.1	51.7	55.1
8	S8	3727.71	25.3	35.3	38.9	43.8	47.3	50.8
9	S9	4373.58	29.1	39.4	43.0	48.1	51.6	55.0
10	S10	4060.41	27.2	37.5	41.1	46.0	49.6	53.0
11	S11	4090.06	27.4	37.7	41.3	46.2	49.8	53.2
12	S12	4626.80	30.6	41.0	44.6	49.6	53.2	56.6
13	S13	4267.55	28.5	38.8	42.4	47.4	50.9	54.3
14	S14	4264.52	28.4	38.8	42.3	47.4	50.9	54.3
15	S15	4181.46	28.0	38.2	41.8	46.8	50.4	53.8
16	S16	3116.99	21.6	31.3	34.8	39.5	43.0	46.4
17	S17	4636.99	30.6	41.1	44.6	49.7	53.3	56.7
18	S18	4147.79	27.8	38.0	41.6	46.6	50.2	53.6
19	S19	4645.38	30.7	41.1	44.7	49.8	53.3	56.7
20	S20	4003.48	26.9	37.1	40.7	45.7	49.2	52.6
21	S21	2966.81	20.7	30.2	33.8	38.4	41.8	45.2
22	S22	4727.01	31.1	41.6	45.2	50.3	53.8	57.2
23	S23	3693.99	25.1	35.1	38.7	43.6	47.1	50.5
24	S24	4191.64	28.0	38.3	41.9	46.9	50.4	53.9
25	S25	4617.25	30.5	40.9	44.5	49.6	53.1	56.5
26	S26	828.21	6.7	12.6	15.2	18.4	21.0	23.8
27	S27	1822.50	13.5	21.6	24.9	29.0	32.2	35.4
28	S28	4761.74	31.3	41.8	45.4	50.5	54.0	57.4
29	S29	4494.89	29.8	40.2	43.8	48.8	52.4	55.8
30	S30	3190.38	22.0	31.8	35.3	40.1	43.5	46.9
31	S31	2073.27	15.1	23.6	27.0	31.2	34.5	37.8
32	S33	2277.70	16.4	25.2	28.6	33.0	36.3	39.6
33	S34	491.09	4.3	8.8	11.0	13.6	15.8	18.3
34	S36	4671.67	30.8	41.3	44.8	49.9	53.5	56.9
35	S37	704.01	5.8	11.3	13.8	16.8	19.2	21.9
36	S38	2185.04	15.8	24.5	27.9	32.2	35.5	38.8
37	S39	1520.77	11.5	19.1	22.3	26.1	29.2	32.3
38	S40	2604.98	18.4	27.6	31.1	35.6	39.0	42.4
39	S41	4661.48	30.8	41.2	44.8	49.9	53.4	56.8

N°	Subcuenca	Altitud media (msnm)	TR=2 (mm)	TR=10 (mm)	TR=25 (mm)	TR=50 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)
40	S42	590.03	5.0	10.0	12.3	15.1	17.5	20.1
41	S43	1251.42	9.7	16.7	19.7	23.4	26.3	29.3
42	S45	602.67	5.1	10.1	12.5	15.3	17.7	20.3
43	S46	1638.90	12.3	20.1	23.3	27.3	30.4	33.6
44	S47	2227.89	16.1	24.8	28.3	32.6	35.8	39.2
45	S49	1784.88	13.2	21.3	24.6	28.7	31.8	35.0
46	S51	4553.04	30.1	40.5	44.1	49.2	52.7	56.1
47	S53	1460.11	11.1	18.6	21.7	25.5	28.5	31.7
48	S54	3658.61	24.9	34.9	38.5	43.4	46.9	50.3
49	S55	4551.75	30.1	40.5	44.1	49.2	52.7	56.1
50	S56	880.50	7.1	13.1	15.8	19.1	21.7	24.5
51	S57	4174.82	27.9	38.2	41.8	46.8	50.3	53.7
52	S58	2303.12	16.6	25.4	28.8	33.2	36.5	39.8
53	S59	2924.28	20.4	29.9	33.5	38.1	41.5	44.9
54	S60	3388.01	23.2	33.1	36.7	41.5	45.0	48.4
55	S61	4427.89	29.4	39.8	43.4	48.4	52.0	55.4
56	S62	4539.18	30.0	40.5	44.0	49.1	52.7	56.1
57	S63	4176.61	27.9	38.2	41.8	46.8	50.3	53.8
58	S65	3949.83	26.6	36.8	40.4	45.3	48.8	52.3
59	S66	3926.62	26.5	36.6	40.2	45.2	48.7	52.1
60	S67	3459.26	23.7	33.6	37.2	42.0	45.5	48.9
61	S68	4098.07	27.5	37.7	41.3	46.3	49.8	53.2
62	S69	3949.22	26.6	36.8	40.4	45.3	48.8	52.3
63	S70	2077.70	15.1	23.7	27.0	31.3	34.5	37.8
64	S71	3976.51	26.8	36.9	40.5	45.5	49.0	52.4
65	S72	3752.87	25.4	35.5	39.1	44.0	47.5	50.9
66	S73	3085.67	21.4	31.0	34.6	39.3	42.7	46.2
67	S74	1632.30	12.2	20.1	23.3	27.2	30.3	33.5
68	S75	3424.14	23.5	33.3	36.9	41.7	45.2	48.6
69	S76	3359.84	23.1	32.9	36.5	41.3	44.8	48.2
70	S77	1390.27	10.6	18.0	21.1	24.8	27.8	30.9
71	S78	2361.98	16.9	25.8	29.3	33.7	37.0	40.3
72	S79	1164.94	9.1	15.9	18.9	22.4	25.3	28.2
73	S80	2584.16	18.3	27.5	31.0	35.5	38.8	42.2
74	S81	2923.19	20.4	29.9	33.5	38.1	41.5	44.9
75	S82	3016.61	21.0	30.6	34.1	38.8	42.2	45.6
76	S83	2354.07	16.9	25.8	29.2	33.6	36.9	40.3
77	S84	2377.87	17.0	26.0	29.4	33.8	37.1	40.5
78	S85	2429.89	17.4	26.4	29.8	34.2	37.6	40.9
79	S86	1942.57	14.3	22.6	25.9	30.1	33.3	36.6
80	S87	2247.83	16.2	25.0	28.4	32.7	36.0	39.3

N°	Subcuenca	Altitud media (msnm)	TR=2 (mm)	TR=10 (mm)	TR=25 (mm)	TR=50 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)
81	S88	1459.87	11.1	18.6	21.7	25.5	28.5	31.7
82	S89	1658.34	12.4	20.3	23.5	27.5	30.6	33.8
83	S90	1426.35	10.9	18.3	21.4	25.2	28.2	31.3
84	S91	1213.48	9.4	16.4	19.3	22.9	25.8	28.8
85	S92	1071.02	8.4	15.0	17.9	21.3	24.1	27.1
86	S93	729.97	6.0	11.5	14.1	17.1	19.6	22.3
87	S94	1064.49	8.4	15.0	17.8	21.3	24.1	27.0
88	S95	778.75	6.4	12.1	14.7	17.8	20.3	23.1
89	S96	671.94	5.6	10.9	13.4	16.3	18.8	21.4
90	S97	426.61	3.8	8.0	10.1	12.6	14.7	17.0
91	S98	344.51	3.1	6.9	8.8	11.1	13.1	15.3
92	S99	227.40	2.2	5.2	6.8	8.7	10.4	12.4
93	S100	218.38	2.1	5.0	6.6	8.5	10.2	12.2
94	S101	123.35	1.3	3.4	4.6	6.1	7.5	9.1
95	S102	4375.71	29.1	39.5	43.0	48.1	51.6	55.0

Se ha revisado los resultados para diferentes TR y se aprecia que esta metodología sobrestima los valores de precipitación en una misma subcuenca, con las mismas condiciones climáticas.

5.2 ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS

5.2.1 Análisis y tratamiento de la serie hidrométrica

El desarrollo del análisis hidrométrico en la cuenca del río Huaura tiene en cuenta la identificación y el análisis de toda la información hidrométrica disponible, con el fin de obtener información de relevancia para conocer y modelizar de la mejor forma el comportamiento hidrológico del río Huaura.

Es necesario precisar, que esta información corresponde a caudales medios que no representan los caudales máximos diarios y mucho menos los caudales máximos instantáneos, es por lo indicado que se realiza el análisis con la información obtenida del SENAMHI y del observatorio SNIRH del ANA.

5.2.1.1 Caudales Máximos Diarios e Instantáneos

El Fenómeno El Niño / Oscilación Sur, tiene impactos globales en el planeta, su origen se encuentra en la interacción océano – atmósfera, los efectos en el continente se manifiestan alterando el régimen de caudales de los ríos, incrementando significativamente unos y generando fuertes déficit en otros. Este fenómeno ha tenido gran influencia sobre la vertiente del Océano Pacífico, variando de Norte a Sur según los años. Los Niños Extraordinarios del 82/83 y 97/98 tuvieron un impacto generalizado en toda la vertiente, creando condiciones de excesos hídricos que provocaron desastres. El Análisis de caudales máximos permitirá determinar los caudales máximos instantáneos producidos en diferentes escenarios de Eventos “ENOS”. La información utilizada son caudales máximos diarios y máximos instantáneos de la información disponible. En estaciones que no cuentan con información, se aplicaran extrapolaciones y relaciones empíricas como las desarrolladas por Tucci (1991), las cuales permiten obtener caudales máximos instantáneos, a partir de datos de caudales máximos diarios, cuyas relaciones matemáticas son:

- Cuenas menores de 3500 km²

$$Q_{\max} = Q_{md} (1 + 2.66A^{-0.30})$$

- Cuenas mayores de 3500 km²

$$Q_{\max} = Q_{md} (1 + 1.2A^{-0.036})$$

Donde:

$Q_{\max}$: caudal máximo instantáneo

Q_{md} : caudal máximo diario

A: área de la cuenca de recepción en el punto de control hidrométrico.

Asimismo, se pueden considerar ciertos coeficientes que relacionan el área de la cuenca con un factor según la siguiente tabla

**Tabla 39: Coeficientes de mayoración de caudales
(MTC, 2014)**

Descripción	Coeficiente
Superficie mayor a 3000 km ²	1.2
Superficie comprendida entre 1000 y 3000 km ²	1.3
Superficie comprendida entre 800 y 1000 km ²	1.4
Superficie comprendida entre 600 y 800 km ²	1.6
Superficie comprendida entre 400 y 600 km ²	2.0
Superficie comprendida entre 200 y 400 km ²	2.5
Superficie menor a 200 km ² (3-5)	4

5.2.1.1.1 Análisis de los valores máximos de la estación Sayán

De acuerdo al manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, indica que generalmente, se admite un coeficiente para transformar caudales máximos diarios a caudales máximos instantáneos entre 1.2 y 2.2 (con valor promedio de 1.6) con una probabilidad de 90% para esta relación.

Para el presente estudio se adoptó un valor de 1.4 dado la relación de caudal máximo registrado por la estación HLG-Sayán en 2017 (145 m³/s) y el caudal resultante del modelo hidrológico calibrado para este evento FEN 2017 (200 m³/s).

En la siguiente tabla se presentan los valores máximos de caudales a partir de los datos promedios diarios. Hay que precisar que la siguiente serie de tiempo contiene caudales de los eventos del FEN 82 y FEN 17.

**Tabla 40: Caudales máximos del promedio diario de la estación HLG-Sayán en m³/s
(SENAMHI, 2021)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	45.6	97.7	103.4	103.2	33.3	18.9	14.4	12.5	13.7	24.7	36.8	26.9
1965	67.1	78.6	108.5	41.2	16.5	11.8	11.8	10.3	10.3	11.7	16.3	36.5
1966	69.0	39.0	97.6	38.1	16.9	12.3	10.2	10.8	10.9	42.5	29.2	56.5
1967	76.1	200.0	130.0	51.1	27.8	19.0	15.5	14.5	15.3	34.7	28.9	32.3
1968	37.4	35.7	59.8	38.5	12.9	12.0	10.7	11.8	14.2	22.6	41.9	34.7
1969	14.1	41.8	47.8	47.0	16.6	13.5	13.2	11.6	11.9	16.6	42.6	72.8
1970	97.8	57.4	65.9	46.5	36.2	22.2	18.3	14.1	23.4	23.4	27.2	43.0
1971	47.9	64.0	79.8	57.1	27.0	18.5	14.6	11.9	12.7	21.7	18.3	33.4
1972	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	18.6	13.7	13.4	15.0	22.2	25.0	59.6
1973	97.7	122.4	164.1	129.5	44.9	17.2	15.3	13.7	25.4	48.5	42.3	73.1
1974	89.1	142.0	134.0	67.6	33.3	20.8	15.7	14.4	16.0	18.7	21.1	23.6
1975	79.2	92.1	105.0	64.5	36.3	22.1	16.8	17.3	15.1	19.7	20.7	27.5

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1976	82.6	115.0	98.5	68.3	21.5	17.1	14.8	14.8	14.4	13.6	14.8	21.5
1977	35.2	99.6	81.4	48.5	19.1	12.2	11.4	12.8	16.0	23.3	36.0	43.0
1978	37.0	74.8	132.5	S/D	18.8	13.9	12.3	11.3	14.0	15.1	14.0	25.5
1979	86.2	30.0	43.2	49.2	12.7	9.7	8.0	10.0	S/D	S/D	S/D	S/D
1980	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	10.4	29.3	26.1	S/D
1981	S/D	S/D	S/D	S/D	12.7	9.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1995	S/D	38.0	73.2	47.2	12.8	11.8	6.8	5.9	7.2	10.2	20.0	37.9
1996	48.9	122.0	93.7	68.8	21.8	12.9	9.5	7.2	8.2	8.2	12.1	26.7
1997	36.3	90.9	65.8	13.8	11.6	8.3	7.8	8.0	11.7	12.0	22.0	79.5
1998*	112.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	10.1	16.2	16.5	13.3
1999	33.9	S/D	S/D	S/D	S/D	14.2	13.0	10.8	10.3	13.1	12.4	44.6
2000	65.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	27.6	15.8	59.2
2001	S/D	S/D	S/D	52.5	43.0	21.7	14.0	9.7	13.4	20.1	55.7	54.7
2002	27.8	73.9	91.2	85.5	40.3	13.1	11.3	11.0	13.0	24.2	37.7	38.2
2003	48.1	90.9	87.2	54.8	23.7	23.7	16.0	11.6	10.6	14.4	15.1	32.3
2004	25.2	47.9	32.0	24.3	7.3	6.1	7.6	5.0	9.9	23.4	35.9	29.0
2005	41.8	29.8	38.6	41.3	15.9	13.9	6.1	6.7	7.4	7.3	8.0	8.8
2006	24.9	74.6	72.8	158.8	14.9	9.5	7.7	7.2	9.8	14.8	20.9	43.3
2007	52.3	79.8	88.0	123.3	42.3	11.8	6.8	7.6	9.3	17.9	25.0	19.0
2008	43.3	77.0	63.2	37.6	17.2	11.6	8.0	7.9	5.9	13.8	10.3	19.0
2009	58.7	131.1	129.3	125.6	37.1	13.9	9.4	9.2	10.3	14.1	33.0	46.6
2013	66.4	77.7	119.2	59.2	16.5	13.5	12.7	8.8	10.3	16.4	18.6	40.7
2014	53.1	108.8	104.1	34.6	30.4	13.5	16.6	10.6	11.1	12.4	16.0	36.6
2015	61.3	73.6	115.7	58.2	19.6	12.5	13.8	12.4	12.4	15.9	19.7	43.6
2016	24.0	93.0	109.8	25.5	15.7	13.8	11.3	10.7	12.7	16.3	12.3	14.5
2017*	66.5	90.9	130.6	104.7	29.6	20.1	12.8	10.1	8.6	8.0	7.9	13.3
2018	38.7	35.9	109.7	70.5	35.4	17.6	12.5	15.0	10.2	15.7	35.3	35.3
2019	60.3	85.7	55.0	48.2	26.8	13.7	12.2	10.5	8.2	8.8	53.9	53.9
2020	32.4	76.8	39.8	46.7	29.2	10.5	6.2	8.5	S/D	S/D	S/D	S/D

	SENAMHI - Perfil, 2019
	SENAMHI - TYPESA, 2021

Para convertir los datos de la tabla anterior a datos de caudales máximos diarios mensuales se multiplicó por el coeficiente 1.1151, dado que los caudales mostrados son los máximos de los caudales promedios de todo el mes, en ese sentido no son los caudales máximos que se registran de las cuatro (04) lecturas que realiza el SENAMHI; este coeficiente de 1.1151 ha sido obtenido a partir de la regresión lineal de los datos de Caudal máximo diario mensual y Caudal máximo promedio mensual que se muestran en *Anexo 2. Caudales\2.2 Análisis de Caudales*, a partir de los datos medidos en la estación Sayán durante el 2016 y 2017 teniendo un total de 872 valores entre las dos variables indicadas (Caudal promedio diario y caudal máximo diario).

Ilustración 60: Regresión simple caudales medios y caudales máximos mensuales
(TYP SA, 2021)

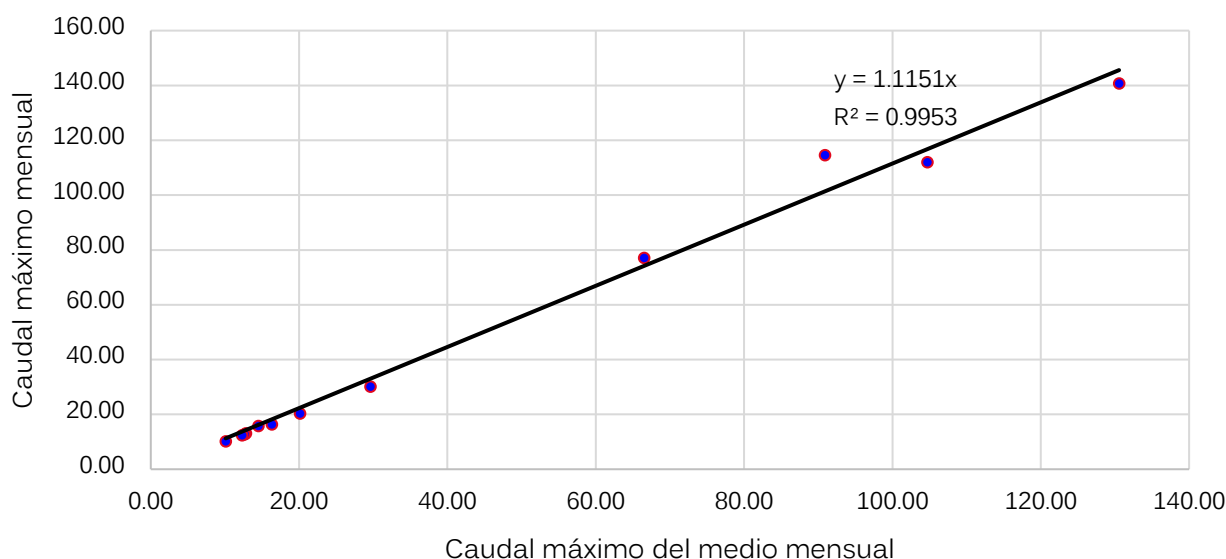


Tabla 41: Caudales máximos diarios mensuales de la estación HLG-Sayán en m³/s
(SENAMHI - TYPESA, 2021)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Q _{max}
1964	50.9	108.9	115.3	115.1	37.1	21.0	16.1	13.9	15.3	27.6	41.0	30.0	115.3
1965	74.9	87.6	121.0	45.9	18.4	13.2	13.2	11.5	11.5	13.0	18.2	40.7	121.0
1966	76.9	43.5	108.8	42.5	18.8	13.7	11.4	12.1	12.1	47.3	32.6	63.0	108.8
1967	84.9	223.0	145.0	57.0	31.0	21.2	17.3	16.2	17.0	38.7	32.2	36.0	223.0
1968	41.6	39.8	66.7	42.9	14.4	13.3	11.9	13.2	15.8	25.2	46.7	38.7	66.7
1969	15.7	46.6	53.3	52.4	18.5	15.1	14.7	12.9	13.3	18.5	47.5	81.2	81.2
1970	109.1	64.0	73.5	51.9	40.4	24.8	20.4	15.7	26.1	26.1	30.3	47.9	109.1
1971	53.4	71.4	89.0	63.7	30.1	20.6	16.3	13.3	14.2	24.2	20.4	37.2	89.0
1972	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	20.7	15.3	14.9	16.7	24.8	27.9	66.5	66.5
1973	108.9	136.4	183.0	144.4	50.1	19.2	17.1	15.2	28.4	54.1	47.2	81.5	183.0
1974	99.4	158.3	149.4	75.4	37.1	23.2	17.5	16.1	17.8	20.9	23.5	26.3	158.3
1975	88.3	102.7	117.1	71.9	40.5	24.6	18.7	19.3	16.8	22.0	23.1	30.7	117.1
1976	92.1	128.2	109.8	76.2	24.0	19.1	16.5	16.5	16.1	15.2	16.5	24.0	128.2
1977	39.3	111.1	90.8	54.1	21.3	13.6	12.7	14.3	17.8	26.0	40.1	47.9	111.1
1978	41.3	83.4	147.8	S/D	21.0	15.5	13.7	12.6	15.6	16.8	15.6	28.4	147.8
1979	96.1	33.5	48.2	54.9	14.2	10.8	8.9	11.2	S/D	S/D	S/D	S/D	96.1
1980	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	11.6	32.7	29.1	S/D	S/D
1981	S/D	S/D	S/D	S/D	14.2	10.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1995	S/D	42.4	81.6	52.6	14.3	13.2	7.6	6.6	8.0	11.4	22.3	42.2	81.6
1996	54.5	136.0	104.5	76.7	24.3	14.4	10.6	8.0	9.2	9.2	13.5	29.8	136.0
1997	40.5	101.3	73.4	15.4	12.9	9.2	8.7	8.9	13.0	13.4	24.5	88.6	101.3
1998	125.6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	11.3	18.1	18.4	14.8	125.6
1999	37.8	S/D	S/D	S/D	S/D	15.9	14.5	12.0	11.5	14.6	13.8	49.7	49.7
2000	73.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	30.8	17.6	66.0	S/D
2001	S/D	S/D	S/D	58.5	47.9	24.2	15.6	10.9	15.0	22.4	62.1	61.0	62.1
2002	31.0	82.4	101.7	95.3	45.0	14.6	12.7	12.3	14.5	27.0	42.0	42.6	101.7
2003	53.6	101.3	97.3	61.1	26.4	26.4	17.8	13.0	11.8	16.0	16.9	36.0	101.3
2004	28.1	53.4	35.7	27.1	8.2	6.8	8.5	5.6	11.0	26.0	40.0	32.3	53.4
2005	46.6	33.2	43.1	46.0	17.7	15.5	6.8	7.4	8.2	8.1	8.9	9.8	46.6
2006	27.7	83.2	81.2	177.0	16.7	10.6	8.5	8.0	10.9	16.5	23.3	48.3	177.0
2007	58.4	89.0	98.2	137.4	47.2	13.1	7.5	8.4	10.4	20.0	27.8	21.2	137.4
2008	48.2	85.9	70.5	41.9	19.2	13.0	8.9	8.8	6.6	15.4	11.5	21.2	85.9
2009	65.5	146.2	144.2	140.0	41.4	15.5	10.4	10.3	11.5	15.7	36.8	51.9	146.2
2013	74.1	86.7	132.9	66.0	18.4	15.0	14.1	9.8	11.4	18.3	20.7	45.4	132.9
2014	59.2	121.3	116.1	38.5	34.0	15.0	18.5	11.8	12.4	13.8	17.9	40.8	121.3
2015	68.3	82.1	129.1	64.9	21.9	13.9	15.3	13.8	13.8	17.8	22.0	48.6	129.1
2016	26.7	103.7	122.5	28.4	17.5	15.4	12.6	11.9	14.1	18.2	13.7	16.2	122.5
2017	74.2	101.3	145.6	116.8	33.0	22.4	14.3	11.3	9.6	8.9	8.8	14.8	145.6
2018	43.1	40.0	122.3	78.6	39.4	19.6	14.0	16.7	11.4	17.5	39.4	39.4	122.3

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Qmax
2019	67.3	95.5	61.4	53.7	29.9	15.3	13.6	11.7	9.2	9.8	60.2	60.2	95.5
2020	36.1	85.7	44.3	52.0	32.6	11.7	6.9	9.5	S/D	S/D	S/D	S/D	85.7
Minimo	15.7	33.2	35.7	15.4	8.2	6.8	6.8	5.6	6.6	8.1	8.8	9.8	46.6
Maximo	125.6	223.0	183.0	177.0	50.1	26.4	20.4	19.3	28.4	54.1	62.1	88.6	223.0
Promedio	61.5	91.4	100.7	69.9	27.2	16.3	13.2	12.0	13.5	21.1	27.7	42.2	112.7
Desv. Estandar	26.7	40.5	36.2	36.9	11.6	4.8	3.7	3.1	4.4	9.9	13.6	19.2	37.8

	SENAMHI - Perfil, 2019
	SENAMHI - TYPESA, 2021

En la siguiente tabla se presentan los caudales máximos diarios anuales y los caudales máximos instantáneos con los que se realizó el análisis de distribución de probabilidades.

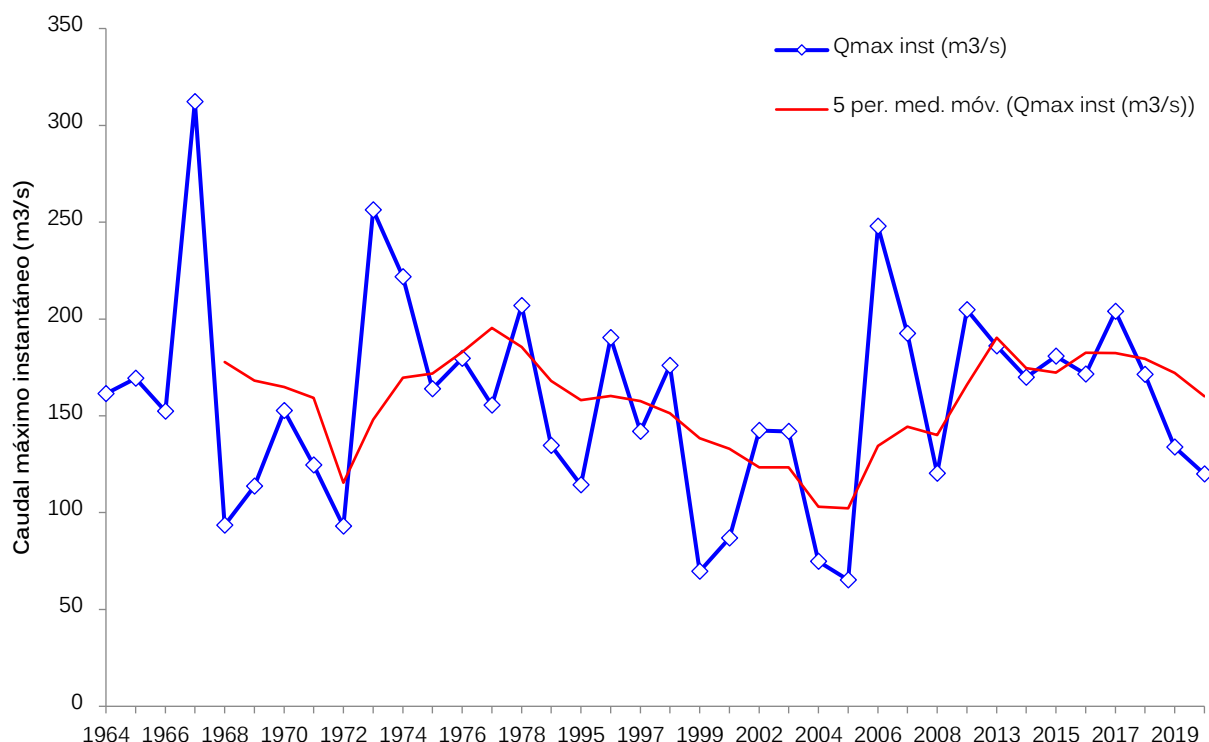
Tabla 42: Transformación caudal máximo instantáneo estación Sayán
(TYPESA, 2021)

Nº	AÑO	Qmax diario anual (m3/s)	Qmax inst (m3/s)
1	1964	115.3	161.5
2	1965	121.0	169.4
3	1966	108.8	152.3
4	1967	223.0	312.2
5	1968	66.7	93.4
6	1969	81.2	113.7
7	1970	109.1	152.7
8	1971	89.0	124.6
9	1972	66.5	93.0
10	1973	183.0	256.2
11	1974	158.3	221.7
12	1975	117.1	163.9
13	1976	128.2	179.5
14	1977	111.1	155.5
15	1978	147.8	206.9
16	1979	96.1	134.6
17	1995	81.6	114.3
18	1996	136.0	190.4
19	1997	101.3	141.8
20	1998	125.6	175.9
21	1999	49.7	69.6
22	2001	62.1	86.9
23	2002	101.7	142.4
24	2003	101.3	141.9
25	2004	53.4	74.8

Nº	AÑO	Qmax diario anual (m3/s)	Qmax inst (m3/s)
26	2005	46.6	65.2
27	2006	177.0	247.9
28	2007	137.4	192.4
29	2008	85.9	120.2
30	2009	146.2	204.7
31	2013	132.9	186.1
32	2014	121.3	169.8
33	2015	129.1	180.7
34	2016	122.5	171.5
35	2017	145.6	203.8
36	2018	122.3	171.3
37	2019	95.5	133.8
38	2020	85.7	119.9

Con los caudales máximos instantáneos obtenidos en la tabla anterior se realiza el análisis estadístico de la distribución o conjuntos de distribuciones de mayor ajuste a la serie, que se muestra en el siguiente ítem.

**Ilustración 61: Histograma de caudales máximos instantáneos de la estación Sayán
(TYP SA, 2021)**



Como se puede ver en la ilustración anterior se presenta el histograma de los caudales máximos instantáneos anuales y el análisis de la media móvil con un periodo de cinco, desde la década de los 70 se puede apreciar una reducción de los máximos valores, esto asociado a la construcción de diferente infraestructura principal en la cuenca del río Huaura, tales como embalses y tomas principales.

5.2.1.1.2 Análisis de los valores máximos de la estación Casa Blanca

Como se ha indicado anteriormente la estación Casa Blanca (inoperativa) se encontraba ubicada aguas arriba de la bocatoma Santa Rosa, aproximadamente a 2.5 km de la estación HLG-Sayán. El análisis de esta estación ayuda a dar una idea sobre la frecuencia de valores máximos de caudales en el río Huaura a la altura del CP Sayán.

La estación Casa Blanca cuenta con datos de caudales promedios diarios, estos fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) de la ANA. Para llevar los caudales promedios diarios a caudales máximos mensuales, se aplicó el factor de 1.1151 producto de la correlación realizada en la estación Sayán, se adoptó este mismo valor debido a su cercanía. En la Tabla 43 se presentan los máximos de los promedios diarios.

Hay que precisar que la siguiente serie de tiempo contiene caudales de los eventos del FEN 26.

Tabla 43: Caudales máximo promedio mensual en la estación Casa Blanca (m3/s)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1925	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	13.50	12.50	21.50	32.50
1926*	34.00	53.00	150.10	68.40	22.60	16.10	15.00	10.80	12.10	19.50	45.80	50.10
1927	88.90	115.70	88.00	49.30	21.70	16.90	14.70	13.80	13.80	23.10	20.80	55.90
1928	42.80	104.80	150.90	78.10	22.80	16.80	14.80	13.10	12.80	15.80	25.80	48.20
1929	41.20	181.60	93.40	39.00	24.60	14.60	11.10	11.50	29.10	85.00	44.25	38.50
1930	149.10	148.80	99.00	65.60	22.80	16.70	14.80	13.60	12.70	36.80	38.00	46.20
1931	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	9.33	8.58	9.48	11.55	11.70	35.20
1932	59.60	134.00	89.00	58.00	23.00	17.40	17.40	13.40	12.10	22.00	32.40	50.40
1933	91.20	99.20	100.80	92.00	61.60	22.70	14.40	12.60	10.35	13.20	14.40	28.00
1934	43.24	45.60	81.50	56.70	34.80	21.00	17.70	13.60	11.90	16.50	16.50	16.05
1935	36.40	48.25	73.50	67.20	26.50	18.70	16.90	14.50	11.20	18.30	18.70	52.80
1936	62.70	50.00	45.00	32.60	29.00	19.80	15.70	14.30	15.30	15.08	16.80	13.52
1937	20.10	23.52	49.20	32.00	21.20	15.40	13.40	14.40	9.60	15.20	26.00	37.40
1938	36.40	80.50	74.90	60.80	31.10	19.60	13.40	10.30	10.40	13.00	12.76	28.80
1939	41.50	64.60	88.00	90.40	34.00	20.40	16.80	12.10	15.40	13.26	13.52	70.69
1940	108.76	S/D	131.27	S/D	35.31	23.68	19.07	17.07	17.81	24.29	25.42	36.51
1941	82.29	135.35	215.63	39.35	27.84	20.42	13.86	13.24	14.01	22.75	29.48	46.20
1942	95.49	101.79	96.69	58.77	59.65	19.55	15.75	12.71	12.02	13.92	13.90	25.18
1943	55.34	101.66	134.99	146.16	28.05	19.62	17.12	14.96	15.31	23.76	21.40	41.39
1944	69.28	109.43	97.83	64.65	35.48	20.71	14.75	12.50	10.55	10.99	14.65	26.98
1945	66.17	94.32	76.43	73.83	25.39	13.67	11.72	11.21	11.21	12.58	28.13	69.68
1946	95.85	120.37	144.92	94.39	45.30	18.81	13.98	11.83	10.75	20.25	48.19	78.56
1947	54.39	54.39	109.43	42.69	36.45	28.62	14.75	11.21	14.00	18.83	22.45	49.24
1948	73.00	73.99	69.50	60.48	28.13	17.24	14.32	10.11	10.54	56.00	42.00	24.14
1949	285.00	55.26	99.53	67.57	38.40	21.53	18.53	11.96	11.33	12.52	34.69	15.43
1950	36.97	68.86	69.14	39.76	37.23	14.30	12.53	11.50	10.39	12.11	17.14	69.79
1951	68.86	104.48	149.00	95.33	23.76	21.63	15.63	13.14	11.92	17.66	71.38	96.76
1952	123.64	126.62	164.87	133.43	45.74	32.47	15.84	14.42	9.89	13.00	S/D	S/D
1953	62.00	145.00	89.00	80.00	40.00	27.00	14.45	9.85	10.29	16.23	35.20	37.95
1954	84.00	86.40	160.00	51.22	51.55	19.64	S/D	9.86	12.76	15.34	45.46	35.86
1955	90.34	230.00	S/D	78.77	32.76	25.38	13.07	11.79	10.60	13.35	13.14	39.66
1956	36.57	84.18	101.46	73.68	32.58	11.27	9.57	11.35	12.66	16.90	13.57	9.76
1957	38.11	81.91	54.54	45.62	21.05	12.33	11.00	10.66	11.47	14.45	20.17	34.98
1958	42.78	70.62	66.69	34.22	15.36	10.84	9.16	8.61	8.79	16.44	14.42	S/D
1959	14.63	82.38	81.87	64.18	30.69	11.30	10.02	9.62	9.87	14.34	14.37	46.93
1960	72.78	85.86	69.82	37.53	21.69	10.63	9.32	7.96	7.83	12.80	19.40	14.14
1961	42.65	64.58	62.66	73.68	22.22	15.53	9.30	8.78	9.15	9.88	33.66	70.23
1962	74.02	59.76	85.20	81.24	21.52	13.47	12.56	11.82	12.53	12.72	19.29	26.01
1963	69.35	80.23	S/D	70.22	30.32	13.80	11.88	11.10	10.89	13.86	38.60	47.55
1964	45.62	97.70	103.44	103.23	33.28	18.86	14.40	12.46	13.69	24.71	36.78	26.90

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1965	67.13	78.60	108.50	41.15	16.46	11.82	11.80	10.33	S/D	S/D	S/D	S/D
1966	68.99	39.02	97.58	38.11	16.87	12.29	10.19	10.81	10.88	42.46	29.23	56.47
1967	76.11	200.00	130.00	51.14	27.81	18.99	15.49	14.52	15.26	34.70	28.89	32.27
1968	37.35	35.66	59.84	38.45	12.87	11.97	10.67	11.84	S/D	S/D	S/D	S/D
Minimo	14.63	23.52	45.00	32.00	12.87	10.63	9.16	7.96	7.83	9.88	11.70	9.76
Maximo	285.00	230.00	215.63	146.16	61.60	32.47	19.07	17.07	29.10	85.00	71.38	96.76
Promedio	68.68	93.12	100.33	65.10	30.23	17.94	13.72	11.95	12.29	20.18	26.58	41.57
Desv. Estandar	43.91	43.95	36.49	25.75	10.85	4.99	2.71	1.96	3.37	13.71	12.90	19.23

ANA - SNIRH
<http://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>

**Tabla 44: Caudales máximos diarios mensuales de la estación Casa Blanca en m3/s
(ANA-TYPESA, 2021)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1925	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	15.05	13.94	23.97	36.24
1926	37.91	59.10	167.38	76.27	25.20	17.95	16.73	12.04	13.49	21.74	51.07	55.87
1927	99.13	129.02	98.13	54.97	24.20	18.85	16.39	15.39	15.39	25.76	23.19	62.33
1928	47.73	116.86	168.27	87.09	25.42	18.73	16.50	14.61	14.27	17.62	28.77	53.75
1929	45.94	202.50	104.15	43.49	27.43	16.28	12.38	12.82	32.45	94.78	49.34	42.93
1930	166.26	165.93	110.39	73.15	25.42	18.62	16.50	15.17	14.16	41.04	42.37	51.52
1931	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	10.40	9.57	10.57	12.88	13.05	39.25
1932	66.46	149.42	99.24	64.68	25.65	19.40	19.40	14.94	13.49	24.53	36.13	56.20
1933	101.70	110.62	112.40	102.59	68.69	25.31	16.06	14.05	11.54	14.72	16.06	31.22
1934	48.22	50.85	90.88	63.23	38.81	23.42	19.74	15.17	13.27	18.40	18.40	17.90
1935	40.59	53.80	81.96	74.93	29.55	20.85	18.85	16.17	12.49	20.41	20.85	58.88
1936	69.92	55.76	50.18	36.35	32.34	22.08	17.51	15.95	17.06	16.82	18.73	15.08
1937	22.41	26.23	54.86	35.68	23.64	17.17	14.94	16.06	10.70	16.95	28.99	41.70
1938	40.59	89.77	83.52	67.80	34.68	21.86	14.94	11.49	11.60	14.50	14.23	32.11
1939	46.28	72.04	98.13	100.81	37.91	22.75	18.73	13.49	17.17	14.79	15.08	78.83
1940	121.28	S/D	146.38	S/D	39.37	26.41	21.26	19.03	19.86	27.09	28.35	40.71
1941	91.76	150.93	240.45	43.88	31.04	22.77	15.46	14.76	15.62	25.37	32.87	51.52
1942	106.48	113.51	107.82	65.53	66.52	21.80	17.56	14.17	13.40	15.52	15.50	28.08
1943	61.71	113.36	150.53	162.98	31.28	21.88	19.09	16.68	17.07	26.49	23.86	46.15
1944	77.25	122.03	109.09	72.09	39.56	23.09	16.45	13.94	11.76	12.25	16.34	30.09
1945	73.79	105.18	85.23	82.33	28.31	15.24	13.07	12.50	12.50	14.03	31.37	77.70
1946	106.88	134.22	161.60	105.25	50.51	20.98	15.59	13.19	11.99	22.58	53.74	87.60
1947	60.65	60.65	122.03	47.60	40.65	31.91	16.45	12.50	15.61	21.00	25.03	54.91
1948	81.40	82.51	77.50	67.44	31.37	19.22	15.97	11.27	11.75	62.45	46.83	26.92

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1949	317.80	61.62	110.99	75.35	42.82	24.01	20.66	13.34	12.63	13.96	38.68	17.21
1950	41.23	76.79	77.10	44.34	41.52	15.95	13.97	12.82	11.59	13.50	19.11	77.82
1951	76.79	116.51	166.15	106.30	26.49	24.12	17.43	14.65	13.29	19.69	79.60	107.90
1952	137.87	141.19	183.85	148.79	51.00	36.21	17.66	16.08	11.03	14.50	S/D	S/D
1953	69.14	161.69	99.24	89.21	44.60	30.11	16.11	10.98	11.47	18.10	39.25	42.32
1954	93.67	96.34	178.42	57.12	57.48	21.90	S/D	10.99	14.23	17.11	50.69	39.99
1955	100.74	256.47	S/D	87.84	36.53	28.30	14.57	13.15	11.82	14.89	14.65	44.22
1956	40.78	93.87	113.14	82.16	36.33	12.57	10.67	12.66	14.12	18.85	15.13	10.88
1957	42.50	91.34	60.82	50.87	23.47	13.75	12.27	11.89	12.79	16.11	22.49	39.01
1958	47.70	78.75	74.37	38.16	17.13	12.09	10.21	9.60	9.80	18.33	16.08	S/D
1959	16.31	91.86	91.29	71.57	34.22	12.60	11.17	10.73	11.01	15.99	16.02	52.33
1960	81.16	95.74	77.86	41.85	24.19	11.85	10.39	8.88	8.73	14.27	21.63	15.77
1961	47.56	72.01	69.87	82.16	24.78	17.32	10.37	9.79	10.20	11.02	37.53	78.31
1962	82.54	66.64	95.01	90.59	24.00	15.02	14.01	13.18	13.97	14.18	21.51	29.00
1963	77.33	89.46	S/D	78.30	33.81	15.39	13.25	12.38	12.14	15.46	43.04	53.02
1964	50.87	108.95	115.35	115.11	37.11	21.03	16.06	13.89	15.27	27.55	41.01	30.00
1965	74.86	87.65	120.99	45.89	18.35	13.18	13.16	11.52	S/D	S/D	S/D	S/D
1966	76.93	43.51	108.81	42.50	18.81	13.70	11.36	12.05	12.13	47.35	32.59	62.97
1967	84.87	223.02	144.96	57.03	31.01	21.18	17.27	16.19	17.02	38.69	32.22	35.98
1968	37.35	35.66	59.84	38.45	12.87	11.97	10.67	11.84	S/D	S/D	S/D	S/D
Minimo	16.31	26.23	50.18	35.68	12.87	11.85	10.21	8.88	8.73	11.02	13.05	10.88
Maximo	317.80	256.47	240.45	162.98	68.69	36.21	21.26	19.03	32.45	94.78	79.60	107.90
Promedio	76.48	103.74	111.70	72.48	33.67	19.97	15.27	13.29	13.70	22.50	29.64	46.36
Desv. Estandar	49.04	49.14	40.90	28.84	12.16	5.61	3.06	2.20	3.76	15.29	14.39	21.44

ANA - SNIRH
<http://snirh.ana.gob.pe/observatorioSNIRH/>

En la siguiente tabla se presentan los caudales máximos diarios anuales y los caudales máximos instantáneos con los que se realizó el análisis de distribución de probabilidades.

**Tabla 45: Transformación caudal máximo instantáneo estación Casa Blanca
(TYPESA, 2021)**

Nº	AÑO	Qmax diario anual (m3/s)	Qmax inst (m3/s)
1	1926	234.3	328.1
2	1927	180.6	252.9
3	1928	235.6	329.8
4	1929	283.5	396.9
5	1932	209.2	292.9

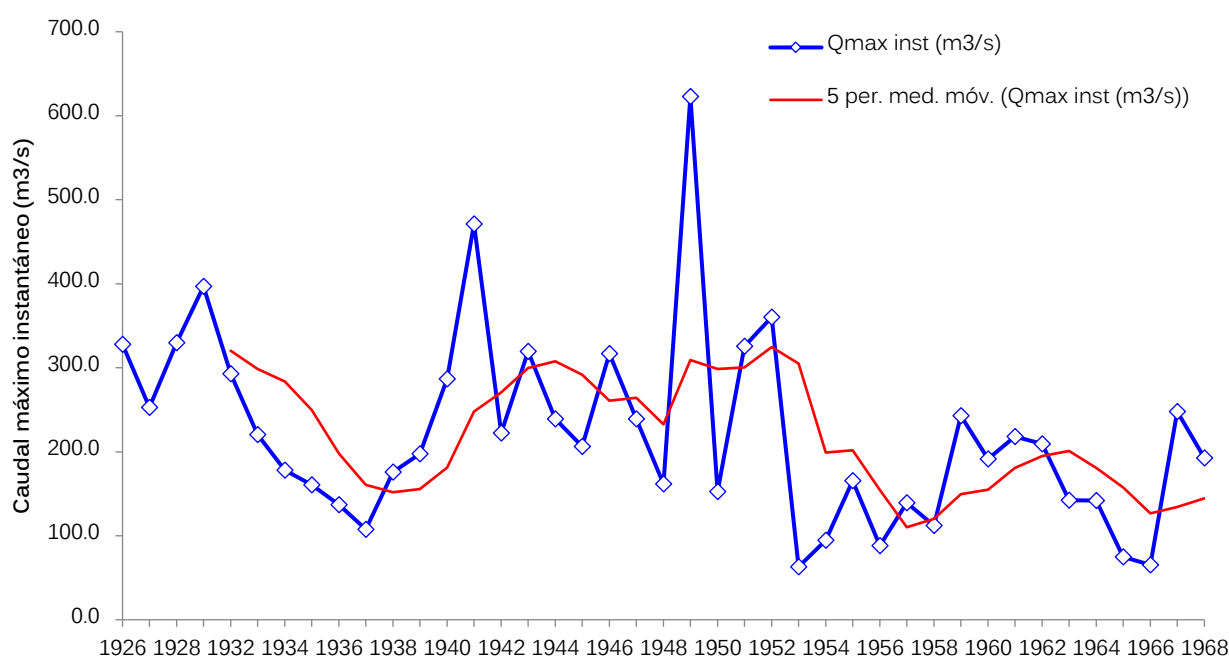
Nº	AÑO	Qmax diario anual (m3/s)	Qmax inst (m3/s)
26	1953	45.0	63.0
27	1954	67.6	94.6
28	1955	118.3	165.6
29	1956	63.0	88.2
30	1957	99.4	139.2

Nº	AÑO	Qmax diario anual (m3/s)	Qmax inst (m3/s)
6	1933	157.4	220.3
7	1934	127.2	178.1
8	1935	114.7	160.6
9	1936	97.9	137.0
10	1937	76.8	107.5
11	1938	125.7	175.9
12	1939	141.1	197.6
13	1940	204.9	286.9
14	1941	336.6	471.3
15	1942	158.9	222.5
16	1943	228.2	319.4
17	1944	170.8	239.2
18	1945	147.2	206.1
19	1946	226.2	316.7
20	1947	170.8	239.2
21	1948	115.5	161.7
22	1949	444.9	622.9
23	1950	109.0	152.5
24	1951	232.6	325.7
25	1952	257.4	360.3

Nº	AÑO	Qmax diario anual (m3/s)	Qmax inst (m3/s)
31	1958	80.2	112.3
32	1959	173.5	242.8
33	1960	136.8	191.5
34	1961	155.8	218.2
35	1962	149.6	209.5
36	1963	101.7	142.4
37	1964	101.3	141.9
38	1965	53.4	74.8
39	1966	46.6	65.2
40	1967	177.0	247.9
41	1968	137.4	192.4

Con los caudales máximos instantáneos obtenidos en la tabla anterior se realiza el análisis estadístico de la distribución o conjuntos de distribuciones de mayor ajuste a la serie, que se muestra en el siguiente ítem.

Ilustración 62: Histograma de caudales máximos instantáneos de la estación Casa Blanca (TYPSA, 2021)

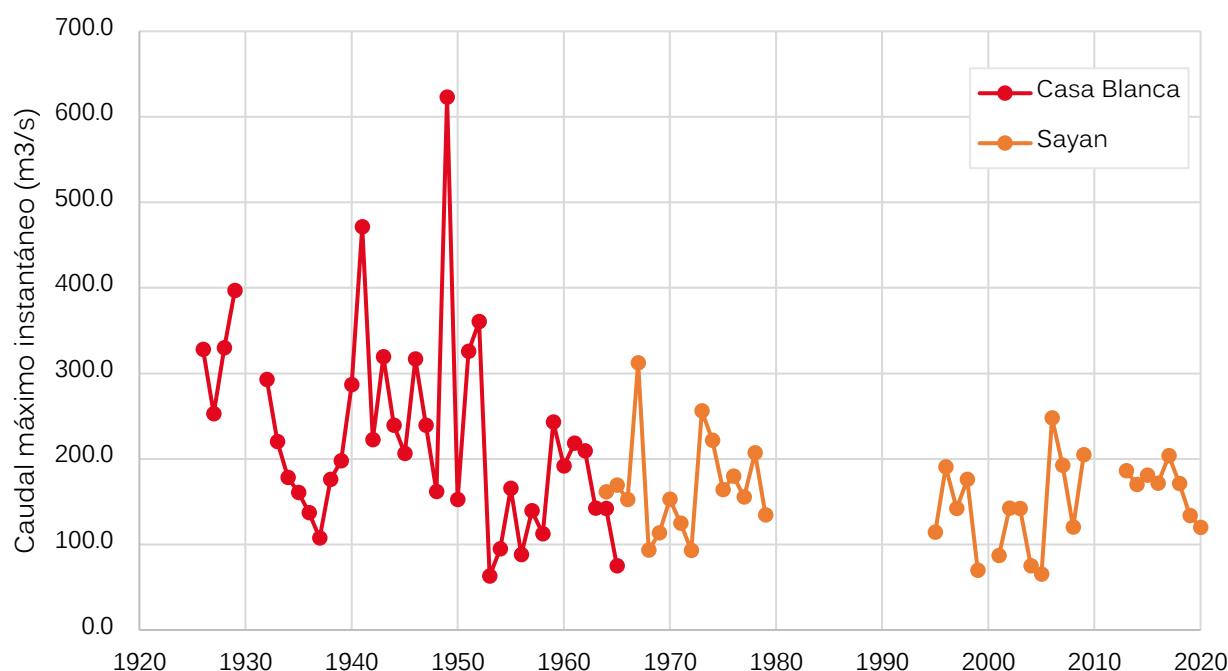


Del análisis visual del histograma de caudales máximos, se puede observar que a partir del año 1958 existe una disminución en la media, con lo que se corrobora lo indicado anteriormente sobre el efecto de las estructuras hidráulicas construidas en el río Huaura. Sin embargo, al tener registros más antiguos se puede deducir que gran parte de la serie representa los caudales máximos que se generarían en la cuenca sin intervenir (situación más desfavorable).

5.2.1.1.3 Análisis de los histogramas de valores máximos instantáneos anuales de la estación Casa Blanca y Sayán

Como fin comparativo dado la proximidad de las estaciones Casa Blanca y Sayán ubicadas en el río Huaura, se realizó el análisis comparativo de los datos de caudales máximos instantáneos, esto con el fin de corroborar la disminución de los caudales máximos por el incremento de la infraestructura principal en la cuenca. En el gráfico se puede apreciar claramente la disminución de caudales desde la década del año 50, lo que genera la tendencia a la baja de los caudales reportados en la estación hidrométrica de Sayán. Por tal motivo, que los caudales registrados en la estación de Casa Blanca representan mejor un evento extremo y por lo tanto con el resultado del análisis estadístico de esta serie replicaría mejor los caudales picos asociados a diferentes periodos de retorno de la modelización hidrológica con HEC-HMS.

Ilustración 63: Histograma de caudales máximos instantáneos de las estaciones Sayán y Casa Blanca (TYPSA, 2021)



5.2.1.2 Análisis de Frecuencia de Valores Extremos

Se procedió a realizar el análisis de ajuste de distribución de probabilidades de las estaciones Sayán y Casa Blanca encontrando que la que mejor se ajusta a los datos es la función Gumbel. Los resultados obtenidos para los diferentes periodos de retorno se muestran en la siguiente tabla.

Ilustración 64: Ajuste de distribución de probabilidades de caudales máximos instantáneos de la Estación Sayán (TYPESA, 2021)

Comparison criteria of the distributions

Return period :

WARNING ! The decision-support system (comparison criteria as described in the HYFRAN menu) is still being developed. It should therefore only be used as an indication.

Sample size :

Model	Nb param.	XT	P(Mi)	P(Mi x)	BIC	AIC
Gumbel (Maximum Likelihood)	2	349.649	20.00	40.90	415.892	412.616
Log-Pearson type 3 (Méthode SAM)	3	296.749	20.00	15.17	417.875	412.962
Pearson type 3 (Maximum Likelihood)	3	298.970	20.00	15.07	417.889	412.976
3-parameter lognormal (Maximum Likelihood)	3	298.939	20.00	14.85	417.918	413.006
GEV (Maximum Likelihood)	3	298.161	20.00	14.02	418.033	413.121

P(Mi) : A priori probability P(Mi | x) : A posteriori probability (Method of Schwarz) BIC : Bayesian information criterion AIC : Akaike information criterion

Ponderated mean by A posteriori probability of quantiles :

Tabla 46: Caudales asociados a diferentes TR ajustados con la función Gumbel en la estación Sayán (TYPESA, 2021)

T	q	XT	Standard deviation	Lim Inferior	Lim Superior
200	0.995	382.5	35.5800	312.8	452.3
100	0.99	349.6	31.4500	288.0	411.3
50	0.98	316.7	27.3300	263.1	370.2
25	0.96	283.4	23.2400	237.9	329.0
10	0.9	238.6	17.8800	203.6	273.7
2	0.5	149.6	8.9670	132.1	167.2

Ilustración 65: Curva de caudales en la estación Sayán
(TYP SA, 2021)

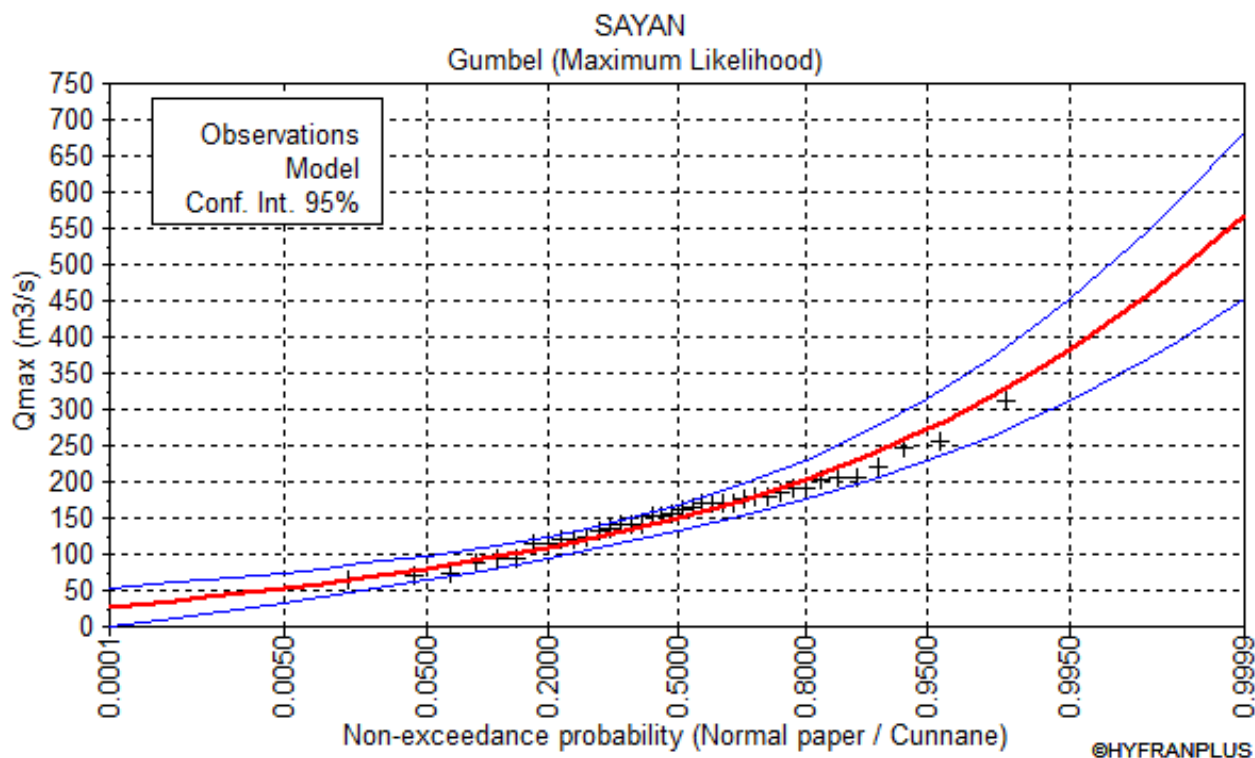
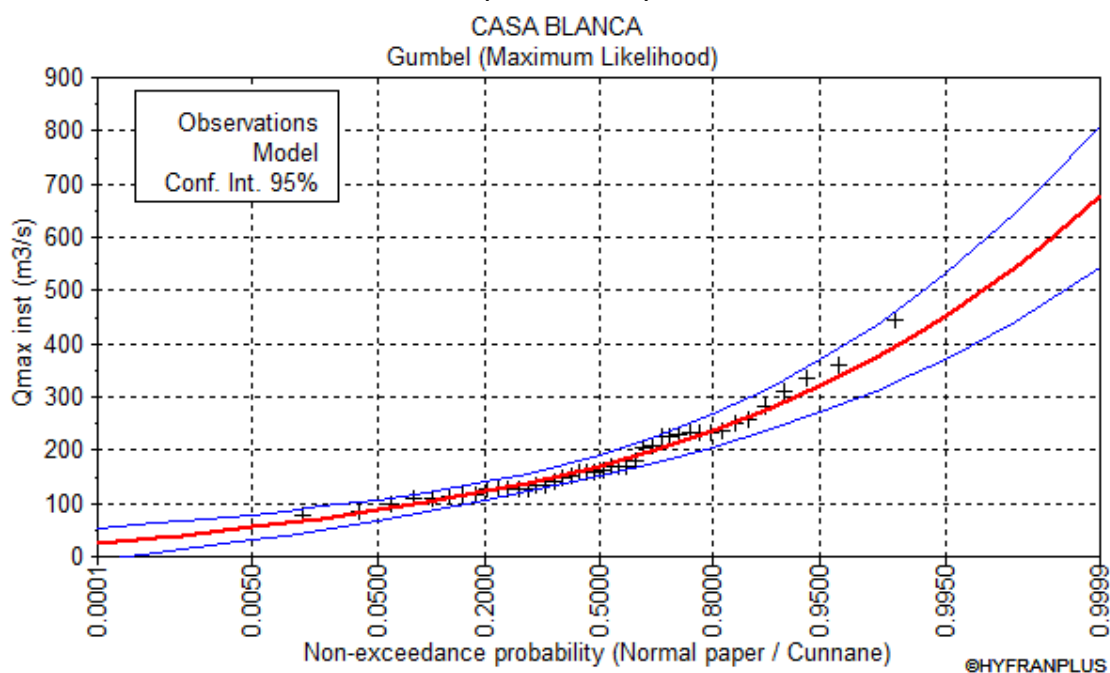


Tabla 47: Caudales asociados a diferentes TR ajustados con la función Gumbel en la estación Casa Blanca
(TYP SA, 2021)

T	q	XT	Standard deviation	Lim Inferior	Lim Superior
200	0.995	452.4	40.8400	372.3	532.5
100	0.99	412.7	36.1000	341.9	483.5
50	0.98	372.8	31.3800	311.3	434.3
25	0.96	332.7	26.6900	280.3	385
10	0.9	278.5	20.5400	238.2	318.8
2	0.5	170.9	10.3100	150.7	191.2

Ilustración 66: Curva de caudales en la estación Sayán
(TYP SA, 2021)



De los resultados mostrados en el presente ítem podemos concluir que los valores de caudales máximos para diferentes periodos de retorno se ajustan a la modelización hidrológica con el software HEC-HMS.

5.2.2 Modelamiento Precipitación - Escorrentía

Para el desarrollo del Modelo de Precipitación – Escorrentía, se ha utilizado el Software HEC-HMS. Este modelo se calibra mediante la utilización de los registros de caudales medios diarios la estación Sayán. Para el presente modelamiento no se han considerado los embalses, simulando la situación más crítica (sin atenuación de avenidas).

La generación de los caudales de avenida en el denominado Punto Base (estación Sayán) y en secciones de subcuencas de interés, se han obtenido para diferentes periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50, 100 y, 200 años.

5.2.2.1 Esquema de Modelo Hidrológico

El modelo hidrológico ha sido esquematizado tal como se muestra en la Ilustración 61, se ha tomado en cuenta los puntos de interés principales de acuerdo con lo requerido por el modelamiento hidráulico. Para el presente modelamiento no se han considerado los embalses.

El área total de la cuenca es subdividida en subcuencas desde la parte superior hasta la desembocadura con el océano pacifico, como se demostró en la Ilustración 67.

El área de proyecto completo y la red de ríos asociados fueron configuradas en 95 unidades hidrográficas o subcuencas y 50 tramos de cauce. A cada tramo se le proporcionó números topológicos acompañado por la letra R y a las subcuencas un nombre compuesto por números y letras asociados la cuenca (S) en forma secuencial.

**Ilustración 67: Esquema de modelo hidrológico para la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)**



5.2.2.1.1 Modelo de transformación

El módulo Runoff transformation convierte el exceso de precipitación en la cuenca y subcuenca a escorrentía directa en la salida. HEC-HMS permite determinar la transformación de la escorrentía usando métodos agregados o distribuidos.

En el método agregado, la cantidad de escorrentía es determinada usando hidrogramas unitarios – como son Clark, Snyder o SCS, o métodos de onda cinemática. En un método distribuido (como el Modified Clark) las subcuencas son divididas en mallas o celdas y los excesos de lluvia de cada celda se transitan hasta la salida de la subcuenca.

Inicialmente se consideró utilizar el método SCS y de acuerdo con las notas técnicas las cuales recomiendan calcular el tiempo de concentración mediante los métodos de Kirpich, California Culverts y SCS sin embargo debido a su variabilidad se decidió utilizar otros métodos para su verificación; como fin comparativo se realizaron los cálculos respectivos que se muestran en la siguiente tabla. Como se puede apreciar existe mucha variabilidad entre los diferentes métodos y además estos valores al colocarlos en el modelo HEC-HMS no permitían realizar una buena calibración. En párrafos más adelante se describe el método que se decidió emplear para el modelo de transformación precipitación – escorrentía.

**Tabla 48: Tiempos de concentración en las subcuencas del río Huaura
(TYPSPA, 2021)**

N°	Subcuenca	Area (km ²)	Long. corriente máxima (km)	Pendiente (m/m)	Tc Kirpich (hr)	Tc California Culverts (hr)	Tc SCS (hr)	Tc promedio (horas)	Tc promedio (minutos)
1	S1	60.17	18.62	0.06232	1.83	1.84	5.71	3.13	188
2	S2	38.32	13.31	0.06558	1.39	1.39	4.31	2.36	142
3	S4	36.55	11.56	0.11583	1.00	1.00	2.96	1.65	99
4	S55	16.23	9.69	0.10852	0.90	0.90	2.27	1.35	81
5	S3	99.25	24.56	0.06514	2.23	2.23	7.45	3.97	238
6	S61	25.37	9.85	0.14617	0.81	0.81	2.02	1.21	73
7	S5	26.42	12.28	0.11101	1.07	1.07	3.28	1.80	108
8	S65	4.88	3.94	0.29651	0.30	0.30	0.71	0.44	26
9	S12	78.63	19.75	0.07057	1.83	1.83	6.01	3.22	193
10	S6	78.83	20.34	0.06877	1.89	1.89	5.04	2.94	176
11	S57	31.03	10.47	0.15422	0.83	0.83	2.07	1.24	75
12	S66	16.90	8.24	0.18720	0.64	0.64	1.46	0.91	55
13	S7	42.95	12.73	0.16037	0.95	0.95	2.92	1.61	97
14	S68	27.88	12.55	0.15297	0.96	0.96	2.53	1.48	89
15	S71	49.39	17.41	0.12451	1.33	1.34	3.70	2.12	127
16	S9	49.21	14.54	0.14083	1.11	1.11	3.36	1.86	111
17	S13	76.94	22.87	0.12003	1.67	1.67	5.52	2.95	177
18	S75	30.28	10.48	0.17326	0.79	0.80	2.19	1.26	76
19	S11	84.41	20.09	0.12348	1.49	1.50	4.04	2.34	141

N°	Subcuenca	Area (km2)	Long. corriente máxima (km)	Pendiente (m/m)	Tc Kirpich (hr)	Tc California Culverts (hr)	Tc SCS (hr)	Tc promedio (horas)	Tc promedio (minutos)
20	S78	0.05	0.40	0.28450	0.05	0.05	0.13	0.08	5
21	S80	1.86	2.87	0.35109	0.22	0.22	0.53	0.33	20
22	S28	44.19	15.02	0.04683	1.74	1.74	4.79	2.75	165
23	S22	35.01	11.19	0.06272	1.24	1.24	3.30	1.93	116
24	S19	60.37	17.16	0.07501	1.60	1.61	5.16	2.79	167
25	S51	44.07	15.27	0.10406	1.29	1.29	3.46	2.02	121
26	S17	87.59	18.73	0.09635	1.56	1.56	4.93	2.68	161
27	S62	22.44	13.10	0.13322	1.04	1.05	2.64	1.58	95
28	S63	65.02	13.85	0.13660	1.08	1.08	3.16	1.77	106
29	S25	51.57	18.50	0.08566	1.61	1.62	4.37	2.53	152
30	S29	48.13	14.21	0.11519	1.18	1.18	3.22	1.86	111
31	S54	10.94	6.02	0.20238	0.49	0.49	1.66	0.88	53
32	S67	3.92	3.65	0.37359	0.26	0.26	0.81	0.44	27
33	S24	48.46	16.14	0.14352	1.19	1.19	3.21	1.86	112
34	S69	45.90	16.68	0.13208	1.26	1.26	3.82	2.12	127
35	S72	57.36	13.16	0.20208	0.89	0.89	2.51	1.43	86
36	S20	25.93	13.45	0.20021	0.91	0.91	2.32	1.38	83
37	S18	83.39	21.52	0.13083	1.54	1.54	5.26	2.78	167
38	S73	12.41	7.13	0.23676	0.52	0.52	1.63	0.89	54
39	S76	71.81	15.43	0.17140	1.07	1.08	3.27	1.81	108
40	S81	15.40	7.88	0.25408	0.55	0.55	1.46	0.85	51
41	S82	64.35	17.52	0.16116	1.21	1.22	3.55	1.99	119
42	S10	194.33	28.18	0.11326	2.00	2.01	5.79	3.27	196
43	S23	107.65	20.62	0.17116	1.34	1.35	4.12	2.27	136
44	S83	9.35	7.02	0.23911	0.52	0.52	1.51	0.85	51
45	S21	50.44	12.41	0.25958	0.77	0.78	2.45	1.33	80
46	S84	18.79	8.13	0.21816	0.60	0.60	1.86	1.02	61
47	S30	59.99	17.10	0.21104	1.07	1.08	3.42	1.86	111
48	S85	50.90	12.84	0.21012	0.86	0.86	2.67	1.47	88
49	S14	76.64	19.93	0.11597	1.52	1.52	5.29	2.78	167
50	S15	71.50	20.84	0.11052	1.60	1.61	5.51	2.91	174
51	S59	113.03	22.64	0.13378	1.59	1.59	5.36	2.85	171
52	S86	23.66	8.86	0.19994	0.66	0.66	2.03	1.12	67
53	S40	37.10	15.22	0.19627	1.01	1.01	3.21	1.74	105
54	S87	19.66	11.06	0.24637	0.72	0.72	2.32	1.25	75
55	S38	26.41	10.53	0.22822	0.72	0.72	2.28	1.24	74
56	S88	5.58	3.97	0.28492	0.31	0.31	0.84	0.49	29
57	S89	25.22	8.75	0.16931	0.70	0.70	2.19	1.20	72
58	S31	35.94	14.82	0.20031	0.98	0.98	3.39	1.78	107

N°	Subcuenca	Area (km2)	Long. corriente máxima (km)	Pendiente (m/m)	Tc Kirpich (hr)	Tc California Culverts (hr)	Tc SCS (hr)	Tc promedio (horas)	Tc promedio (minutos)
59	S90	17.93	8.16	0.16289	0.67	0.67	1.97	1.10	66
60	S33	75.67	18.44	0.16647	1.25	1.25	4.39	2.30	138
61	S53	17.68	11.20	0.14692	0.89	0.89	2.78	1.52	91
62	S91	11.30	7.08	0.18798	0.57	0.57	1.60	0.91	55
63	S92	28.88	10.62	0.13052	0.90	0.90	2.66	1.48	89
64	S41	55.37	14.04	0.09291	1.26	1.27	3.14	1.89	114
65	S36	27.84	11.80	0.11974	1.00	1.00	2.44	1.48	89
66	S102	63.61	12.06	0.16519	0.90	0.90	2.29	1.36	82
67	S60	139.21	25.09	0.12730	1.75	1.75	5.83	3.11	187
68	S58	13.99	7.13	0.15858	0.61	0.61	1.81	1.01	61
69	S47	55.26	16.10	0.11174	1.31	1.31	4.18	2.27	136
70	S70	45.17	12.82	0.18007	0.91	0.92	2.89	1.57	94
71	S49	46.37	13.90	0.12695	1.11	1.11	3.49	1.91	114
72	S74	28.58	12.24	0.15052	0.95	0.95	2.94	1.61	97
73	S77	30.84	11.13	0.12862	0.93	0.93	2.82	1.56	94
74	S46	28.59	14.12	0.14559	1.07	1.07	3.44	1.86	111
75	S79	43.68	13.86	0.09801	1.23	1.23	3.83	2.09	126
76	S93	1.58	3.06	0.11816	0.36	0.36	1.14	0.62	37
77	S94	46.83	13.05	0.10637	1.14	1.14	3.44	1.90	114
78	S43	28.58	14.50	0.10034	1.26	1.26	3.78	2.10	126
79	S27	103.70	17.94	0.12923	1.35	1.35	4.39	2.36	142
80	S39	34.16	16.04	0.12482	1.25	1.25	3.96	2.15	129
81	S95	117.12	20.99	0.05343	2.13	2.14	7.22	3.83	230
82	S56	30.82	14.58	0.09069	1.31	1.32	3.94	2.19	131
83	S96	37.53	17.49	0.07290	1.65	1.65	4.22	2.50	150
84	S45	26.16	11.61	0.04572	1.44	1.44	4.56	2.48	149
85	S97	30.23	11.03	0.04821	1.35	1.35	3.30	2.00	120
86	S42	26.95	15.33	0.06799	1.53	1.53	5.25	2.77	166
87	S37	75.92	27.48	0.06650	2.41	2.42	8.21	4.35	261
88	S98	44.85	15.87	0.03869	1.95	1.95	5.69	3.20	192
89	S26	106.05	32.52	0.05748	2.91	2.91	9.95	5.25	315
90	S99	2.74	4.17	0.02640	0.81	0.81	2.81	1.48	89
91	S34	48.65	22.59	0.04227	2.47	2.47	8.48	4.48	269
92	S100	11.09	7.73	0.05027	1.01	1.01	3.38	1.80	108
93	S101	20.05	15.88	0.02157	2.44	2.44	9.94	4.94	296
94	S8	52.41	20.21	0.14002	1.43	1.43	4.57	2.48	149
95	S16	60.93	17.04	0.15547	1.20	1.21	4.34	2.25	135

Para la transformación precipitación – escorrentía fue adoptada la metodología del hidrograma unitario de Snyder. Este método consta de dos parámetros: Snyder Estandar Lag T_p , el cual está en función del tiempo pico (hr) y el Snyder Peaking Coefficient C_p , adimensional y está en función del máximo flujo, tiempo pico y área de la subcuenca con la siguiente ecuación:

$$T_p = C_t * (L_c * L)^{0.3}$$

Dónde:

C_t : Coeficiente, considerando en función de la topografía y varía de 1.8 a 2.2, para este caso consideramos 2.

C_p : Varía de 0.40 a 0.80, se consideró 0.60 (Manual de Hidrología e Hidráulica – MTC)

L_c : Distancia del centro de gravedad de la subcuenca a su salida correspondiente.

L : Longitud del curso principal.

En la siguiente Tabla se presentan los parámetros del hidrograma unitario de Snyder para el modelo de transformación.

Tabla 49: Parámetros de transformación con método de Snyder para las subcuencas del río Huaura (TYPESA, 2021)

N°	Subcuenca	Long. corriente máxima (km)	Pendiente corriente máxima (m/m)	Long. corriente máxima desde el centroide (km)	C_t	T_p (hr)
1	S1	18.62	0.06232	8.18	1.17	5.26
2	S2	13.31	0.06558	6.44	1.15	4.39
3	S3	24.56	0.06514	11.71	1.16	6.32
4	S4	11.56	0.11583	5.25	1.04	3.55
5	S5	12.28	0.11101	5.84	1.04	3.76
6	S6	20.34	0.06877	8.91	1.14	5.44
7	S7	12.73	0.16037	4.86	0.97	3.36
8	S8	20.21	0.14002	10.04	1.00	4.92
9	S9	14.54	0.14083	7.27	1.00	4.04
10	S10	28.18	0.11326	13.66	1.04	6.21
11	S11	20.09	0.12348	8.82	1.02	4.84
12	S12	19.75	0.07057	8.96	1.14	5.38
13	S13	22.87	0.12003	11.78	1.03	5.51
14	S14	19.93	0.11597	10.70	1.04	5.17
15	S15	20.84	0.11052	9.80	1.05	5.15
16	S16	17.04	0.15547	6.35	0.98	3.99
17	S17	18.73	0.09635	8.12	1.07	4.84
18	S18	21.52	0.13083	10.23	1.01	5.11
19	S19	17.16	0.07501	8.50	1.13	5.02

N°	Subcuenca	Long. corriente máxima (km)	Pendiente corriente máxima (m/m)	Long. corriente máxima desde el centroide (km)	Ct	Tp (hr)
20	S20	13.45	0.20021	6.79	0.93	3.62
21	S21	12.41	0.25958	6.61	0.89	3.33
22	S22	11.19	0.06272	6.59	1.16	4.23
23	S23	20.62	0.17116	9.81	0.96	4.73
24	S24	16.14	0.14352	7.84	0.99	4.25
25	S25	18.50	0.08566	8.58	1.10	5.02
26	S26	32.52	0.05748	17.88	1.18	7.99
27	S27	17.94	0.12923	8.63	1.01	4.61
28	S28	15.02	0.04683	6.65	1.23	4.90
29	S29	14.21	0.11519	6.75	1.04	4.08
30	S30	17.10	0.21104	9.44	0.92	4.25
31	S31	14.82	0.20031	8.03	0.93	3.92
32	S33	18.44	0.16647	8.20	0.97	4.36
33	S34	22.59	0.04227	12.30	1.25	6.79
34	S36	11.80	0.11974	5.57	1.03	3.61
35	S37	27.48	0.0665	15.15	1.15	7.03
36	S38	10.53	0.22822	6.23	0.91	3.19
37	S39	16.04	0.12482	8.32	1.02	4.43
38	S40	15.22	0.19627	8.86	0.94	4.08
39	S41	14.04	0.09291	5.41	1.08	3.96
40	S42	15.33	0.06799	8.29	1.15	4.90
41	S43	14.50	0.10034	7.59	1.06	4.36
42	S45	11.61	0.04572	6.21	1.24	4.46
43	S46	14.12	0.14559	7.03	0.99	3.94
44	S47	16.10	0.11174	8.15	1.04	4.51
45	S49	13.90	0.12695	7.79	1.02	4.15
46	S51	15.27	0.10406	6.29	1.06	4.16
47	S53	11.20	0.14692	5.62	0.99	3.43
48	S54	6.02	0.20238	2.32	0.93	2.06
49	S55	9.69	0.10852	5.06	1.05	3.37
50	S56	14.58	0.09069	8.42	1.09	4.59
51	S57	10.47	0.15422	3.99	0.98	3.01
52	S58	7.13	0.15858	2.93	0.98	2.43
53	S59	22.64	0.13378	10.52	1.01	5.21
54	S60	25.09	0.1273	10.94	1.02	5.48
55	S61	9.85	0.14617	4.53	0.99	3.10
56	S62	13.10	0.13322	6.97	1.01	3.91
57	S63	13.85	0.1366	4.51	1.00	3.47

N°	Subcuenca	Long. corriente máxima (km)	Pendiente corriente máxima (m/m)	Long. corriente máxima desde el centroide (km)	Ct	Tp (hr)
58	S65	3.94	0.29651	1.78	0.87	1.55
59	S66	8.24	0.1872	3.07	0.95	2.49
60	S67	3.65	0.37359	1.20	0.83	1.29
61	S68	12.55	0.15297	6.00	0.98	3.59
62	S69	16.68	0.13208	6.13	1.01	4.05
63	S70	12.82	0.18007	7.78	0.95	3.79
64	S71	17.41	0.12451	9.96	1.02	4.80
65	S72	13.16	0.20208	2.92	0.93	2.78
66	S73	7.13	0.23676	2.01	0.90	2.01
67	S74	12.24	0.15052	6.79	0.99	3.71
68	S75	10.48	0.17326	5.03	0.96	3.15
69	S76	15.43	0.1714	7.00	0.96	3.92
70	S77	11.13	0.12862	3.85	1.02	3.13
71	S78	0.40	0.2845	0.17	0.87	0.39
72	S79	13.86	0.09801	7.20	1.07	4.26
73	S80	2.87	0.35109	0.44	0.84	0.90
74	S81	7.88	0.25408	3.16	0.89	2.34
75	S82	17.52	0.16116	6.54	0.97	4.03
76	S83	7.02	0.23911	2.24	0.90	2.06
77	S84	8.13	0.21816	2.90	0.92	2.37
78	S85	12.84	0.21012	3.25	0.93	2.83
79	S86	8.86	0.19994	3.25	0.93	2.56
80	S87	11.06	0.24637	6.43	0.90	3.23
81	S88	3.97	0.28492	1.33	0.87	1.44
82	S89	8.75	0.16931	1.28	0.96	1.99
83	S90	8.16	0.16289	2.93	0.97	2.52
84	S91	7.08	0.18798	4.32	0.94	2.64
85	S92	10.62	0.13052	4.54	1.01	3.24
86	S93	3.06	0.11816	1.48	1.03	1.63
87	S94	13.05	0.10637	4.70	1.05	3.62
88	S95	20.99	0.05343	7.54	1.20	5.48
89	S96	17.49	0.0729	8.65	1.13	5.10
90	S97	11.03	0.04821	4.30	1.22	3.89
91	S98	15.87	0.03869	5.86	1.28	4.97
92	S99	4.17	0.0264	1.94	1.37	2.57
93	S100	7.73	0.05027	3.85	1.21	3.36
94	S101	15.88	0.02157	7.75	1.43	6.04
95	S102	12.06	0.16519	5.39	0.97	3.39

5.2.2.1.2 Modelo de flujo base

Para determinar el flujo base se empleó el método de “Constant Monthly”, como parámetro inicial se utilizará el caudal promedio de la estación Sayán el cual dividido entre su área de aporte nos arroja un rendimiento aproximado de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Para los eventos extremos se recomienda utilizar los caudales registrados de la estación Sayán en el periodo FEN 2017, ya que estos valores representaran de manera más real el comportamiento de la cuenca ante un evento extremo. La mediana del caudal observado y el área de aporte hasta la estación Sayán nos arroja un rendimiento aproximado de $0.003 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

Tabla 50: Caudal medio Mensual en la estación Sayán periodo 1964-1981
(Estudio de pre-inversión - SENAMHI)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	26.79	51.76	72.78	50.01	22.81	15.80	13.38	12.10	11.89	16.02	19.97	15.68
1965	25.01	42.35	65.50	24.29	13.82	11.55	10.69	9.92	9.84	10.34	11.41	14.08
1966	33.91	23.33	38.04	20.84	14.50	10.84	9.80	10.02	9.73	19.99	19.15	26.98
1967	35.32	92.25	74.51	32.00	21.27	17.10	15.05	13.30	13.36	21.63	20.95	22.70
1968	28.12	23.85	37.91	19.55	12.35	10.80	9.84	10.55	13.22	17.98	21.19	20.95
1969	12.16	20.24	32.42	31.88	14.09	13.04	11.99	11.05	11.25	12.55	16.44	61.13
1970	62.80	42.55	40.50	35.71	25.63	19.98	14.88	13.29	17.10	17.57	19.03	28.07
1971	35.96	39.39	54.17	41.72	20.87	16.72	13.04	11.53	11.35	16.20	14.80	24.83
1972	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	15.61	12.74	12.26	11.32	16.31	14.13	30.34
1973	51.01	70.17	99.88	68.74	30.97	15.80	14.32	12.50	14.21	25.36	23.60	46.33
1974	59.65	81.54	86.29	48.52	27.63	17.89	14.13	13.03	14.40	15.55	16.37	17.43
1975	41.17	35.39	87.55	41.62	27.13	19.11	15.27	13.99	11.67	14.44	16.22	18.24
1976	46.89	78.28	77.79	42.50	17.74	14.78	13.23	13.20	13.19	12.89	13.31	15.19
1977	21.15	47.97	49.83	26.87	15.07	11.33	10.99	11.69	13.57	14.91	21.92	20.45
1978	16.84	46.01	98.80	S/D	15.69	12.59	11.46	10.42	11.52	13.00	12.28	14.35
1979	21.87	23.14	26.03	20.79	11.21	8.31	7.70	8.64	S/D	S/D	S/D	S/D
1980	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	10.10	15.82	17.42	S/D
1981	S/D	S/D	S/D	S/D	11.21	8.31	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Promedio (m3/s)	34.58	47.88	62.80	36.07	18.87	14.09	12.41	11.72	12.36	16.28	17.39	25.12

Tabla 51: Caudal medio Mensual en la estación Sayán periodo 2012-2018
(Estudio de pre inversión - SENAMHI)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2012	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	10.35	12.95	17.64	22.27
2013	27.94	50.24	89.71	32.36	13.25	11.23	9.54	8.22	8.92	11.77	11.84	18.03
2014	25.06	49.30	74.13	19.94	16.90	10.73	9.98	9.01	9.35	10.46	11.52	15.11
2015	35.45	43.99	76.16	41.56	16.16	9.61	10.66	9.52	9.83	11.69	13.24	20.61

2016	15.04	30.69	36.65	20.37	12.81	11.13	10.54	9.73	10.12	12.58	11.69	11.98
2017	26.44	46.63	91.93	56.97	23.55	16.24	11.79	9.20	7.84	7.65	7.22	8.37
2018	17.51	18.86	63.65	51.56	24.28	14.91	11.52	11.37	S/D	S/D	S/D	S/D
2019	26.78	53.73	50.82	34.38	19.49	12.00	10.64	8.73	6.32	6.99	31.15	31.19
Promedio (m3/s)	24.57	39.95	72.04	37.13	17.82	12.31	10.67	9.51	9.40	11.18	12.19	16.06

**Tabla 52: Parámetros para determinación del flujo base
(TYPESA, 2021)**

N°	Nombre	Flujo base	Aporte	Área (km2)	Área Húmeda (km2)
1	S1	SI	100%	60.17	60.17
2	S2	SI	100%	38.32	38.32
3	S3	SI	100%	99.25	99.25
4	S4	SI	100%	36.55	36.55
5	S5	SI	50%	26.42	13.21
6	S6	SI	100%	78.83	78.83
7	S7	SI	100%	42.95	42.95
8	S8	SI	100%	52.41	52.41
9	S9	SI	100%	49.21	49.21
10	S10	SI	100%	194.33	194.33
11	S11	SI	100%	84.41	84.41
12	S12	SI	50%	78.63	39.32
13	S13	SI	100%	76.94	76.94
14	S14	SI	50%	76.64	38.32
15	S15	SI	50%	71.50	35.75
16	S16	NO	0%	60.93	0.00
17	S17	SI	50%	87.59	43.80
18	S18	SI	100%	83.39	83.39
19	S19	SI	100%	60.37	60.37
20	S20	NO	0%	25.93	0.00
21	S21	NO	0%	50.44	0.00
22	S22	SI	100%	35.01	35.01
23	S23	SI	100%	107.65	107.65
24	S24	NO	0%	48.46	0.00
25	S25	SI	100%	51.57	51.57
26	S26	NO	0%	106.05	0.00

N°	Nombre	Flujo base	Aporte	Área (km2)	Área Húmeda (km2)
27	S27	NO	0%	103.70	0.00
28	S28	SI	50%	44.19	22.10
29	S29	SI	50%	48.13	24.06
30	S30	NO	0%	59.99	0.00
31	S31	NO	0%	35.94	0.00
32	S33	NO	0%	75.67	0.00
33	S34	NO	0%	48.65	0.00
34	S36	NO	0%	27.84	0.00
35	S37	NO	0%	75.92	0.00
36	S38	NO	0%	26.41	0.00
37	S39	NO	0%	34.16	0.00
38	S40	SI	50%	37.10	18.55
39	S41	SI	100%	55.37	55.37
40	S42	SI	100%	26.95	26.95
41	S43	NO	0%	28.58	0.00
42	S45	NO	0%	26.16	0.00
43	S46	NO	0%	28.59	0.00
44	S47	NO	0%	55.26	0.00
45	S49	NO	0%	46.37	0.00
46	S51	SI	100%	44.07	44.07
47	S53	SI	50%	17.68	8.84
48	S54	SI	25%	10.94	2.74
49	S55	SI	10000%	16.23	1622.90
50	S56	NO	0%	30.82	0.00
51	S57	SI	100%	31.03	31.03
52	S58	SI	100%	13.99	13.99
53	S59	SI	100%	113.03	113.03
54	S60	SI	100%	139.21	139.21
55	S61	SI	100%	25.37	25.37
56	S62	SI	100%	22.44	22.44
57	S63	SI	100%	65.02	65.02
58	S65	SI	100%	4.88	4.88
59	S66	SI	100%	16.90	16.90
60	S67	SI	100%	3.92	3.92

N°	Nombre	Flujo base	Aporte	Área (km2)	Área Húmeda (km2)
61	S68	SI	100%	27.88	27.88
62	S69	SI	100%	45.90	45.90
63	S70	SI	100%	45.17	45.17
64	S71	SI	100%	49.39	49.39
65	S72	SI	100%	57.36	57.36
66	S73	SI	100%	12.41	12.41
67	S74	SI	100%	28.58	28.58
68	S75	SI	100%	30.28	30.28
69	S76	SI	100%	71.81	71.81
70	S77	SI	100%	30.84	30.84
71	S78	SI	100%	0.05	0.05
72	S79	SI	100%	43.68	43.68
73	S80	SI	100%	1.86	1.86
74	S81	SI	100%	15.40	15.40
75	S82	SI	100%	64.35	64.35
76	S83	SI	100%	9.35	9.35
77	S84	SI	100%	18.79	18.79
78	S85	SI	100%	50.90	50.90
79	S86	SI	100%	23.66	23.66
80	S87	SI	50%	19.66	9.83
81	S88	SI	100%	5.58	5.58
82	S89	SI	50%	25.22	12.61
83	S90	SI	100%	17.93	17.93
84	S91	SI	50%	11.30	5.65
85	S92	SI	100%	28.88	28.88
86	S93	SI	100%	1.58	1.58
87	S94	SI	100%	46.83	46.83
88	S95	SI	100%	117.12	117.12
89	S96	SI	100%	37.53	37.53
90	S97	SI	100%	30.23	30.23
91	S98	SI	100%	44.85	44.85
92	S99	SI	100%	2.74	2.74
93	S100	SI	100%	11.09	11.09
94	S101	SI	100%	20.05	20.05

N°	Nombre	Flujo base	Aporte	Área (km2)	Área Húmeda (km2)
95	S102	SI	50%	63.61	31.80

5.2.2.1.3 Modelo de perdidas

Las pérdidas o abstracciones se refieren a la cantidad de lluvia infiltrada en la tierra. HEC-HMS emplea los métodos más comunes para calcular las pérdidas o abstracciones (como el initial/constant, CN de SCS, CN gridded SCS y el Green y Ampt) y provee una opción de abatimiento de la humedad para simular en los períodos de tiempo extendidos.

El método que mejor se ajusta para el presente trabajo es el SCS (Soil conservation Service), en base a la curva número característico, calculado a partir la cobertura de la cuenca. Los valores de Numero de Curva de las subcuencas fueron calculadas a partir de los mapas de cobertura y uso, mapas de suelo y modelo digital de elevación (como se presentan en los Anexos) el valor final resulta de la ponderación de los valores individuales distribuidos espacialmente asignados según la tabla de Ven Te Chow.

Siguiendo las recomendaciones de las notas técnicas, se hizo una valoración entre el CN calculado y el CN proporcionado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en condiciones húmedas. Como resultado se eligió el mayor valor entre el CN calculado y el CN promedio ANA.

Determinación de número de curva

El número de curva CN, es un numero hidrológico adimensional que varía en función a la capacidad de infiltración del suelo en base al tipo hidrológico del suelo y del tipo de cobertura vegetal. Generalmente, las cuencas presentan variedad de coberturas vegetales y tienen diferentes usos de suelo, por tal razón se determinó el número de curva mediante un promedio ponderado de los CN de cada zona.

Tabla 53: Reclasificación del Mapa de Suelo
(Generación del Mapa Temático de Curva Numero – ANA, 2017)

DESCRIPCIÓN DE SUELOS	SIMBOLOGÍA	GRUPO HIDROLÓGICO
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístrico - Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístrico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístrico - Alisol háplico	CMd-ALh	C

DESCRIPCIÓN DE SUELOS	SIMBOLOGÍA	GRUPO HIDROLÓGICO
Cambisol dístrico - Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éutrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éutrico - Vertisol éutrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éutrico - Gleysol éutrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístrico - Cambisol dístrico	GLd-CMd	B
Gleysol dístrico - Histosol fíbrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístrico - Lixisol háplico - Fluvisol dístrico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístrico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístrico - Andosol mbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístrico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístrico - Cambisol dístrico - Regosol dístrico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístrico - Regosol dístrico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	LPe-CMe	C
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico - Regosol éutrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éutrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éutrico - Regosol éutrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B
Lixisol háplico - Gleysol dístrico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éutrico	LVx-CMe	C
Regosol dístrico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol dístrico - Cambisol dístrico	RGd-CMd	C
Regosol éutrico - Andosol móllico	RGe-ANm	C

DESCRIPCIÓN DE SUELOS	SIMBOLOGÍA	GRUPO HIDROLÓGICO
Regosol éutrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éutrico - Cambisol éutrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éutrico	SCh-LPe	A

Tabla 54: Reclasificación del Mapa de Cobertura
(Generación del Mapa Temático de Curva Numero – ANA, 2017)

Descripción de Coberturas	Reclasificación
Cuerpos de agua	1
Nevados	2
Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frío	6
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromorfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

Tabla 55: Valores de los grupos hidrológicos
(Generación del Mapa Temático de Curva Numero – ANA, 2017)

Descripción del Uso de la Tierra	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frío	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidromorfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporal de hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrofítica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

Con la información acondicionada de la información temática de cobertura vegetal y suelo de acuerdo con las clasificaciones indicadas en las tablas previas se realizó lo siguiente:

- Se carga inicialmente el ráster del MDE corregido.
- Se acondicionó la información temática de cobertura vegetal y mapa de suelos, procediéndose a unir dichos mapas con lo que se generó un nuevo mapa en formato vectorial.
- Luego se procedió a generar un mapa CN GRID, donde se carga el MDE corregido, la información vectorial producto de la unión (mapa cobertura vegetal y suelos) y la Tabla 55 (valores de los grupos hidrológicos), que es lo que se requiere para generar le mapa de Numero de Curva.

Ilustración 68: Reclasificación de la Curva Numero Cuenca Huaura
(TYPsa, 2021)

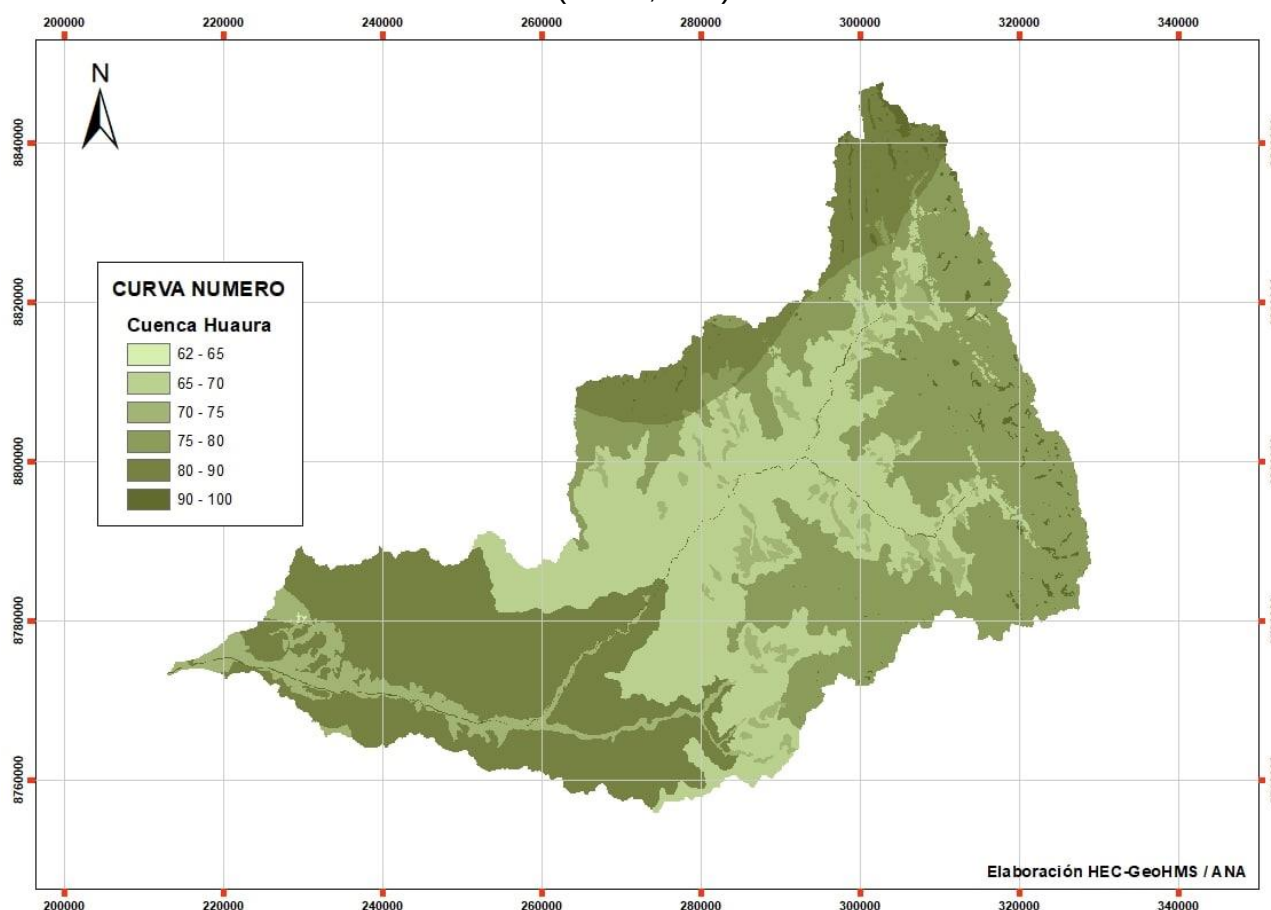


Tabla 56: Curva Número Condición Normal ANA
(TYPsa, 2021)

Subcuenca	Rango CN	Rango Min	Rango Max	Promedio	Área Total	Área (km2)	CN II parcial	CN II subcuenca
S1	81 - 90	81	90	85.5	60.2	59.1	84.0	85.7
	90 - 100	90	100	95.0	60.2	1.1	1.7	
S2	74 - 81	74	81	77.5	38.3	1.7	3.4	85.4
	81 - 90	81	90	85.5	38.3	35.8	79.9	

Subcuenca	Rango CN	Rango Min	Rango Max	Promedio	Área Total	Área (km2)	CN II parcial	CN II subcuenca
	90 - 100	90	100	95.0	38.3	0.8	2.1	
S3	55 - 66	55	66	60.5	99.2	0.6	0.3	84.4
	74 - 81	74	81	77.5	99.2	11.7	9.1	
	81 - 90	81	90	85.5	99.2	87.0	74.9	
S4	55 - 66	55	66	60.5	36.5	1.9	3.1	77.8
	74 - 81	74	81	77.5	36.5	31.4	66.5	
	81 - 90	81	90	85.5	36.5	1.4	3.4	
	90 - 100	90	100	95.0	36.5	1.9	4.8	
S5	55 - 66	55	66	60.5	26.4	1.6	3.7	76.5
	74 - 81	74	81	77.5	26.4	24.8	72.8	
S7	55 - 66	55	66	60.5	42.9	9.6	13.5	75.3
	74 - 81	74	81	77.5	42.9	24.6	44.5	
	81 - 90	81	90	85.5	42.9	8.7	17.3	
S9	55 - 66	55	66	60.5	49.2	15.1	18.6	73.5
	74 - 81	74	81	77.5	49.2	26.7	42.1	
	81 - 90	81	90	85.5	49.2	7.3	12.8	
S11	55 - 66	55	66	60.5	84.4	40.6	29.1	71.3
	74 - 81	74	81	77.5	84.4	22.5	20.7	
	81 - 90	81	90	85.5	84.4	21.3	21.5	
S12	55 - 66	55	66	60.5	78.6	2.7	2.1	76.9
	74 - 81	74	81	77.5	78.6	75.9	74.8	
S13	55 - 66	55	66	60.5	76.9	34.9	27.5	69.8
	74 - 81	74	81	77.5	76.9	42.0	42.3	
S14	55 - 66	55	66	60.5	76.6	10.6	8.4	79.2
	74 - 81	74	81	77.5	76.6	27.4	27.7	
	81 - 90	81	90	85.5	76.6	38.7	43.1	
S15	55 - 66	55	66	60.5	71.5	24.2	20.5	75.4
	74 - 81	74	81	77.5	71.5	15.1	16.4	
	81 - 90	81	90	85.5	71.5	32.2	38.5	
S17	55 - 66	55	66	60.5	87.6	0.0	0.0	77.5
	74 - 81	74	81	77.5	87.6	87.6	77.5	
S18	55 - 66	55	66	60.5	83.4	44.3	32.2	68.5
	74 - 81	74	81	77.5	83.4	39.1	36.3	
S19	74 - 81	74	81	77.5	60.4	60.4	77.5	77.5
S20	55 - 66	55	66	60.5	25.9	13.3	30.9	68.8
	74 - 81	74	81	77.5	25.9	12.7	37.9	
S21	55 - 66	55	66	60.5	50.4	46.9	56.3	61.7
	74 - 81	74	81	77.5	50.4	3.5	5.4	
S22	74 - 81	74	81	77.5	35.0	35.0	77.5	77.5
S23	55 - 66	55	66	60.5	107.6	67.7	38.0	66.8
	74 - 81	74	81	77.5	107.6	39.9	28.8	
S24	55 - 66	55	66	60.5	48.5	22.1	27.6	69.7
	74 - 81	74	81	77.5	48.5	26.3	42.1	
S25	55 - 66	55	66	60.5	51.6	3.6	4.2	76.3
	74 - 81	74	81	77.5	51.6	48.0	72.2	
S26	66 - 74	66	74	70.0	106.0	8.2	5.4	76.9
	74 - 81	74	81	77.5	106.0	97.8	71.5	
S27	74 - 81	74	81	77.5	103.6	103.6	77.5	77.5

Subcuenca	Rango CN	Rango Min	Rango Max	Promedio	Área Total	Área (km2)	CN II parcial	CN II subcuenca
S28	74 - 81	74	81	77.5	44.2	44.2	77.5	77.5
S29	55 - 66	55	66	60.5	48.1	17.7	22.3	71.2
	74 - 81	74	81	77.5	48.1	30.4	49.0	
S30	55 - 66	55	66	60.5	60.0	41.2	41.6	65.8
	74 - 81	74	81	77.5	60.0	18.8	24.3	
S31	55 - 66	55	66	60.5	35.9	19.3	32.5	68.4
	74 - 81	74	81	77.5	35.9	16.6	35.9	
S34	66 - 74	66	74	70.0	48.6	14.4	20.8	75.3
	74 - 81	74	81	77.5	48.6	34.2	54.5	
S36	55 - 66	55	66	60.5	27.8	1.3	2.9	76.7
	74 - 81	74	81	77.5	27.8	26.5	73.8	
S37	66 - 74	66	74	70.0	75.8	9.3	8.6	76.6
	74 - 81	74	81	77.5	75.8	66.5	68.0	
S38	55 - 66	55	66	60.5	26.4	10.0	23.0	71.0
	74 - 81	74	81	77.5	26.4	16.4	48.0	
S39	74 - 81	74	81	77.5	34.1	34.1	77.5	77.5
S40	55 - 66	55	66	60.5	37.1	24.4	39.8	66.3
	74 - 81	74	81	77.5	37.1	12.7	26.5	
S41	55 - 66	55	66	60.5	55.4	3.3	3.6	76.5
	74 - 81	74	81	77.5	55.4	52.1	72.9	
S42	66 - 74	66	74	70.0	26.9	7.6	19.8	75.4
	74 - 81	74	81	77.5	26.9	19.3	55.6	
S43	74 - 81	74	81	77.5	28.6	28.6	77.5	77.5
S45	66 - 74	66	74	70.0	26.1	0.4	1.1	77.4
	74 - 81	74	81	77.5	26.1	25.7	76.3	
S46	55 - 66	55	66	60.5	28.6	0.9	1.8	77.0
	74 - 81	74	81	77.5	28.6	27.7	75.2	
S47	55 - 66	55	66	60.5	55.2	39.7	43.5	65.1
	66 - 74	66	74	70.0	55.2	1.3	1.6	
	74 - 81	74	81	77.5	55.2	14.2	19.9	
S49	55 - 66	55	66	60.5	46.3	4.2	5.4	76.0
	74 - 81	74	81	77.5	46.3	42.2	70.5	
S51	74 - 81	74	81	77.5	44.1	44.1	77.5	77.5
S53	55 - 66	55	66	60.5	17.7	0.7	2.3	76.8
	66 - 74	66	74	70.0	17.7	0.1	0.4	
	74 - 81	74	81	77.5	17.7	16.9	74.2	
S54	55 - 66	55	66	60.5	10.9	8.8	48.8	63.8
	74 - 81	74	81	77.5	10.9	2.1	15.0	
S55	55 - 66	55	66	60.5	16.2	0.7	2.6	84.0
	74 - 81	74	81	77.5	16.2	0.9	4.3	
	81 - 90	81	90	85.5	16.2	14.6	77.1	
S56	66 - 74	66	74	70.0	30.8	0.1	0.2	77.5
	74 - 81	74	81	77.5	30.8	30.7	77.3	
S57	55 - 66	55	66	60.5	31.0	15.4	30.1	69.0
	74 - 81	74	81	77.5	31.0	15.6	39.0	
S58	55 - 66	55	66	60.5	14.0	10.4	44.9	64.9
	74 - 81	74	81	77.5	14.0	3.6	19.9	
S59	55 - 66	55	66	60.5	113.0	96.0	51.4	63.0

Subcuenca	Rango CN	Rango Min	Rango Max	Promedio	Área Total	Área (km2)	CN II parcial	CN II subcuenca
	74 - 81	74	81	77.5	113.0	16.9	11.6	
S60	55 - 66	55	66	60.5	139.2	107.2	46.6	64.4
	74 - 81	74	81	77.5	139.2	32.0	17.8	
S61	55 - 66	55	66	60.5	25.4	0.6	1.5	78.2
	74 - 81	74	81	77.5	25.4	21.4	65.2	
	81 - 90	81	90	85.5	25.4	3.4	11.5	
S62	55 - 66	55	66	60.5	22.4	0.9	2.3	76.8
	74 - 81	74	81	77.5	22.4	21.6	74.5	
S63	55 - 66	55	66	60.5	65.0	17.7	16.4	72.9
	74 - 81	74	81	77.5	65.0	47.4	56.4	
S65	55 - 66	55	66	60.5	4.9	2.8	34.9	67.7
	74 - 81	74	81	77.5	4.9	2.1	32.8	
S66	55 - 66	55	66	60.5	16.9	6.2	22.2	71.3
	74 - 81	74	81	77.5	16.9	10.7	49.1	
S67	55 - 66	55	66	60.5	3.9	3.2	49.2	63.7
	74 - 81	74	81	77.5	3.9	0.7	14.5	
S68	55 - 66	55	66	60.5	27.9	16.4	35.6	67.5
	74 - 81	74	81	77.5	27.9	11.5	31.9	
S69	55 - 66	55	66	60.5	45.9	33.2	43.8	65.2
	74 - 81	74	81	77.5	45.9	12.7	21.4	
S70	55 - 66	55	66	60.5	45.1	18.0	24.1	70.6
	66 - 74	66	74	70.0	45.1	1.0	1.6	
	74 - 81	74	81	77.5	45.1	26.1	44.9	
S71	55 - 66	55	66	60.5	49.4	36.1	44.3	65.1
	74 - 81	74	81	77.5	49.4	13.2	20.8	
S72	55 - 66	55	66	60.5	57.3	40.4	42.7	65.5
	74 - 81	74	81	77.5	57.3	16.9	22.9	
S73	55 - 66	55	66	60.5	12.4	12.4	60.5	60.5
S74	55 - 66	55	66	60.5	28.6	5.6	11.9	74.0
	66 - 74	66	74	70.0	28.6	0.7	1.7	
	74 - 81	74	81	77.5	28.6	22.3	60.5	
S75	55 - 66	55	66	60.5	30.3	29.3	58.6	61.0
	74 - 81	74	81	77.5	30.3	1.0	2.5	
S76	55 - 66	55	66	60.5	71.8	69.9	58.9	60.9
	74 - 81	74	81	77.5	71.8	1.9	2.0	
S77	66 - 74	66	74	70.0	30.8	4.7	10.7	76.4
	74 - 81	74	81	77.5	30.8	26.1	65.7	
S78	55 - 66	55	66	60.5	0.1	0.1	60.5	60.5
S79	66 - 74	66	74	70.0	43.6	3.2	5.2	76.9
	74 - 81	74	81	77.5	43.6	40.4	71.8	
S80	55 - 66	55	66	60.5	1.9	1.9	60.5	60.5
S81	55 - 66	55	66	60.5	15.4	15.4	60.5	60.5
S82	55 - 66	55	66	60.5	64.3	62.9	59.1	60.9
	74 - 81	74	81	77.5	64.3	1.4	1.7	
S83	55 - 66	55	66	60.5	9.3	9.3	60.5	60.5
S84	55 - 66	55	66	60.5	18.8	18.2	58.6	61.0
	74 - 81	74	81	77.5	18.8	0.6	2.5	
S85	55 - 66	55	66	60.5	50.9	32.1	38.1	66.8

Subcuenca	Rango CN	Rango Min	Rango Max	Promedio	Área Total	Área (km2)	CN II parcial	CN II subcuenca
	74 - 81	74	81	77.5	50.9	18.8	28.7	
S86	55 - 66	55	66	60.5	23.6	4.4	11.2	74.4
	74 - 81	74	81	77.5	23.6	19.3	63.2	
S87	55 - 66	55	66	60.5	19.7	7.8	23.9	70.8
	74 - 81	74	81	77.5	19.7	11.9	46.8	
S88	74 - 81	74	81	77.5	5.6	5.6	77.5	77.5
S89	74 - 81	74	81	77.5	25.2	25.2	77.5	77.5
S90	74 - 81	74	81	77.5	17.9	17.9	77.5	77.5
S91	66 - 74	66	74	70.0	11.3	0.2	1.2	77.4
	74 - 81	74	81	77.5	11.3	11.1	76.2	
S92	66 - 74	66	74	70.0	28.9	3.7	9.0	76.5
	74 - 81	74	81	77.5	28.9	25.1	67.5	
S93	66 - 74	66	74	70.0	1.6	0.0	0.1	77.5
	74 - 81	74	81	77.5	1.6	1.6	77.4	
S94	66 - 74	66	74	70.0	46.8	4.6	6.9	76.8
	74 - 81	74	81	77.5	46.8	42.2	69.9	
S95	66 - 74	66	74	70.0	117.0	25.2	15.0	75.9
	74 - 81	74	81	77.5	117.0	91.9	60.8	
S96	66 - 74	66	74	70.0	37.5	7.8	14.6	75.9
	74 - 81	74	81	77.5	37.5	29.7	61.3	
S97	66 - 74	66	74	70.0	30.2	7.9	18.2	75.6
	74 - 81	74	81	77.5	30.2	22.3	57.3	
S98	66 - 74	66	74	70.0	44.8	23.5	36.8	73.6
	74 - 81	74	81	77.5	44.8	21.3	36.8	
S99	66 - 74	66	74	70.0	2.7	1.2	29.7	74.3
	74 - 81	74	81	77.5	2.7	1.6	44.7	
S100	66 - 74	66	74	70.0	11.1	4.5	28.5	74.4
	74 - 81	74	81	77.5	11.1	6.6	45.9	
S101	66 - 74	66	74	70.0	20.0	16.8	58.6	71.8
	74 - 81	74	81	77.5	20.0	1.9	7.2	
	81 - 90	81	90	85.5	20.0	1.4	6.0	
S102	55 - 66	55	66	60.5	63.6	18.8	17.9	72.5
	74 - 81	74	81	77.5	63.6	44.8	54.6	
S6	55 - 66	55	66	60.5	78.8	0.9	0.7	77.3
	74 - 81	74	81	77.5	78.8	77.8	76.5	
	90 - 100	90	100	95.0	78.8	0.1	0.2	
S33	55 - 66	55	66	60.5	75.6	36.4	29.1	69.3
	74 - 81	74	81	77.5	75.6	39.2	40.2	
S10	55 - 66	55	66	60.5	194.3	76.0	23.7	74.1
	74 - 81	74	81	77.5	194.3	38.2	15.2	
	81 - 90	81	90	85.5	194.3	80.1	35.2	
S8	55 - 66	55	66	60.5	52.4	28.4	32.7	68.3
	74 - 81	74	81	77.5	52.4	24.0	35.6	
S16	55 - 66	55	66	60.5	60.9	55.3	54.9	62.1
	74 - 81	74	81	77.5	60.9	5.6	7.2	

Tabla 57: Comparación y Selección de CN Inicial de Calibración
(TYPSPA, 2021)

COMPARACIÓN DE CURVA NUMERO Y SELECCIÓN DE CN INICIAL DE CALIBRACIÓN								
Subcuenca	CN II con Shape ANA	CN de referencia Manual ANA/Cobertura GlobeLand30/ Grupos Hidrológicos SoilGrids			CN con HEC-GeoHMS y Manual ANA			CN Seco p/calibración
		CN I	CN II	CN III	CN I	CN II	CN III	
S41	76.5	55.4	74.7	87.2	61.1	78.9	89.6	55.4
S36	76.7	55.4	74.7	87.2	60.5	78.5	89.3	55.4
S102	72.5	54.6	74.1	86.8	56.4	75.5	87.6	54.6
S60	64.4	52.5	72.5	85.8	49.9	70.3	84.5	52.5
S58	64.9	54.7	74.2	86.9	57.7	76.5	88.2	54.7
S47	65.1	56.1	75.3	87.5	57.7	76.5	88.2	56.1
S70	70.6	54.9	74.3	87.0	54.6	74.1	86.8	54.9
S49	76.0	60.1	78.2	89.2	63.1	80.3	90.3	60.1
S74	74.0	60.5	78.5	89.3	58.9	77.4	88.7	60.5
S77	76.4	62.1	79.6	90.0	62.8	80.1	90.2	62.1
S46	77.0	58.4	77.0	88.5	59.9	78.0	89.1	58.4
S8	68.3	52.1	72.1	85.6	53.6	73.3	86.3	52.1
S16	62.1	50.5	70.8	84.8	48.4	69.1	83.7	50.5
S79	76.9	64.0	80.9	90.7	62.7	80.0	90.2	64.0
S1	85.7	60.4	78.4	89.3	76.2	88.4	94.6	60.4
S2	85.4	58.7	77.2	88.6	73.3	86.8	93.8	58.7
S4	77.8	56.7	75.7	87.7	62.0	79.5	89.9	56.7
S55	84.0	53.1	72.9	86.1	68.3	83.7	92.2	53.1
S3	84.4	54.5	74.0	86.8	70.4	85.0	92.9	54.5
S61	78.2	53.9	73.5	86.5	59.0	77.4	88.7	53.9
S5	76.5	55.0	74.4	87.0	60.0	78.2	89.2	55.0
S65	67.7	55.0	74.4	87.0	47.6	68.4	83.3	55.0
S12	76.9	55.8	75.0	87.4	61.4	79.1	89.7	55.8
S6	77.3	58.3	76.9	88.5	61.1	78.9	89.6	58.3
S57	69.0	54.8	74.3	86.9	54.8	74.3	86.9	54.8
S66	71.3	55.8	75.0	87.4	52.8	72.7	86.0	55.8
S7	75.3	53.2	73.0	86.2	57.3	76.2	88.0	53.2
S68	67.5	54.5	74.0	86.8	52.9	72.8	86.0	54.5
S71	65.1	54.1	73.7	86.6	52.7	72.6	85.9	54.1
S9	73.5	54.9	74.3	87.0	56.9	75.9	87.9	54.9
S13	69.8	54.4	73.9	86.7	56.2	75.3	87.5	54.4

COMPARACIÓN DE CURVA NUMERO Y SELECCIÓN DE CN INICIAL DE CALIBRACIÓN

Subcuenca	CN II con Shape ANA	CN de referencia Manual ANA/Cobertura GlobeLand30/ Grupos Hidrológicos SoilGrids			CN con HEC-GeoHMS y Manual ANA			CN Seco p/calibración
		CN I	CN II	CN III	CN I	CN II	CN III	
S75	61.0	53.4	73.2	86.3	47.9	68.7	83.4	53.4
S11	71.3	54.6	74.1	86.8	55.4	74.7	87.2	54.6
S78	60.5	58.7	77.2	88.6	71.7	85.8	93.3	58.7
S80	60.5	53.2	73.0	86.2	47.4	68.2	83.1	53.2
S28	77.5	53.9	73.6	86.5	63.1	80.2	90.3	53.9
S22	77.5	57.1	76.0	87.9	62.9	80.2	90.3	57.1
S19	77.5	55.8	75.0	87.4	61.8	79.4	89.9	55.8
S51	77.5	53.8	73.5	86.4	59.3	77.7	88.9	53.8
S17	77.5	55.0	74.4	87.0	61.9	79.5	89.9	55.0
S62	76.8	54.7	74.2	86.9	59.8	78.0	89.1	54.7
S63	72.9	53.9	73.6	86.5	56.1	75.2	87.5	53.9
S25	76.3	54.6	74.1	86.8	60.8	78.7	89.4	54.6
S29	71.2	54.6	74.1	86.8	58.6	77.1	88.6	54.6
S54	63.8	51.8	71.9	85.5	49.1	69.7	84.1	51.8
S67	63.7	52.6	72.6	85.9	47.0	67.9	83.0	52.6
S24	69.7	55.3	74.6	87.1	56.0	75.2	87.4	55.3
S69	65.2	54.6	74.1	86.8	53.5	73.2	86.3	54.6
S72	65.5	53.8	73.5	86.4	50.3	70.7	84.7	53.8
S20	68.8	55.1	74.5	87.0	52.7	72.6	85.9	55.1
S18	68.5	55.4	74.7	87.2	55.1	74.5	87.0	55.4
S73	60.5	52.3	72.3	85.7	46.1	67.1	82.4	52.3
S76	60.9	54.4	73.9	86.7	48.6	69.3	83.8	54.4
S81	60.5	52.0	72.1	85.6	45.8	66.8	82.2	52.0
S82	60.9	53.4	73.2	86.3	46.2	67.1	82.4	53.4
S10	74.1	54.2	73.8	86.6	58.1	76.8	88.4	54.2
S23	66.8	53.5	73.3	86.3	51.8	71.9	85.5	53.5
S83	60.5	55.0	74.4	87.0	46.1	67.1	82.4	55.0
S21	61.7	51.7	71.8	85.4	46.2	67.2	82.5	51.7
S84	61.0	53.9	73.5	86.5	45.5	66.5	82.0	53.9
S30	65.8	51.8	71.9	85.5	47.9	68.6	83.4	51.8
S85	66.8	54.8	74.3	86.9	45.4	66.4	82.0	54.8
S14	79.2	54.4	73.9	86.7	63.5	80.6	90.5	54.4
S15	75.4	53.4	73.2	86.3	60.4	78.4	89.3	53.4

COMPARACIÓN DE CURVA NUMERO Y SELECCIÓN DE CN INICIAL DE CALIBRACIÓN

Subcuenca	CN II con Shape ANA	CN de referencia Manual ANA/Cobertura GlobeLand30/ Grupos Hidrológicos SoilGrids			CN con HEC-GeoHMS y Manual ANA			CN Seco p/calibración
		CN I	CN II	CN III	CN I	CN II	CN III	
S59	63.0	53.3	73.1	86.2	46.8	67.7	82.8	53.3
S86	74.4	59.5	77.7	88.9	49.3	69.9	84.2	59.5
S40	66.3	51.3	71.5	85.2	47.1	67.9	83.0	51.3
S87	70.8	52.6	72.6	85.9	50.0	70.4	84.5	52.6
S38	71.0	52.5	72.5	85.8	47.6	68.4	83.3	52.5
S88	77.5	63.9	80.8	90.7	62.7	80.0	90.2	63.9
S89	77.5	59.3	77.6	88.9	61.4	79.1	89.7	59.3
S31	68.4	55.6	74.9	87.3	51.4	71.5	85.3	55.6
S90	77.5	63.4	80.5	90.5	63.4	80.5	90.5	63.4
S33	69.3	56.0	75.2	87.5	52.3	72.3	85.7	56.0
S53	76.8	59.5	77.8	89.0	63.1	80.3	90.3	59.5
S91	77.4	62.5	79.9	90.1	62.8	80.1	90.2	62.5
S92	76.5	63.0	80.2	90.3	62.5	79.8	90.1	63.0
S93	77.5	60.8	78.7	89.5	57.7	76.4	88.2	60.8
S94	76.8	64.1	81.0	90.7	62.6	80.0	90.2	64.1
S43	77.5	62.9	80.1	90.3	64.1	80.9	90.7	62.9
S27	77.5	59.5	77.7	88.9	57.5	76.3	88.1	59.5
S39	77.5	60.9	78.7	89.5	61.8	79.4	89.9	60.9
S56	77.5	66.4	82.5	91.5	64.0	80.9	90.7	66.4
S95	75.9	63.5	80.5	90.5	61.1	78.9	89.6	63.5
S96	75.9	64.5	81.3	90.9	61.9	79.4	89.9	64.5
S45	77.4	69.4	84.3	92.5	64.1	81.0	90.7	69.4
S97	75.6	67.2	83.0	91.8	61.5	79.2	89.7	67.2
S42	75.4	62.9	80.1	90.3	59.7	77.9	89.0	62.9
S37	76.6	62.8	80.1	90.2	60.9	78.8	89.5	62.8
S98	73.6	60.9	78.8	89.5	57.6	76.4	88.1	60.9
S26	76.9	63.4	80.5	90.5	61.9	79.5	89.9	63.4
S99	74.3	61.6	79.3	89.8	60.4	78.4	89.3	61.6
S34	75.3	65.3	81.8	91.2	60.1	78.2	89.2	65.3
S100	74.4	62.4	79.8	90.1	59.9	78.1	89.1	62.4
S101	71.8	56.8	75.8	87.8	54.7	74.2	86.9	56.8

Los datos de elevación (modelo digital de elevación) fueron obtenidos del satélite ALOS PALSAR que también sirvió para la delimitación de la cuenca, el mapa temático de cobertura vegetal fue obtenido del geo servidor del Ministerio de Ambiente (MINAM) y el mapa temático de suelo. En la siguiente tabla se presenta el resumen del número de curva promedios para cada subcuenca.

Una vez calibrada, se decidió escoger una condición antecedente mayor a la inicial que se empleó para calibración en el considerando de que en los FEN no se presentan lluvias continuas (como podría ser la de una zona tropical) en toda la cuenca, además se evaluó las condiciones antecedentes a la presentación del evento pico del FEN 2017 y se encontró que se encuentran entre condición AMC I y AMC II.

**Tabla 58: Parámetros de pérdidas en las subcuencas del río Huaura
(TYPESA, 2021)**

Nº	Subcuencas	CN Modelo
1	S41	77.5
2	S36	76.3
3	S102	77.7
4	S60	78.8
5	S58	77.7
6	S47	79.5
7	S70	79.9
8	S49	78.0
9	S74	74.1
10	S77	77.7
11	S46	74.5
12	S8	73.8
13	S16	75.5
14	S79	77.7
15	S1	81.9
16	S2	75.5
17	S4	77.6
18	S55	83.1
19	S3	81.3
20	S61	76.7
21	S5	84.1
22	S65	73.3
23	S12	81.6
24	S6	73.6
25	S57	77.1
26	S66	84.7
27	S7	78.3

N°	Subcuencas	CN Modelo
28	S68	71.5
29	S71	74.3
30	S9	81.4
31	S13	84.4
32	S75	76.7
33	S11	75.3
34	S78	79.9
35	S80	79.0
36	S28	76.0
37	S22	85.1
38	S19	74.6
39	S51	76.5
40	S17	77.0
41	S62	83.1
42	S63	79.5
43	S25	83.6
44	S29	71.1
45	S54	76.0
46	S67	82.5
47	S24	76.7
48	S69	71.4
49	S72	84.7
50	S20	81.7
51	S18	78.6
52	S73	83.3
53	S76	83.1
54	S81	75.2
55	S82	74.4
56	S10	79.5
57	S23	76.1
58	S83	73.7
59	S21	78.4
60	S84	81.0
61	S30	74.9
62	S85	77.8
63	S14	81.5
64	S15	75.8
65	S59	78.3
66	S86	79.0

N°	Subcuencas	CN Modelo
67	S40	80.3
68	S87	77.8
69	S38	77.3
70	S88	77.6
71	S89	76.6
72	S31	78.1
73	S90	77.4
74	S33	75.0
75	S53	77.2
76	S91	73.0
77	S92	75.0
78	S93	75.0
79	S94	74.3
80	S43	77.9
81	S27	83.4
82	S39	87.4
83	S56	85.2
84	S95	77.8
85	S96	78.4
86	S45	74.7
87	S97	78.1
88	S42	71.2
89	S37	76.0
90	S98	80.5
91	S26	71.7
92	S99	84.4
93	S34	82.3
94	S100	74.8
95	S101	77.6

En la cuenca del río Huaura no existen grandes planes de desarrollo urbano ni industrial por lo tanto la variación de cobertura será mínima. El valle del río Huaura tendría el potencial para una variación de la cobertura del suelo. Sin embargo, en esta zona la precipitación es mínima.

5.2.2.1.4 Modelo de tránsito

Las técnicas de tránsito se ocupan del movimiento del flujo de escurrimiento desde las salidas de la subcuenca hasta la salida de la cuenca. Las opciones de HEC-HMS para el tránsito son: Muskingum, la Onda Cinemática y los métodos de Muskingum-Cunge. El tránsito del flujo en cauces es un proceso de

cálculo del hidrograma de salida hacia el final aguas abajo del cauce, dado el hidrograma de ingreso al inicio del tramo aguas arriba.

El método de cálculo elegido para los tránsitos en el cauce y para los Reachs se utilizó el Método de Muskingum.

El método Muskingum está basado en la ecuación de continuidad y la relación de almacenamientos, caudales de ingreso y de salida. El método asume estos volúmenes de almacenamiento en el canal en un instante de tiempo como una función lineal ponderado al caudal de ingreso y de salida, el cual esta expresado en la siguiente ecuación:

$$S = K[xI + (1 - x)O]$$

Donde, S es el almacenamiento, I y O son los caudales de ingreso y salida al inicio y final del intervalo de tiempo, x y K son parámetros de Muskingum. x es un factor de ponderación que varía entre 0.0 a 1.0 representando la relativa importancia del caudal de ingreso sobre el de la salida y K representa el tiempo de viaje en el cauce. K es nada más que el tiempo promedio de flujo en el cauce que es la proporción de longitud del cauce y la velocidad media en el cauce. La salida (O2) al final de un intervalo de tiempo se relaciona con el ingreso (I2) del final del Δt , el ingreso del inicio del ingreso del siguiente Δt (I1) y la salida al inicio del Δt (O1) por la siguiente ecuación:

$$O_2 = C_1 I_2 + C_2 I_1 + C_3 O_1$$

Donde, si, Δt es el intervalo de tiempo de análisis, entonces,

$$C_1 = \frac{0.5\Delta t - Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{0.5\Delta t + Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_3 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1$$

Cuando uno de los canales es determinado largo, este se divide en sub-cauces. Esta subdivisión de cauces es recomendable para los cauces largos donde se quiere evitar la inestabilidad numérica. Aquí los cauces largos se refieren a esos donde falla la condición: $K/3 < \Delta t < K$. Una vez que el cauce es determinado largo, es dividido en sub-cauces.

$$n = \text{int} \left[\frac{L}{3\Delta t V} \right] + 1$$

Donde n es el número de sub-canales, L es la longitud del cauce, Δt es el intervalo de tiempo de análisis, V es la velocidad promedio del flujo en el cauce.

**Tabla 59: Parámetros de tránsito de ríos de la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)**

N°	Reach	K	X	n	Tlag (minutos)
1	R1	0.37	0.50	2	13
2	R2	0.45	0.50	3	16
3	R3	0.63	0.50	4	22
4	R4	0.46	0.50	3	16
5	R5	0.71	0.50	4	25
6	R6	0.57	0.50	3	20
7	R7	0.05	0.47	1	2
8	R8	0.63	0.50	4	22
9	R9	0.36	0.50	2	13
10	R20	0.28	0.49	2	10
11	R21	0.64	0.50	4	22
12	R22	0.90	0.50	5	31
13	R23	1.18	0.50	7	41
14	R24	0.78	0.49	5	27
15	R25	0.41	0.46	2	14
16	R26	2.15	0.50	13	75
17	R27	1.92	0.50	12	67
18	R28	0.58	0.49	3	20
19	R29	0.29	0.50	2	10
20	R30	0.99	0.50	6	35
21	R32	0.41	0.50	2	14
22	R33	0.71	0.50	4	25
23	R34	0.96	0.50	6	34
24	R35	0.37	0.50	2	13
25	R36	0.71	0.49	4	25
26	R37	0.51	0.50	3	18
27	R38	0.59	0.50	4	21
28	R50	0.25	0.40	1	9
29	R39	0.76	0.50	5	26
30	R52	0.14	0.49	1	5
31	R40	0.14	0.49	1	5
32	R51	0.59	0.50	4	21
33	R41	0.25	0.44	1	9
34	R10	1.01	0.50	6	35
35	R12	0.77	0.50	5	27
36	R43	0.90	0.49	5	32
37	R11	0.81	0.50	5	28
38	R44	0.38	0.50	2	13
39	R14	0.14	0.50	1	5
40	R45	0.51	0.49	3	18

N°	Reach	K	X	n	Tlag (minutos)
41	R13	0.20	0.50	1	7
42	R46	0.23	0.48	1	8
43	R16	0.86	0.49	5	30
44	R47	0.57	0.49	3	20
45	R15	0.65	0.50	4	23
46	R48	0.71	0.48	4	25
47	R18	0.46	0.50	3	16
48	R49	0.90	0.50	5	32
49	R17	0.57	0.50	3	20
50	R19	0.29	0.50	2	10

5.2.2.2 Modelo Meteorológico

El análisis de los datos meteorológicos es realizado a través del modelo meteorológico, que puede incluir los datos de precipitación, evapotranspiración y derretimiento de nieve. Con el modelo meteorológico lo que se hace es asignar el valor de precipitación que le corresponde a cada subcuenca y como se distribuye en el tiempo. Para el Modelo Meteorológico se utilizó el Método Specified Hyetograf para la precipitación. En el modelo meteorológico se ingresaron los perfiles de lluvia obtenidos en el numeral 5.1.4.

5.2.2.3 Modelo de Control

Se estableció como intervalo de simulación cada cinco (10) minutos y la duración total de computación del modelo fue de seis (06) días, tiempo suficiente para que el evento máximo descargue hasta el punto de salida.

5.2.3 Calibración del modelo Precipitación - Escorrentía

5.2.3.1 Esquema de Modelo Hidrológico

Para definir el modelo de cuenca se tomaron los siguientes parámetros, calculados siguiendo las fórmulas correspondientes, estos parámetros sirvieron de input inicial para correr el modelo a nivel diario. Se establecieron los siguientes:

- Transformación precipitación – escorrentía: se empleó el modelo del hidrograma unitario de Snyder, y los parámetros utilizados fueron el tiempo al pico (T_p) en horas y el coeficiente al pico (C_t) que se presentan en la tabla previa.
- Perdidas: se empleó el método del Curva Número, cuyos valores iniciales fueron obtenidos de acuerdo con la metodología establecida por la Autoridad Nacional del Agua (2017). A partir del raster de textura y taxonomía del suelo obtenido con información del servidor SoilGrid se establecieron los grupos hidrológicos, para la cobertura del suelo se basó en la información generada por el proyecto GlobeLand30 del gobierno chino que brinda un raster con 10 tipos de cobertura, los cuales fueron

asociados a los valores de CN II de acuerdo con la metodología de la ANA. Posteriormente se transformaron a condiciones secas para ser ingresados al modelo.

- Para el modelo del flujo base y modelo de tránsito se emplearon los mismos valores obtenidos y presentados en el ítem 5.2.2.

5.2.3.2 Modelo Meteorológico

En base a los registros diarios disponibles las estaciones en el periodo de marzo de 2017 ubicadas en el área de influencia de la cuenca del río Huaura, se decidieron escoger 9 estaciones pluviométricas para el modelo meteorológico, mismas que representen mejor espacialmente la distribución de la tormenta, en la siguiente tabla se presentan los valores diarios de registro de precipitación, es de mencionar que estos datos fueron obtenidos de los registros de precipitación diaria del SENAMHI que se muestran en los anexos.

**Tabla 60: Precipitación total diaria para diferentes estaciones
(Perfil 2019 y TYPESA 2021)**

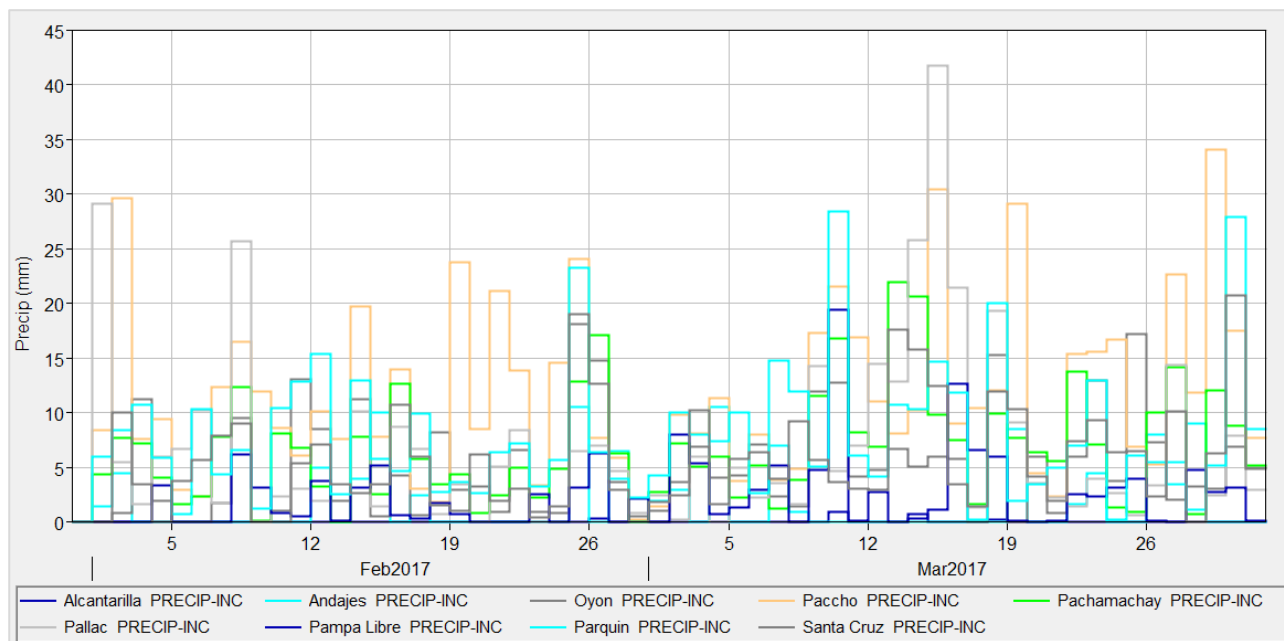
FECHA	ALCAN-TARILLA	ANDAJES	OYON	PACCHO	PACHA-MACHAY	PALLAC	PAMPA-LIBRE	PARQUIN	SANTA CRUZ
31/01/2017	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1/02/2017	0.0	1.5	0.0	8.4	4.4	29.1	0.0	6.0	0.0
2/02/2017	0.0	4.5	0.9	29.6	7.7	5.5	0.0	8.4	10.0
3/02/2017	0.0	0.0	11.3	7.6	7.2	1.7	0.0	10.7	3.5
4/02/2017	0.0	0.0	2.0	9.4	4.1	6.0	3.4	5.9	0.0
5/02/2017	0.0	0.0	0.0	3.0	1.7	6.7	0.0	0.8	3.8
6/02/2017	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	10.2	0.0	10.3	5.7
7/02/2017	0.0	0.0	1.8	12.4	7.8	1.8	0.0	4.4	7.9
8/02/2017	0.0	0.0	9.5	16.5	12.4	25.7	6.2	6.6	9.0
9/02/2017	0.0	0.0	0.0	12.0	0.2	0.0	3.2	1.3	0.0
10/02/2017	0.0	0.0	1.1	8.6	8.1	2.4	0.9	10.4	0.0
11/02/2017	0.0	0.0	13.1	6.1	6.8	3.1	0.6	12.9	5.4
12/02/2017	0.0	5.0	8.5	10.1	3.3	2.0	3.8	15.4	7.1
13/02/2017	0.0	0.0	2.0	7.6	0.0	0.2	0.2	2.6	3.5
14/02/2017	0.0	4.0	11.3	19.7	7.8	10.1	3.2	13.0	2.7
15/02/2017	0.0	10.0	0.6	7.8	2.6	1.5	5.2	5.8	3.5
16/02/2017	0.0	0.0	4.3	14.0	12.7	8.7	0.7	4.7	10.7
17/02/2017	0.0	2.5	0.7	3.1	5.8	6.7	0.4	9.9	6.0
18/02/2017	0.0	0.0	8.2	1.9	3.5	0.8	1.8	2.8	1.6
19/02/2017	0.0	0.0	3.0	23.8	4.4	3.5	0.8	3.7	1.1
20/02/2017	0.0	0.0	3.3	8.5	0.9	0.0	0.0	2.7	6.2
21/02/2017	0.0	0.0	1.0	21.1	2.5	5.1	0.0	6.4	2.0
22/02/2017	0.1	0.0	6.6	13.9	5.0	8.4	0.0	7.2	3.1
23/02/2017	0.0	0.0	1.0	3.4	2.3	0.0	2.6	3.3	0.5
24/02/2017	0.0	0.0	0.9	14.6	4.9	0.0	0.0	5.7	1.5

FECHA	ALCAN-TARILLA	ANDAJES	OYON	PACCHO	PACHA-MACHAY	PALLAC	PAMPA-LIBRE	PARQUIN	SANTA CRUZ
25/02/2017	0.0	10.5	18.1	24.1	12.9	6.5	3.2	23.3	19.0
26/02/2017	0.4	0.0	14.8	7.7	17.1	7.0	6.3	6.4	12.7
27/02/2017	0.0	6.5	3.7	5.9	6.3	4.7	0.0	4.0	3.0
28/02/2017	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	0.9	2.2	2.3	0.0
1/03/2017	0.0	2.0	1.1	1.5	2.8	2.5	0.0	4.3	1.9
2/03/2017	0.0	3.0	3.7	9.8	7.2	0.3	8.0	10.0	2.5
3/03/2017	0.0	0.0	6.9	8.1	5.1	6.0	5.4	8.0	10.2
4/03/2017	0.0	10.5	4.1	11.4	6.0	0.0	0.8	7.4	1.7
5/03/2017	0.0	0.0	4.3	3.8	2.3	5.0	1.4	10.0	5.8
6/03/2017	0.0	0.0	7.1	8.0	5.2	2.3	3.0	2.7	6.4
7/03/2017	0.0	7.0	2.4	3.9	1.3	3.6	5.2	14.8	4.0
8/03/2017	0.0	1.0	1.5	4.9	3.9	1.7	0.0	12.0	9.2
9/03/2017	0.0	0.0	12.0	17.3	11.6	14.3	4.8	5.1	5.7
10/03/2017	1.0	0.0	12.8	21.5	16.8	4.7	19.4	28.4	3.7
11/03/2017	0.0	0.0	4.2	16.9	8.2	7.0	0.2	6.1	3.1
12/03/2017	0.0	0.0	4.8	11.0	6.9	14.5	2.8	4.2	3.0
13/03/2017	0.0	0.0	6.7	8.1	21.9	12.9	0.0	10.7	17.6
14/03/2017	0.8	0.0	5.1	10.2	20.6	25.8	0.4	10.3	15.8
15/03/2017	0.0	0.0	6.0	30.4	9.8	41.7	1.2	14.7	12.5
16/03/2017	0.0	0.0	5.8	9.0	7.5	21.4	12.7	11.9	3.5
17/03/2017	0.0	0.0	0.0	10.4	1.7	1.4	6.6	0.3	1.5
18/03/2017	0.3	0.0	15.3	12.1	9.9	19.3	6.0	20.0	12.0
19/03/2017	0.0	8.5	0.0	29.1	7.7	9.1	0.2	2.0	10.3
20/03/2017	0.0	0.0	6.0	4.5	6.4	3.6	0.0	3.5	4.2
21/03/2017	0.0	0.0	0.9	2.4	5.6	2.3	0.2	5.0	2.0
22/03/2017	0.0	1.7	6.0	15.4	13.8	1.5	2.6	7.0	7.4
23/03/2017	0.0	4.5	13.0	15.6	7.1	4.0	2.4	13.0	9.3
24/03/2017	0.0	0.0	3.8	16.7	1.4	2.7	3.2	0.3	6.4
25/03/2017	0.0	0.0	17.2	6.9	1.0	0.7	4.0	6.1	6.5
26/03/2017	0.0	8.0	7.3	5.3	10.0	3.4	0.2	5.5	2.4
27/03/2017	0.0	5.5	2.1	22.7	14.2	14.4	0.0	3.5	10.1
28/03/2017	0.0	9.0	3.3	11.9	0.8	0.0	4.8	1.2	0.0
29/03/2017	0.0	0.0	3.1	34.1	12.1	2.5	2.8	5.2	6.3
30/03/2017	0.0	0.0	6.9	17.5	8.8	7.9	3.2	27.9	20.7
31/03/2017	0.0	0.0	5.0	7.7	5.2	3.0	0.2	8.5	4.9

Con estos valores de precipitación total diaria fueron contruidos los hietogramas para la calibración del modelo hidrológico, en la siguiente ilustración se puede apreciar los mencionado. Para la calibración se

emplearon las estaciones que contaban con registro de datos de precipitación total de marzo de 2017, es de precisar que no son las mismas que las empleadas para simular los eventos de diseño.

Ilustración 69: Hietograma de precipitación total diaria de las estaciones empleadas para la modelación hidrológica durante el FEN 2017 (TYPSA, 2021)



En el software HEC-HMS se estableció emplear el método de la inversa distancia, que realiza la interpolación espacial de cada valor (pulso de lluvia) conforme al hidrograma mostrado en la ilustración anterior por cada estación ubicada en el área de interés, mismas que se muestra en la tabla anterior.

5.2.3.3 Modelo de Control

Se estableció un paso de tiempo de un (01) día dado que el valor de precipitación es a nivel diario, el periodo de cómputo corresponde desde el 01 de marzo del 2017 hasta el 19 de marzo de 2017.

5.2.3.4 Caudales Observados

Se debe tener en consideración que la data observada en la estación Sayán es tomada 4 veces al día y registrado por una estación automática, por consiguiente, estos caudales fueron convertidos a caudales instantáneos. Se tomaron en cuenta los valores medios diarios debido al tiempo de paso de cálculo.

Tabla 61: Registro de caudales diarios (SENAMHI)

Fecha	Qobs (m3/s)
1/03/2017	73.48
2/03/2017	61.65
3/03/2017	62.27
4/03/2017	57.91

Fecha	Qobs (m3/s)
5/03/2017	56.04
6/03/2017	58.54
7/03/2017	56.67
8/03/2017	62.89
9/03/2017	66.63
10/03/2017	72.86
11/03/2017	110.23
12/03/2017	126.42
13/03/2017	110.23
14/03/2017	103.38
15/03/2017	113.34
16/03/2017	145.73

De acuerdo con el boletín informativo de AGRORURAL de marzo del 2017 informo que el caudal en la estación hidrométrica Sayán se han incrementado significativamente a 139.72 m3/s y 2.90 m, con un comportamiento ascendente en alerta de desbordamiento como se observa en la siguiente ilustración. Es de precisar, que este dato es un dato de caudal máximo, sin embargo, no es el instantáneo.

**Ilustración 70: Registro histórico de estación Sayán, marzo 2017
(AGRORURAL, 2017)**



5.2.3.5 Periodo de calibración

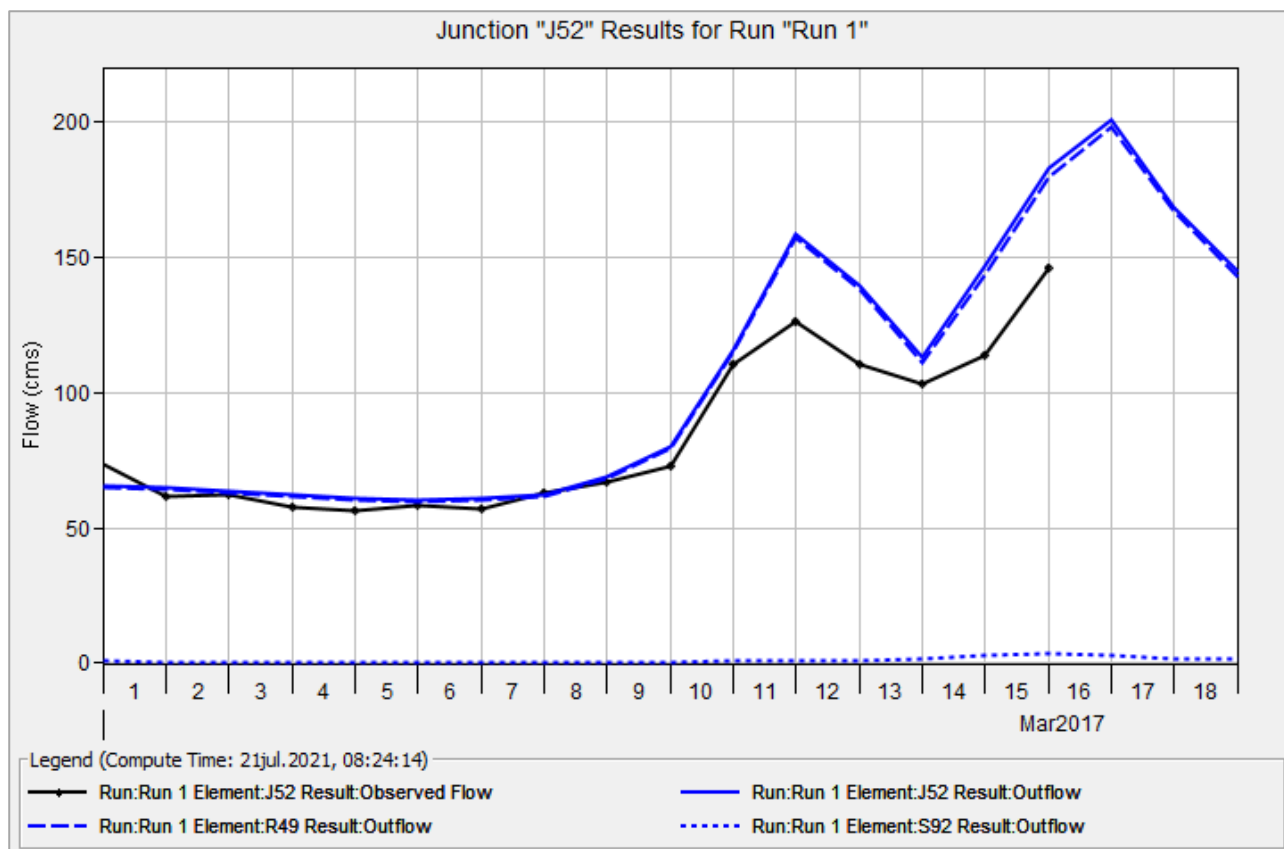
Para establecer el periodo de calibración se tomó en cuenta el mes de marzo, las fechas para la calibración están establecidas de acuerdo con el modelo de control indicado en el numeral 5.2.3.3.

5.2.3.6 Resultados

La calibración del modelo hidrológico fue realizada manualmente, en el Anexo 4 se presenta el archivo de modelamiento hidrológico con dos cuencas la primera con los parámetros iniciales y la segunda con los parámetros calibrados.

Después de realizar el modelamiento y ajustar los parámetros iniciales, se obtuvo el hidrograma mostrado en Ilustración 71, además se indica la función objetivo en base al estadístico de Peak-Weigthed RMSE, que es uno de los considerandos del modelo de optimización en el software HEC-HMS para obtener un objetivo de mínima variación. Como se ha mencionado, la estación hidrométrica dejo de tomar lectura de datos a partir de las 14:00 horas del 16/03/2017, se desconoce las razones, pero como se puede observar en la Ilustración 71 el modelo indica que los caudales aumentaron llegando hasta un pico de 200.65 m³/s. De acuerdo con el modelamiento hidráulico este valor de caudal concuerda con la marca de agua registrada.

Ilustración 71: Hidrograma resultante del modelo de la cuenca del río Huaura para el periodo de marzo 2017 a paso diario (TYPSA, 2021)



Una vez obtenido el hidrograma con los caudales simulado, se procedió a realizar el cálculo del criterio de Nash-Sutcliffe para poder determinar el grado de ajuste de los caudales simulados a los caudales observados.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim.i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{prom})^2}$$

Donde:

Q_{sim} : Caudal simulado

Q_i : Caudal observado

Q_{prom} : Caudal promedio de los caudales observados

**Tabla 62: Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe
(Molnar, 2011)**

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2-0.4	Satisfactorio
0.4-0.6	Bueno
0.6-0.8	Muy bueno
>0.8	Excelente

**Tabla 63: Caudales observados y simulados para obtención del criterio de Nash- Sutcliffe
(TYP SA, 2021)**

Fecha	Q_{sim}	Q_{obs}	$(Q_{sim}-Q_{obs})^2$	$(Q_{obs}-Q_{obs.prom})^2$
1/03/2017	65.58	73.48	62.41	103.26
2/03/2017	64.87	61.65	10.37	483.64
3/03/2017	63.36	62.27	1.19	456.76
4/03/2017	62.11	57.91	17.64	662.13
5/03/2017	61.01	56.04	24.70	761.86
6/03/2017	60.38	58.54	3.39	630.10
7/03/2017	60.65	56.67	15.84	727.48
8/03/2017	62.48	62.89	0.17	430.64
9/03/2017	68.63	66.63	4.00	289.40
10/03/2017	80.19	72.86	53.73	116.25
11/03/2017	115.37	110.23	26.42	706.93
12/03/2017	158.32	126.42	1,017.61	1,829.97
13/03/2017	139.41	110.23	851.47	706.93
14/03/2017	112.99	103.38	92.35	389.59
15/03/2017	146.61	113.34	1,106.89	881.98
16/03/2017	182.87	145.73	1,379.38	3,854.94

Fecha	Qsim	Qobs	(Qsim-Qobs)^2	(Qobs-Qobs.prom)^2
		83.64 (Promedio)	4,667.56 (Sumatoria)	13,031.87 (Sumatoria)

El criterio de Nash-Sutcliffe obtenido para el periodo de validación fue de 0.6418 lo que nos indica que existe un excelente grado de aproximación de los caudales simulados a los caudales observados en Sayán.

Ilustración 72: Tabla resumen del modelo FEN 2017 para el elemento J52 (HLG Sayán)
(TYPESA, 2021)

Project: FEN 2017 Simulation Run: Run 1
Junction: J52

Start of Run: 01mar.2017, 00:00 Basin Model: Huaura

End of Run: 19mar.2017, 00:00 Meteorologic Model: Marzo 2017

Compute Time:21jul.2021, 08:24:14 Control Specifications:Control 1

Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3

Computed Results

Peak Discharge:200.65 (M3/S) Date/Time of Peak Discharge:17mar.2017, 00:00

Volume: 57.98 (MM)

Observed Flow Gage Qobs Sayan

Peak Discharge:145.73 (M3/S) Date/Time of Peak Discharge:16mar.2017, 00:00

Volume: 37.23 (MM)

RMSE Std Dev: 0.60 Nash-Sutcliffe: 0.642

Percent Bias: 12.45 %

Ilustración 73: Hidrograma resultante en la cuenca del río Chico
(TYPESA, 2021)

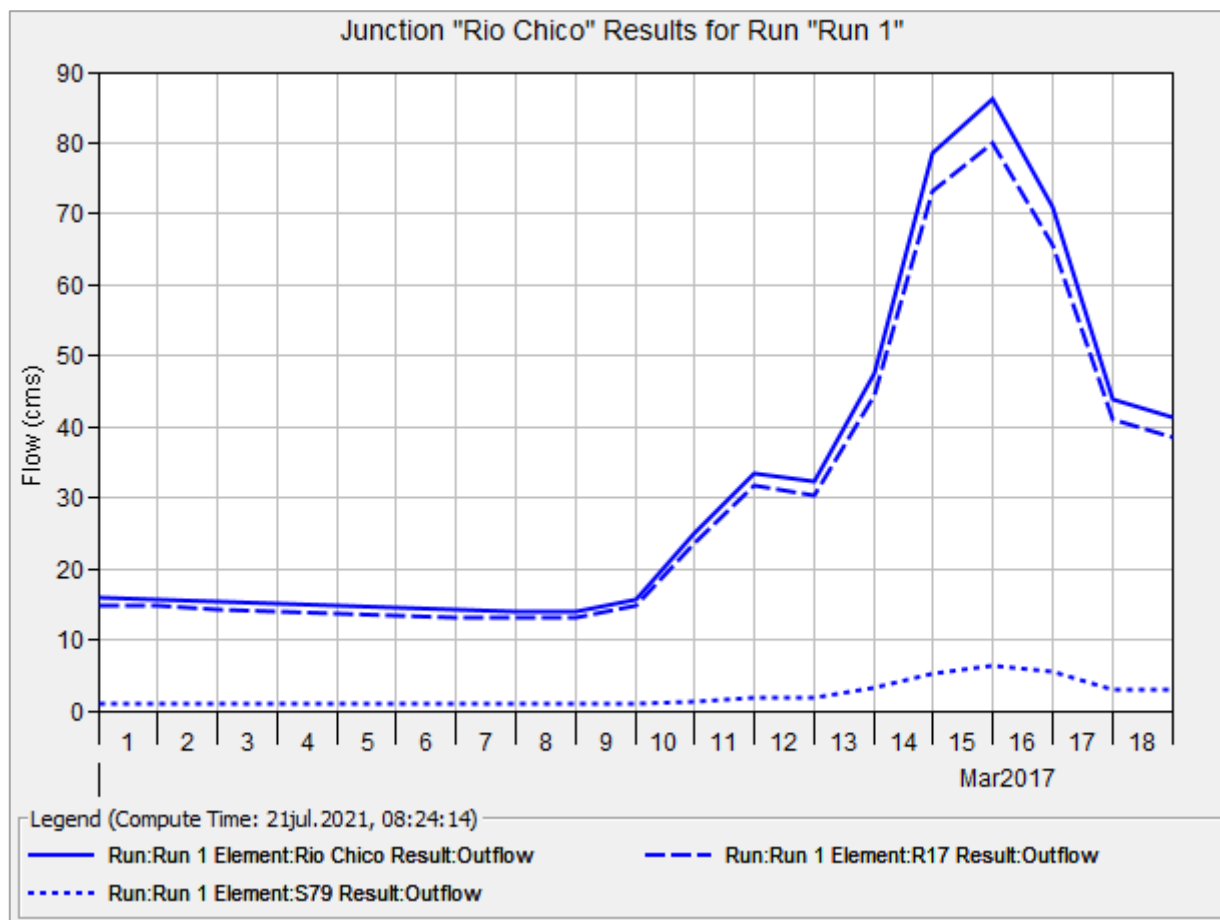
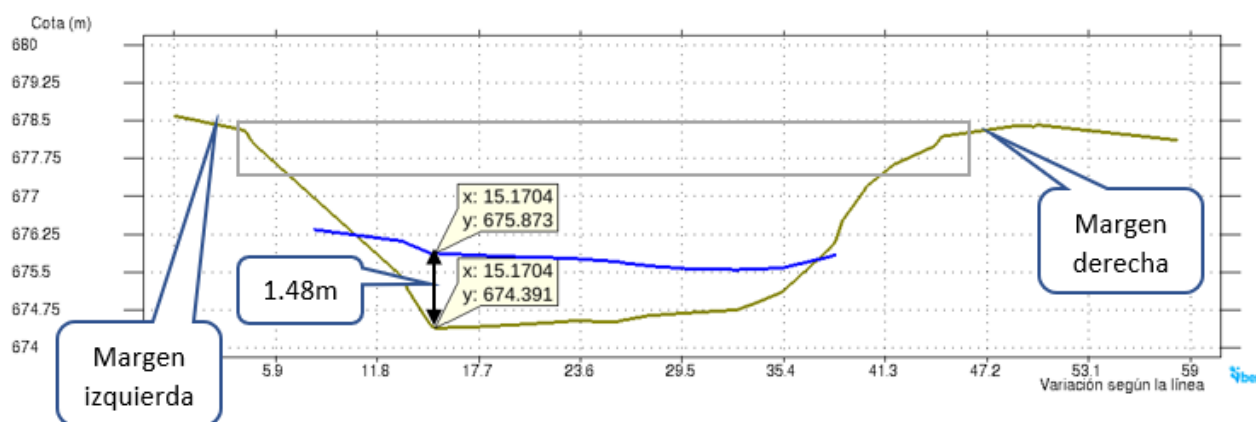


Ilustración 74: Tabla resumen del modelo FEN 2017 para la cuenca del río Chico
(TYPESA, 2021)

Project: FEN 2017 Simulation Run: Run 1	
Junction: Rio Chico	
Start of Run: 01mar.2017, 00:00	Basin Model: Huaura
End of Run: 19mar.2017, 00:00	Meteorologic Model: Marzo 2017
Compute Time: 21jul.2021, 08:24:14	Control Specifications: Control 1
Volume Units: ☒ MM ☐ 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge: 86.20 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 16mar.2017, 00:00
Volume: 72.36 (MM)	

En la cuenca del río Chico se obtuvo un valor de caudal pico de 86.20 m³/s, de acuerdo con el modelamiento hidráulico se obtuvo un valor de tirante de 1.48 m que se ajusta a la marca de agua máxima vista en el acueducto Santa Rosa.

Ilustración 75: Sección transversal del acueducto Santa Rosa
(TYP SA, 2021)



5.2.3.7 Parámetros calibrados

5.2.3.7.1 Curva Numero

Inicialmente se obtuvieron los CN de acuerdo con la metodología del ANA y estos fueron transformados a condiciones secas, en el considerando que se empezó a computar el modelo desde el 01/03/2017 y se producen precipitaciones continuamente en la cuenca del río Huaura, llegando a saturar el suelo y cambiando la condición del CN a lo largo del tiempo. La condición antecedente a la iniciación del modelo fue AMC I, y se realizó el análisis de la condición antecedente donde se produce el caudal máximo del evento variando entre condición AMC I y AMC II, por lo que se recomienda tomar una condición de curva número CN II dado la extensión de la cuenca no se produce una saturación total del terreno. Una vez calibrado el Curva Numero se llevó a condición normal para ser ingresados a los modelos asociados a diferentes de retorno.

Tabla 64: Parámetro de CN inicial y CN calibrado
(TYP SA, 2021)

N°	Subcuenca	Curva Numero Inicial (CN I)	Curva Numero Inicial (CN II)	Curva Numero Calibrado (CN I)	Curva Numero Calibrado (CN II)	Variación porcentual
1	S41	55.4	74.7	59.1	77.5	4%
2	S36	55.4	74.7	57.5	76.3	2%
3	S102	54.6	74.1	59.4	77.7	5%
4	S60	52.5	72.5	61.0	78.8	9%
5	S58	54.7	74.2	59.4	77.7	5%
6	S47	56.1	75.3	62.0	79.5	6%
7	S70	54.9	74.3	62.5	79.9	7%
8	S49	60.1	78.2	59.8	78.0	0%
9	S74	60.5	78.5	54.6	74.1	-6%
10	S77	62.1	79.6	59.4	77.7	-2%
11	S46	58.4	77.0	55.1	74.5	-3%

N°	Subcuenca	Curva Numero Inicial (CN I)	Curva Numero Inicial (CN II)	Curva Numero Calibrado (CN I)	Curva Numero Calibrado (CN II)	Variación porcentual
12	S8	52.1	72.1	54.2	73.8	2%
13	S16	50.5	70.8	56.4	75.5	7%
14	S79	64.0	80.9	59.4	77.7	-4%
15	S1	60.4	78.4	65.5	81.9	4%
16	S2	58.7	77.2	56.4	75.5	-2%
17	S4	56.7	75.7	59.3	77.6	3%
18	S55	53.1	72.9	67.4	83.1	14%
19	S3	54.5	74.0	64.6	81.3	10%
20	S61	53.9	73.5	58.0	76.7	4%
21	S5	55.0	74.4	69.0	84.1	13%
22	S65	55.0	74.4	53.6	73.3	-2%
23	S12	55.8	75.0	65.1	81.6	9%
24	S6	58.3	76.9	53.9	73.6	-4%
25	S57	54.8	74.3	58.6	77.1	4%
26	S66	55.8	75.0	69.9	84.7	13%
27	S7	53.2	73.0	60.2	78.3	7%
28	S68	54.5	74.0	51.3	71.5	-3%
29	S71	54.1	73.7	54.8	74.3	1%
30	S9	54.9	74.3	64.8	81.4	9%
31	S13	54.4	73.9	69.4	84.4	14%
32	S75	53.4	73.2	58.0	76.7	5%
33	S11	54.6	74.1	56.1	75.3	2%
34	S78	58.7	77.2	62.5	79.9	4%
35	S80	53.2	73.0	61.2	79.0	8%
36	S28	53.9	73.6	57.1	76.0	3%
37	S22	57.1	76.0	70.6	85.1	12%
38	S19	55.8	75.0	55.2	74.6	-1%
39	S51	53.8	73.5	57.8	76.5	4%
40	S17	55.0	74.4	58.4	77.0	3%
41	S62	54.7	74.2	67.4	83.1	12%
42	S63	53.9	73.6	62.0	79.5	8%
43	S25	54.6	74.1	68.2	83.6	13%
44	S29	54.6	74.1	50.8	71.1	-4%
45	S54	51.8	71.9	57.1	76.0	6%
46	S67	52.6	72.6	66.4	82.5	14%
47	S24	55.3	74.6	58.0	76.7	3%
48	S69	54.6	74.1	51.2	71.4	-4%
49	S72	53.8	73.5	69.9	84.7	15%
50	S20	55.1	74.5	65.2	81.7	10%

N°	Subcuenca	Curva Numero Inicial (CN I)	Curva Numero Inicial (CN II)	Curva Numero Calibrado (CN I)	Curva Numero Calibrado (CN II)	Variación porcentual
51	S18	55.4	74.7	60.7	78.6	5%
52	S73	52.3	72.3	67.7	83.3	15%
53	S76	54.4	73.9	67.4	83.1	12%
54	S81	52.0	72.1	56.0	75.2	4%
55	S82	53.4	73.2	55.0	74.4	2%
56	S10	54.2	73.8	62.0	79.5	8%
57	S23	53.5	73.3	57.2	76.1	4%
58	S83	55.0	74.4	54.1	73.7	-1%
59	S21	51.7	71.8	60.4	78.4	9%
60	S84	53.9	73.5	64.2	81.0	10%
61	S30	51.8	71.9	55.6	74.9	4%
62	S85	54.8	74.3	59.5	77.8	5%
63	S14	54.4	73.9	64.9	81.5	10%
64	S15	53.4	73.2	56.8	75.8	4%
65	S59	53.3	73.1	60.2	78.3	7%
66	S86	59.5	77.7	61.2	79.0	2%
67	S40	51.3	71.5	63.1	80.3	12%
68	S87	52.6	72.6	59.5	77.8	7%
69	S38	52.5	72.5	58.9	77.3	7%
70	S88	63.9	80.8	59.3	77.6	-4%
71	S89	59.3	77.6	57.9	76.6	-1%
72	S31	55.6	74.9	60.0	78.1	4%
73	S90	63.4	80.5	59.0	77.4	-4%
74	S33	56.0	75.2	55.8	75.0	0%
75	S53	59.5	77.8	58.7	77.2	-1%
76	S91	62.5	79.9	53.2	73.0	-9%
77	S92	63.0	80.2	55.8	75.0	-7%
78	S93	60.8	78.7	55.8	75.0	-5%
79	S94	64.1	81.0	54.8	74.3	-8%
80	S43	62.9	80.1	59.7	77.9	-3%
81	S27	59.5	77.7	67.8	83.4	7%
82	S39	60.9	78.7	74.4	87.4	11%
83	S56	66.4	82.5	70.7	85.2	3%
84	S95	63.5	80.5	59.5	77.8	-3%
85	S96	64.5	81.3	60.4	78.4	-4%
86	S45	69.4	84.3	55.4	74.7	-11%
87	S97	67.2	83.0	60.0	78.1	-6%
88	S42	62.9	80.1	50.9	71.2	-11%
89	S37	62.8	80.1	57.1	76.0	-5%

N°	Subcuenca	Curva Numero Inicial (CN I)	Curva Numero Inicial (CN II)	Curva Numero Calibrado (CN I)	Curva Numero Calibrado (CN II)	Variación porcentual
90	S98	60.9	78.8	63.4	80.5	2%
91	S26	63.4	80.5	51.6	71.7	-11%
92	S99	61.6	79.3	69.4	84.4	6%
93	S34	65.3	81.8	66.1	82.3	1%
94	S100	62.4	79.8	55.5	74.8	-6%
95	S101	56.8	75.8	59.3	77.6	2%

Para calcular las condiciones antecedes de humedad se dispone de la Tabla 65 la cual nos muestra los rangos para la clasificación de las condiciones antecedentes de humedad.

Tabla 65: Rangos para la clasificación de las condiciones antecedentes de humedad (AMC)
(Soil Conservation Service)

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg.)	
	Estación inactiva (seca)	Estación activa (de crecimiento)
I	< 0.5	< 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Para obtener las condiciones de humedad antecedes del terreno se tomó en cuenta la lluvia acumulada de 5 días anteriores a la fecha, en la siguiente tabla se puede ver la evolución de las condiciones de humedad en la cuenca del río Huaura considerando los pesos de acuerdo al porcentaje de influencia de cada estación mediante los polígonos de Thiessen.

Tabla 66: Condiciones de humedad antecedente en la cuenca del río Huaura durante un evento FEN
(TYPESA, 2021)

Estación	Alcantarilla	Andajes	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pachamachay	Pampa Libre	Parquin	CUENCA	AMC
PESO	14.2%	9.6%	3.6%	16.6%	9.7%	18.5%	13.5%	14.4%		
5/02/2017	0.0	6.0	0.0	14.2	58.0	25.1	3.4	31.8	18.2	I
6/02/2017	0.0	6.0	0.0	14.2	60.4	27.5	3.4	42.1	20.4	I
7/02/2017	0.0	4.5	0.0	16.0	64.4	30.9	3.4	40.5	21.3	I
8/02/2017	0.0	0.0	0.0	24.6	51.3	35.6	9.6	38.7	22.5	I
9/02/2017	0.0	0.0	0.0	13.3	55.7	28.6	12.8	29.3	18.8	I
10/02/2017	0.0	0.0	0.0	12.4	54.9	32.6	10.3	33.8	19.6	I
11/02/2017	0.0	0.0	0.0	25.5	58.0	37.7	10.9	45.9	24.9	I
12/02/2017	0.0	5.0	0.0	34.0	65.7	38.6	14.7	51.0	28.9	I
13/02/2017	0.0	5.0	0.0	34.2	60.9	30.8	14.9	49.2	26.8	I
14/02/2017	0.0	9.0	0.0	36.0	64.1	26.2	11.9	55.6	27.5	I

Estación	Alcantarilla	Andajes	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pachamachay	Pampa Libre	Parquin	CUENCA	AMC
PESO	14.2%	9.6%	3.6%	16.6%	9.7%	18.5%	13.5%	14.4%		
15/02/2017	0.0	19.0	0.0	36.6	59.9	28.6	13.9	60.1	29.5	I
16/02/2017	0.0	19.0	0.0	39.8	65.3	33.2	13.7	54.4	30.5	I
17/02/2017	0.0	21.5	0.0	27.4	62.3	32.2	13.5	51.4	27.8	I
18/02/2017	0.0	16.5	0.0	27.1	54.1	32.4	11.5	38.8	24.4	I
19/02/2017	0.0	16.5	0.0	28.1	70.3	36.8	12.1	39.9	27.2	I
20/02/2017	0.0	12.5	0.0	20.1	59.1	29.9	8.9	29.6	21.2	I
21/02/2017	0.0	2.5	0.0	20.5	72.4	29.8	3.7	30.2	21.0	I
22/02/2017	0.1	2.5	0.0	22.8	72.3	22.1	3.0	32.7	20.2	I
23/02/2017	0.1	0.0	0.0	23.1	72.6	18.6	5.2	26.1	18.8	I
24/02/2017	0.1	0.0	0.0	15.8	85.3	20.0	3.4	29.0	19.2	I
25/02/2017	0.1	10.5	1.2	30.9	85.6	28.5	5.8	48.6	27.5	I
26/02/2017	0.5	10.5	1.2	42.4	84.8	44.7	12.1	52.3	33.8	I
27/02/2017	0.5	17.0	1.2	45.1	69.6	48.5	12.1	49.9	33.7	I
28/02/2017	0.4	17.0	1.2	39.1	56.0	43.5	14.3	45.0	30.1	I
1/03/2017	0.4	19.0	1.2	39.2	54.1	44.0	11.7	46.0	30.0	I
2/03/2017	0.4	22.0	1.2	42.0	49.3	46.3	19.7	50.3	32.4	I
3/03/2017	0.4	11.5	0.0	30.8	33.3	38.5	21.9	35.0	24.6	I
4/03/2017	0.0	22.0	0.0	20.1	37.0	27.4	16.4	36.0	21.5	I
5/03/2017	0.0	15.5	0.0	20.7	34.9	23.4	17.8	42.0	21.1	I
6/03/2017	0.0	15.5	0.0	27.2	42.6	28.6	18.6	42.4	24.0	I
7/03/2017	0.0	20.5	0.0	28.5	45.0	27.1	23.8	52.9	26.9	I
8/03/2017	0.0	18.5	0.0	26.3	40.1	23.8	15.8	54.9	24.4	I
9/03/2017	0.0	18.5	0.2	31.4	49.3	30.3	15.2	52.0	26.9	I
10/03/2017	1.0	8.0	0.2	40.1	59.4	41.1	33.8	73.0	36.0	II
11/03/2017	1.0	8.0	0.2	40.0	72.5	47.0	32.6	69.1	37.6	II
12/03/2017	1.0	8.0	0.2	37.7	75.5	48.7	32.4	70.6	38.0	II
13/03/2017	1.0	1.0	0.2	42.0	79.7	69.3	27.2	66.5	41.0	II
14/03/2017	1.8	0.0	5.7	45.6	85.0	86.0	27.6	64.8	45.2	II
15/03/2017	1.8	0.0	5.7	39.6	98.1	84.2	24.0	74.4	46.0	II
16/03/2017	0.8	0.0	5.7	32.6	85.6	74.9	17.3	57.9	38.5	II
17/03/2017	0.8	0.0	5.7	28.4	79.1	68.4	23.7	52.1	36.0	II
18/03/2017	1.1	0.0	5.8	38.9	80.2	71.4	26.9	67.9	41.2	II
19/03/2017	1.1	8.5	5.8	32.2	101.2	57.2	27.1	59.2	39.0	II
20/03/2017	0.3	8.5	0.3	33.1	95.5	43.0	26.7	52.4	34.7	I
21/03/2017	0.3	8.5	0.1	28.0	67.5	38.8	25.7	42.7	28.8	I
22/03/2017	0.3	10.2	0.1	28.2	73.9	45.1	15.6	37.8	28.7	I
23/03/2017	0.3	14.7	0.1	41.2	79.1	50.5	11.4	50.5	34.1	I
24/03/2017	0.0	14.7	0.0	29.7	83.7	42.0	8.6	30.8	27.8	I
25/03/2017	0.0	6.2	0.0	46.9	61.5	35.3	12.4	34.9	27.5	I

Estación	Alcantarilla	Andajes	Lomas de Lachay	Oyon	Paccho	Pachamachay	Pampa Libre	Parquin	CUENCA	AMC
PESO	14.2%	9.6%	3.6%	16.6%	9.7%	18.5%	13.5%	14.4%		
26/03/2017	0.0	14.2	0.0	48.2	62.3	38.9	12.6	36.9	29.6	I
27/03/2017	0.0	19.7	0.0	49.4	82.6	47.5	12.4	35.4	33.6	I
28/03/2017	0.0	27.0	0.0	46.7	79.1	34.5	14.6	29.6	30.6	I
29/03/2017	0.0	22.5	0.0	36.8	97.6	39.5	15.0	21.8	30.2	I
30/03/2017	0.0	22.5	0.4	39.9	98.4	46.9	15.0	49.4	36.1	II
31/03/2017	0.0	22.5	1.3	27.7	99.2	51.1	11.2	51.8	34.8	I

Del cuadro anterior se puede ver que durante un evento FEN, el comportamiento de las condiciones de humedad antecedentes varía entre I y II, siendo muy característico de las cuencas de la vertiente del pacífico.

Debido a la extensión de la cuenca y a las condiciones de humedad que se han mostrado, se recomienda emplear la condición antecedente AMC II para simular los eventos asociados a diferentes periodos de retorno.

5.2.3.7.2 Otros parámetros

Los demás parámetros considerados en el modelamiento quedaron como inicialmente fueron calculados a partir de las fórmulas empíricas conocidas.

En este punto se puede mencionar que debido al tiempo de cómputo del modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS (nivel diario) se consideró un tramo por cada río para el método de ruteo (Muskingum).

5.2.3.8 Análisis de incertidumbre y sensibilidad

5.2.3.8.1 Sensibilidad de Curva Numero

El análisis de sensibilidad consiste en observar si un cambio en valor del parámetro afecta con gran importancia el resultado, para este caso se dice que existe sensibilidad en los parámetros; pero si el valor del parámetro no afecta el resultado se dice que no existe sensibilidad.

Para el presente análisis se tomará como parámetro de estudio el Curva Numero el cual será multiplicado por 0.9 y 1.1.

Tabla 67: Valores de CN para análisis de Sensibilidad

Subcuenca	Area (km2)	CN*0.9	CN	CN*1.1
S41	55.36	69.75	77.50	85.25
S36	27.84	68.67	76.30	83.93
S102	63.61	69.93	77.70	85.47
S60	139.21	70.92	78.80	86.68
S58	13.99	69.93	77.70	85.47
S47	55.25	71.55	79.50	87.45
S70	45.17	71.91	79.90	87.89
S49	46.37	70.20	78.00	85.80
S74	28.58	66.69	74.10	81.51
S77	30.84	69.93	77.70	85.47
S46	28.59	67.05	74.50	81.95
S8	52.41	66.42	73.80	81.18
S16	60.93	67.95	75.50	83.05
S79	43.68	69.93	77.70	85.47
S1	60.17	73.71	81.90	90.09
S2	38.32	67.95	75.50	83.05
S4	36.54	69.84	77.60	85.36
S55	16.23	74.79	83.10	91.41
S3	99.25	73.17	81.30	89.43
S61	25.37	69.03	76.70	84.37
S5	26.42	75.69	84.10	92.51
S65	4.88	65.97	73.30	80.63
S12	78.63	73.44	81.60	89.76
S6	78.83	66.24	73.60	80.96
S57	31.03	69.39	77.10	84.81
S66	16.90	76.23	84.70	93.17
S7	42.95	70.47	78.30	86.13
S68	27.88	64.35	71.50	78.65
S71	49.39	66.87	74.30	81.73
S9	49.21	73.26	81.40	89.54
S13	76.94	75.96	84.40	92.84
S75	30.28	69.03	76.70	84.37
S11	84.41	67.77	75.30	82.83
S78	0.05	71.91	79.90	87.89
S80	1.86	71.10	79.00	86.90
S28	44.19	68.40	76.00	83.60
S22	35.01	76.59	85.10	93.61
S19	60.37	67.14	74.60	82.06
S51	44.07	68.85	76.50	84.15

Subcuenca	Area (km2)	CN*0.9	CN	CN*1.1
S17	87.59	69.30	77.00	84.70
S62	22.44	74.79	83.10	91.41
S63	65.02	71.55	79.50	87.45
S25	51.57	75.24	83.60	91.96
S29	48.13	63.99	71.10	78.21
S54	10.94	68.40	76.00	83.60
S67	3.92	74.25	82.50	90.75
S24	48.46	69.03	76.70	84.37
S69	45.90	64.26	71.40	78.54
S72	57.36	76.23	84.70	93.17
S20	25.93	73.53	81.70	89.87
S18	83.38	70.74	78.60	86.46
S73	12.40	74.97	83.30	91.63
S76	71.81	74.79	83.10	91.41
S81	15.40	67.68	75.20	82.72
S82	64.35	66.96	74.40	81.84
S10	194.33	71.55	79.50	87.45
S23	107.65	68.49	76.10	83.71
S83	9.35	66.33	73.70	81.07
S21	50.44	70.56	78.40	86.24
S84	18.79	72.90	81.00	89.10
S30	59.99	67.41	74.90	82.39
S85	50.90	70.02	77.80	85.58
S14	76.64	73.35	81.50	89.65
S15	71.50	68.22	75.80	83.38
S59	113.03	70.47	78.30	86.13
S86	23.66	71.10	79.00	86.90
S40	37.10	72.27	80.30	88.33
S87	19.66	70.02	77.80	85.58
S38	26.41	69.57	77.30	85.03
S88	5.58	69.84	77.60	85.36
S89	25.22	68.94	76.60	84.26
S31	35.94	70.29	78.10	85.91
S90	17.93	69.66	77.40	85.14
S33	75.67	67.50	75.00	82.50
S53	17.68	69.48	77.20	84.92
S91	11.30	65.70	73.00	80.30
S92	28.88	67.50	75.00	82.50
S93	1.58	67.50	75.00	82.50
S94	46.83	66.87	74.30	81.73

Subcuenca	Area (km2)	CN*0.9	CN	CN*1.1
S43	28.58	70.11	77.90	85.69
S27	103.70	75.06	83.40	91.74
S39	34.16	78.66	87.40	96.14
S56	30.82	76.68	85.20	93.72
S95	117.12	70.02	77.80	85.58
S96	37.53	70.56	78.40	86.24
S45	26.16	67.23	74.70	82.17
S97	30.23	70.29	78.10	85.91
S42	26.95	64.08	71.20	78.32
S37	75.92	68.40	76.00	83.60
S98	44.85	72.45	80.50	88.55
S26	106.05	64.53	71.70	78.87
S99	2.74	75.96	84.40	92.84
S34	48.65	74.07	82.30	90.53
S100	11.09	67.32	74.80	82.28
S101	20.05	69.84	77.60	85.36

El análisis de sensibilidad es fundamental para corroborar el grado de dependencia entre valor observado (caudal) y el parámetro de curva número. Para tal fin se usa la siguiente formula escrito por Nearing.

$$IS = \left| \frac{(O_{max} - O_{min})/O_{med}}{(I_{max} - I_{min})/I_{med}} \right|$$

En donde I_{max} es el valor máximo del parámetro analizar; I_{min} es el valor mínimo de dicho parámetro; y I_{med} es el valor medio; O_{max} es el valor máximo de la variable de salida a evaluar; O_{min} es su valor mínimo; y O_{med} es el valor medio. En este caso la variable evaluada ha sido el caudal máximo, $Q_{máx}$. Un valor de IS igual a 1 indica que los incrementos de ambas distribuciones de valores son iguales.

En las siguientes tablas se presentan los índices de sensibilidad del curva número para los puntos de interés de la cuenca, determinados para un periodo de retorno de 50 años y para 100 años, como podemos ver los índices (IS) se encuentran cercanos a 5, lo que quiere decir que una variación en el curva número ya sea superior no afectaría considerablemente al caudal pico esto dado que hasta dicho punto de interés descargan muchas subcuencas; mientras que para la quebrada Chambara al ser definida por solo dos subcuencas un cambio de curva número si cambiaría significativamente los valores de caudales máximos instantáneos.

Tabla 68: Índices de sensibilidad para un periodo de retorno de 100 años en los puntos de interés
(TYPESA, 2021)

TR=100	Rio Huaura - Sayan (m3/s)	Rio Chico (m3/s)	Quebrada Chambara (m3/s)	Desembocadura (m3/s)
Omax	775.76	207.06	58.1	966.31
Omin	206.63	50.94	9.31	248.67
Omed	420.09	111.3	25.94	511.66
Imax	85.83	85.12	92.99	85.91
Imin	70.23	69.65	76.09	70.29
Imed	78.03	77.39	84.54	78.10
IS	6.77	7.01	9.40	7.01

Tabla 69: Índices de sensibilidad para un periodo de retorno de 50 años en los puntos de interés
(TYPESA, 2021)

TR=50	Rio Huaura - Sayan (m3/s)	Rio Chico (m3/s)	Quebrada Chambara (m3/s)	Desembocadura (m3/s)
Omax	668.26	174.03	49.56	816.91
Omin	164.47	37.29	6.33	196.25
Omed	347.51	88.6	20.41	420.15
Imax	85.83	85.12	92.99	85.91
Imin	70.23	69.65	76.09	70.29
Imed	78.03	77.39	84.54	78.10
IS	7.25	7.72	10.59	7.39

5.2.3.8.2 Análisis de cambio de cobertura

La cobertura del suelo es un parámetro muy importante en la modelación hidrológica ya que influye directamente en el valor de curva número.

Para observar la variación del cambio de la cobertura de la cuenca del rio Huaura se utilizaron los datos de cobertura del proyecto GlobeLand30 (<http://www.globallandcover.com/>) el cual agrupa las imágenes en los periodos 2000, 2010 y 2020.

Ilustración 76: Cobertura del Suelo – Año 2000
(GlobeLand30 – TYPSA, 2021)

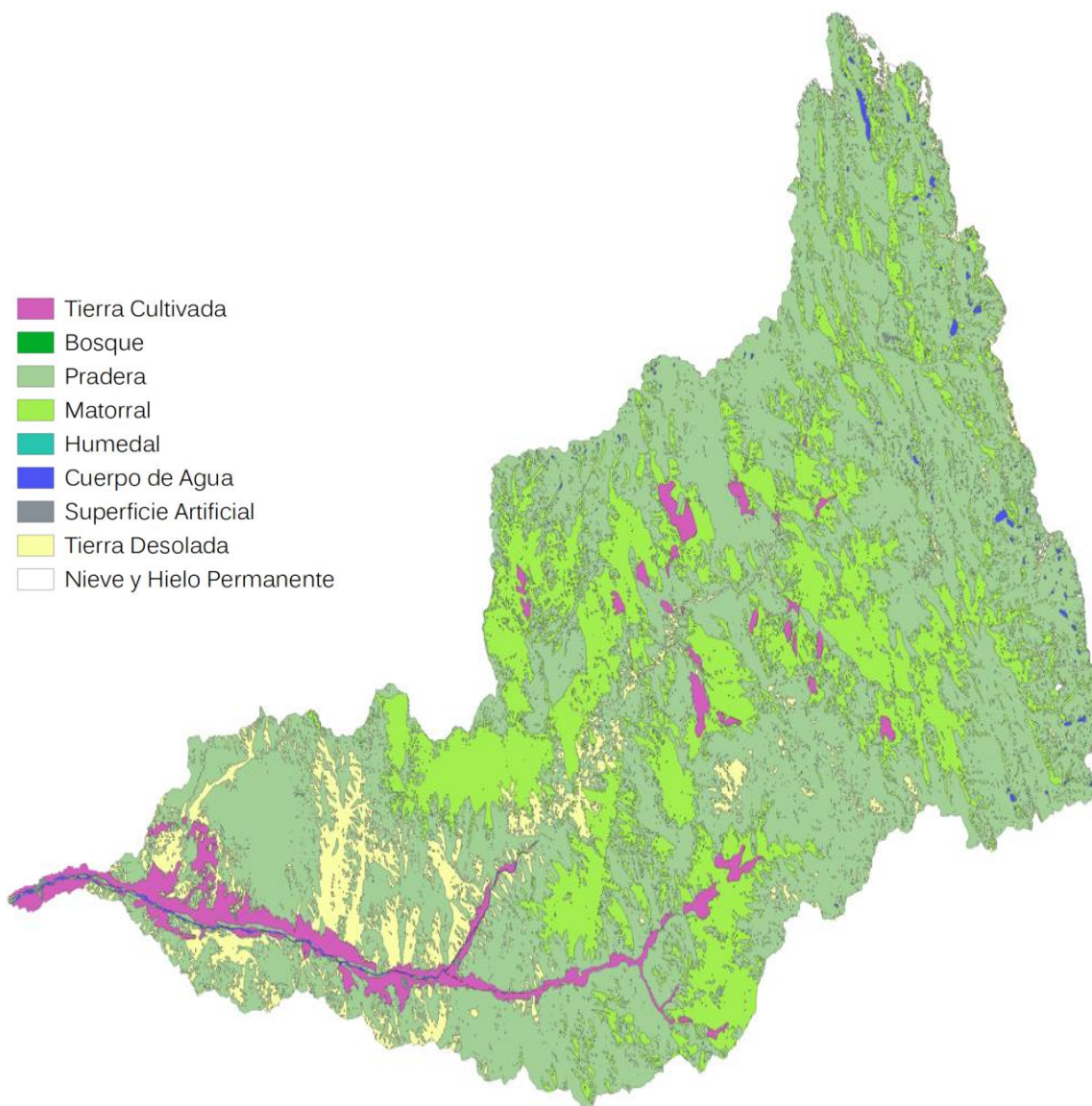


Ilustración 77: Cobertura del Suelo – Año 2010
(GlobeLand30 – TYPSA, 2021)

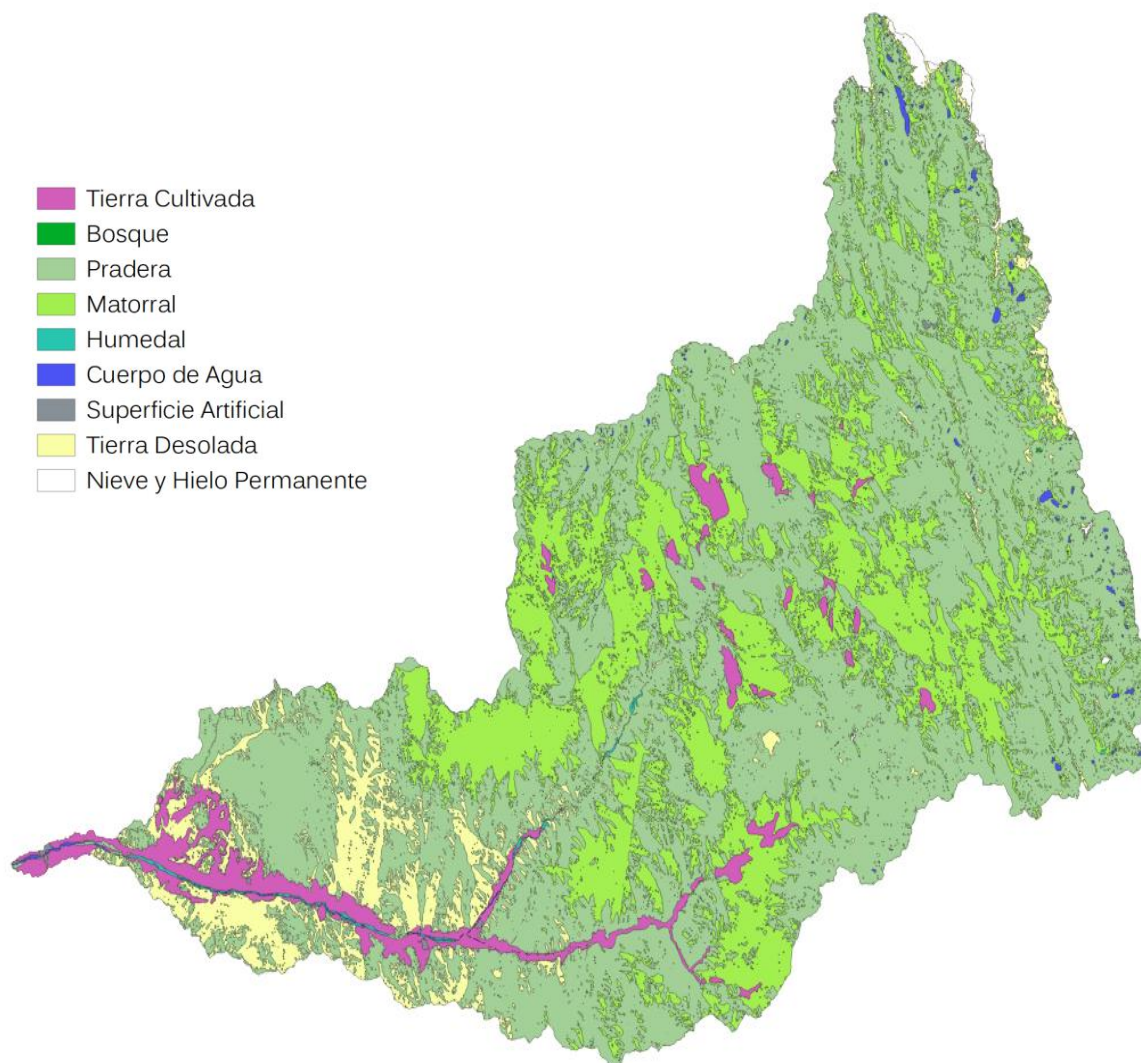
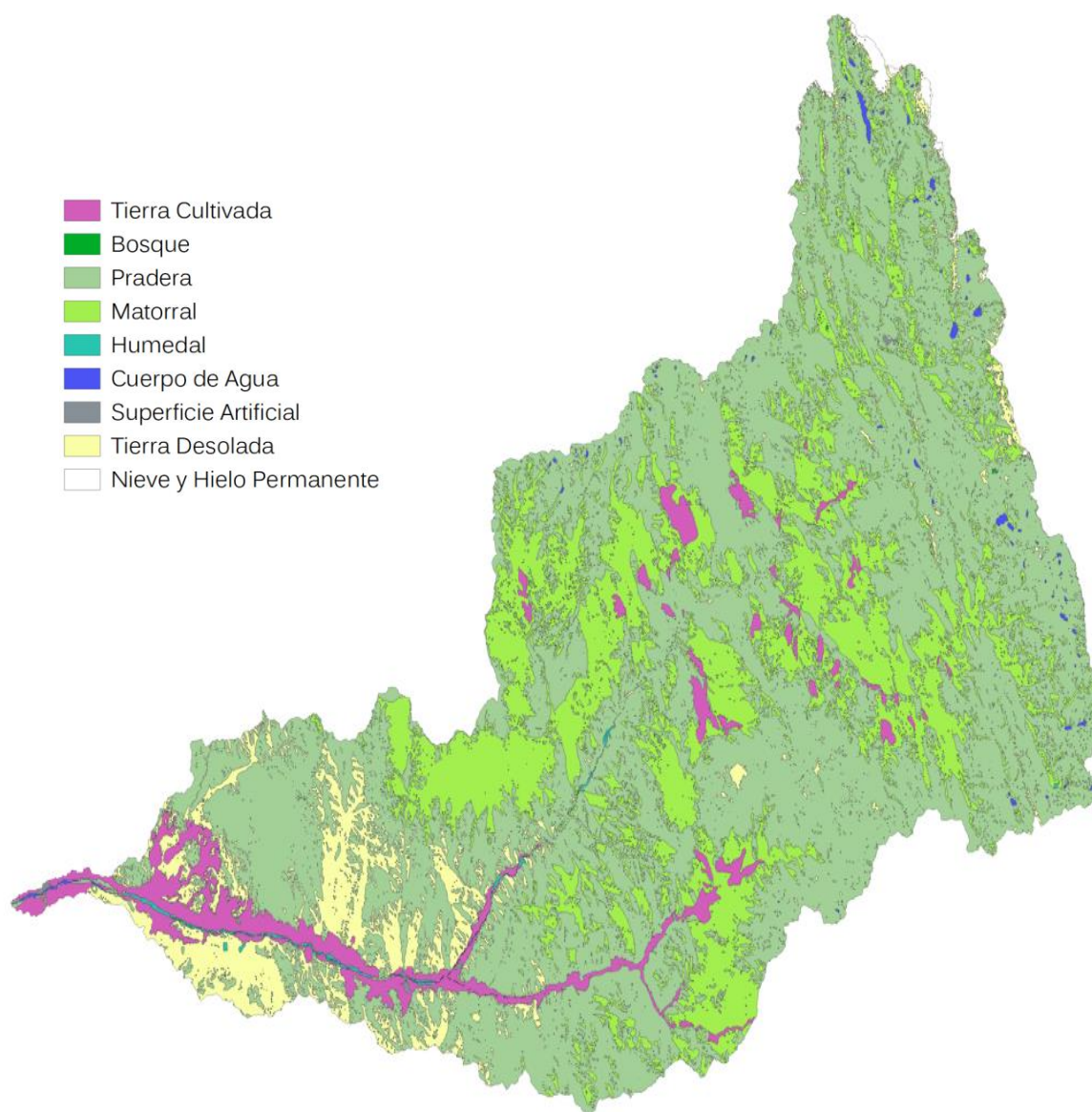


Ilustración 78: Cobertura del Suelo – Año 2020
(GlobeLand30 – TYPSA, 2021)

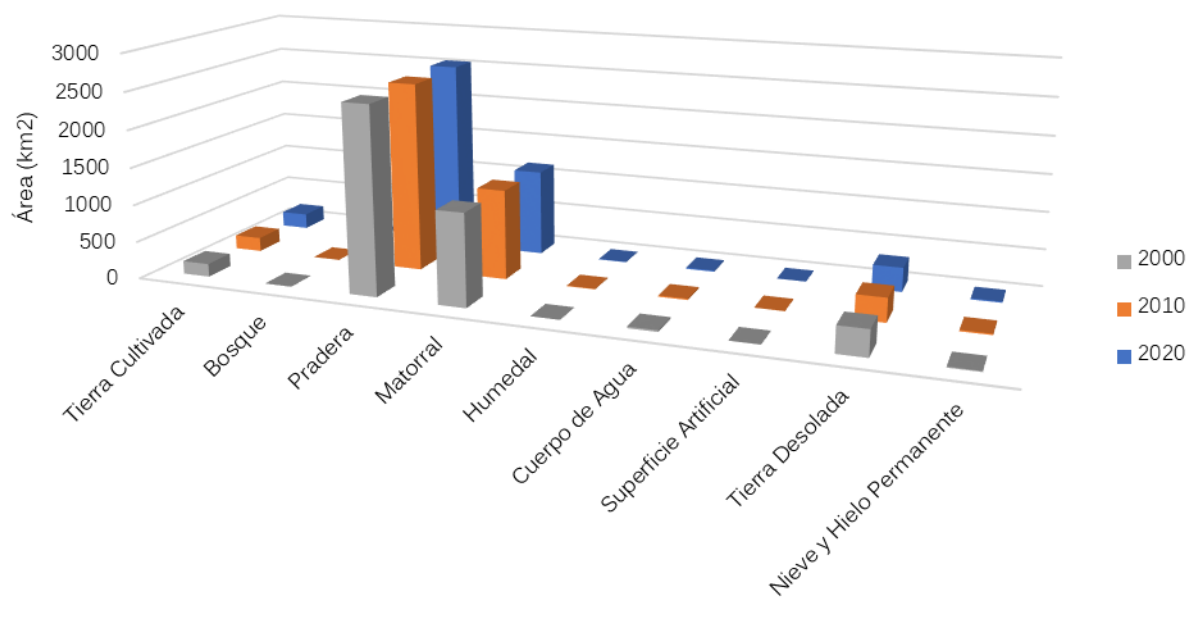


En la siguiente tabla se aprecia la distribución de las coberturas del tipo de suelo del Rio Huaura para los diferentes periodos.

**Tabla 70: Distribución del tipo de cobertura de suelo en la cuenca del rio Huaura
(TYPESA, 2021)**

Clase	Descripción	Area (Km2)			Porcentaje (%)		
		2000	2010	2020	2000	2010	2020
10	Tierra Cultivada	173.41	187.88	206.02	4.0%	4.4%	4.8%
20	Bosque	0.27	1.45	1.38	0.0%	0.0%	0.0%
30	Pradera	2498.38	2528.75	2551.26	58.3%	59.0%	59.5%
40	Matorral	1231.65	1203.97	1158.73	28.7%	28.1%	27.0%
50	Humedal	0	6.92	7.5	0.0%	0.2%	0.2%
60	Cuerpo de Agua	21.11	16.99	17.19	0.5%	0.4%	0.4%
80	Superficie Artificial	2.66	2.53	2.97	0.1%	0.1%	0.1%
90	Tierra Desolada	346.12	319.99	325.17	8.1%	7.5%	7.6%
100	Nieve y Hielo Permanente	12.18	17.3	15.57	0.3%	0.4%	0.4%

**Ilustración 79: Distribución del tipo de cobertura de suelo en la cuenca del rio Huaura
(TYPESA, 2021)**

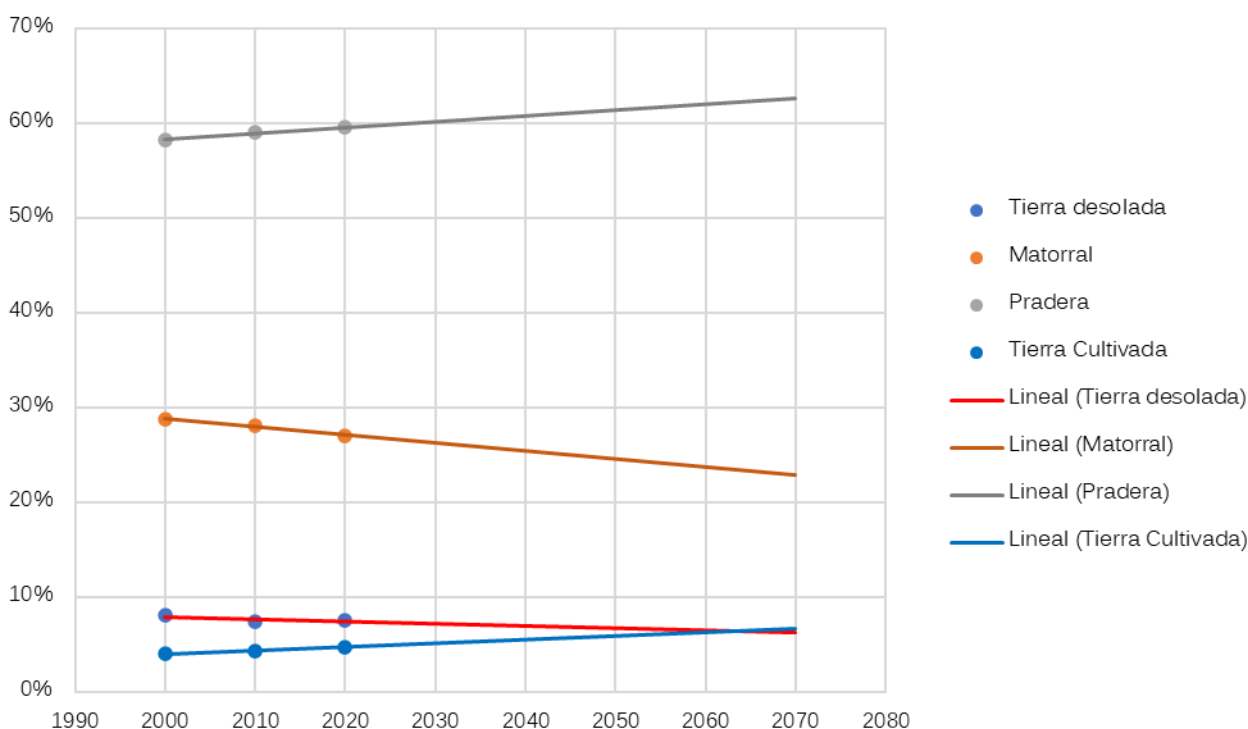


Los valores de la Tabla 70 muestran que no existan variaciones significativas en el tipo de cobertura de suelo que puedan influir significativamente en el modelo hidrológico.

En la Ilustración 79 se ha analizado las tendencias con mayor variación de la cuenca del rio Huaura hasta el año 2070. Se puede apreciar que existe un aumento de la cobertura pradera de 55.0% a 59.2% entre los años 2020 y 2070, tierra cultivada aumenta de 7.9% a 10.7% entre los años 2020 y 2070, matorral disminuye de

19.0% a 12.7% entre los años 2020 y 2070 y para la tierra desolada disminuye de 16.8% a 15.4% entre los años 2020 y 2070. Lo indicado es considerando las tendencias y prácticas entre el 2000 y 2020.

**Ilustración 80: Tendencias de los tipos de cobertura de suelo predominantes
(TYPESA, 2021)**



5.2.4 Caudales asociados a diferentes periodos de retorno

De los resultados obtenidos de la modelación hidrológica con HEC-HMS para la cuenca del río Huaura, se debe mencionar que respecto al Perfil se encuentran valores muy próximos para el Periodo de Retorno de 100 años, el perfil obtiene un valor de 422 m³/s mientras que en el presente estudio obtenemos un valor de 464.8 m³/s esto sin considerar la influencia de los tres reservorios incluidos en el estudio del perfil (Surasaca, Patón y Checras) que entre los tres laminan un aproximado de 30 m³/s. Tomando como referencia este punto podemos afirmar que los caudales obtenidos se encuentran dentro del rango aceptado.

**Tabla 71: Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno en diferentes puntos de interés de la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)**

Periodo de Retorno	HLG Sayán (m ³ /s)	Río Chico (m ³ /s)	Quebrada Chambara (m ³ /s)	Desembocadura (m ³ /s)
2	93.7	12.4	1.9	108.9
10	202.3	43.8	9.7	240.1
25	281.1	67.9	15.4	337.3
50	347.6	88.6	20.4	420.2
100	420.1	111.3	25.9	511.7

Periodo de Retorno	HLG Sayán (m3/s)	Río Chico (m3/s)	Quebrada Chambara (m3/s)	Desembocadura (m3/s)
200	498.1	135.8	31.9	610.2

Los resultados del modelamiento hidrológico mediante HEC-HMS se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 72: Resumen global de los caudales del modelo hidrológico (TYPESA, 2021)

Elemento Hidrológico	Caudal (m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
S41	1.76	5.2	7.62	9.65	11.84	14.2
S36	0.35	2	3.21	4.22	5.32	6.49
J44	2.12	7.19	10.83	13.86	17.16	20.69
R44	2.12	7.19	10.83	13.86	17.16	20.69
S102	1.69	6.41	9.73	12.53	15.51	18.71
J34	3.78	13.5	20.41	26.21	32.45	39.15
R34	3.78	13.49	20.41	26.22	32.45	39.15
J36	1.05	5.4	9.14	12.45	16.13	20.12
R36	1.05	5.4	9.14	12.45	16.13	20.12
S60	4.07	12.11	17.83	22.6	27.85	33.33
S58	0.34	1.29	2	2.6	3.26	3.95
J26	9.18	31.95	48.87	63.21	78.87	95.59
R26	9.18	31.95	48.87	63.21	78.88	95.59
S47	0.56	3.56	5.78	7.72	9.78	12
S70	1.31	4.2	6.29	8.04	9.94	11.96
J22	10.78	38.32	58.76	76.12	95.05	115.33
R22	10.78	38.33	58.76	76.12	95.05	115.32
S49	0.14	1.95	3.48	4.84	6.34	7.97
S74	0.42	1.08	1.82	2.52	3.31	4.2
J19	11.31	40.76	62.94	81.88	102.57	124.81
R19	11.31	40.76	62.94	81.87	102.57	124.81
S77	0.49	1.61	2.65	3.55	4.59	5.71
S46	0	0.6	1.29	1.94	2.69	3.53
J17	11.78	42.39	65.71	85.71	107.59	131.19
R17	11.78	42.39	65.7	85.71	107.6	131.19
S8	0.84	2.53	4.04	5.4	6.93	8.57
S16	0.22	2.93	5.19	7.16	9.33	11.69
S79	0.64	1.63	2.67	3.63	4.73	5.95
S1	2.68	6.8	9.5	11.67	13.99	16.48
S2	0.75	2.22	3.38	4.37	5.5	6.7

Elemento Hidrológico	Caudal (m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
J39	3.43	9.03	12.88	16.04	19.49	23.18
R39	3.43	9.03	12.88	16.04	19.48	23.18
S4	1.06	2.99	4.35	5.48	6.71	8.06
S55	24.45	25.91	26.82	27.54	28.33	29.14
J33	28.74	37.39	43.35	48.2	53.53	59.24
R33	28.74	37.39	43.35	48.2	53.53	59.24
S3	3.86	9.38	13.05	15.96	19.15	22.55
S61	0.64	2.29	3.52	4.55	5.7	6.91
J30	33.24	48.99	59.8	68.57	78.2	88.48
R30	33.24	48.99	59.8	68.57	78.2	88.48
S5	1.82	4.01	5.34	6.35	7.49	8.64
S65	0.09	0.29	0.45	0.58	0.73	0.9
J29	34.65	52.22	64.17	73.84	84.45	95.75
R29	34.65	52.22	64.17	73.85	84.45	95.75
S12	2.92	7.6	10.57	12.97	15.54	18.31
S6	1.28	3.05	4.56	5.86	7.37	9.03
J37	4.16	10.58	15.05	18.73	22.81	27.24
R37	4.16	10.58	15.05	18.73	22.81	27.23
S57	0.89	2.37	3.38	4.18	5.11	6.09
S66	1.68	3.37	4.36	5.12	5.96	6.82
J28	40.48	66.5	84.29	98.78	114.65	131.72
R28	40.48	66.5	84.29	98.78	114.63	131.73
S7	1.42	3.92	5.6	7.03	8.58	10.22
S68	0.41	0.91	1.42	1.88	2.41	3.01
J25	42.05	70.25	89.75	105.68	123.18	142.01
R25	42.05	70.24	89.74	105.67	123.15	142
S71	0.84	2.27	3.45	4.49	5.64	6.92
S9	2.26	5.9	8.3	10.25	12.35	14.57
J21	44.75	77	99.45	117.86	138.06	159.79
R21	44.75	77	99.45	117.87	138.07	159.78
S13	4.6	10.27	13.77	16.53	19.47	22.58
S75	0.74	2.36	3.54	4.56	5.67	6.88
J18	49.88	88.66	115.26	137.04	160.83	186.36
R18	49.89	88.65	115.27	137.04	160.82	186.37
S11	1.52	4.46	6.86	8.97	11.3	13.83
S78	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
J47	51.38	92.64	121.25	144.79	170.57	198.29
R52	51.38	92.63	121.25	144.8	170.56	198.29
S80	0.09	0.26	0.38	0.47	0.59	0.7

Elemento Hidrológico	Caudal (m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
J48	51.41	92.67	121.29	144.84	170.6	198.34
R45	51.41	92.67	121.28	144.83	170.6	198.33
S28	0.87	2.95	4.43	5.69	7.08	8.52
S22	3.21	6.83	8.96	10.66	12.43	14.24
J43	3.98	9.63	13.21	16.14	19.27	22.5
R43	3.98	9.63	13.21	16.14	19.26	22.5
S19	1.2	3.37	5.06	6.52	8.13	9.87
S51	1.29	3.6	5.25	6.61	8.13	9.71
J32	6.44	16.54	23.43	29.16	35.41	41.92
R32	6.44	16.54	23.43	29.16	35.4	41.93
S17	1.6	5.56	8.4	10.79	13.44	16.24
S62	1.53	3.53	4.76	5.75	6.8	7.88
J46	9.43	25.33	36.23	45.27	55.13	65.48
R51	9.43	25.33	36.23	45.27	55.13	65.47
S63	2.76	7.37	10.4	12.9	15.58	18.34
J49	11.99	31.91	45.47	56.74	69.02	81.9
R46	11.98	31.91	45.47	56.73	69.02	81.9
S25	4.24	8.88	11.65	13.86	16.17	18.54
S29	0.5	2.09	3.41	4.59	5.88	7.27
J40	4.71	10.95	15.04	18.44	22.04	25.81
R40	4.71	10.95	15.04	18.44	22.04	25.81
S54	0.3	1.11	1.66	2.11	2.6	3.1
S67	0.32	0.77	1.04	1.28	1.52	1.79
J27	17.02	43.85	61.95	76.99	93.26	110.32
R27	17.02	43.86	61.95	76.99	93.24	110.33
S24	0.8	3.51	5.39	6.93	8.65	10.47
S69	0.73	2.04	3.21	4.24	5.44	6.7
J24	18.44	48.67	69.38	86.67	105.42	125.12
R24	18.44	48.67	69.37	86.66	105.4	125.11
S72	5.4	12.27	16.31	19.51	22.91	26.38
S20	1.09	3.51	5.08	6.32	7.66	9.05
J23	21.97	57.27	81.23	101.3	122.81	145.42
R23	21.96	57.27	81.23	101.29	122.82	145.42
S18	2.42	6.6	9.48	11.89	14.55	17.32
S73	1	2.43	3.3	3.99	4.75	5.48
J20	24.6	63.69	90.33	112.64	136.6	161.85
R20	24.6	63.69	90.34	112.64	136.58	161.85
S76	3.93	10.23	14.23	17.47	20.94	24.55
S81	0.28	1	1.59	2.11	2.68	3.29

Elemento Hidrológico	Caudal (m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
J16	79.08	162.94	220.83	268.76	320.74	376.05
R16	79.08	162.92	220.82	268.75	320.71	376.05
S82	0.94	1.49	2.53	3.56	4.83	6.26
S10	3.76	11.04	16.73	21.64	27.05	32.88
J15	83.6	173.56	236.62	289.14	346.27	407.04
R15	83.6	173.56	236.61	289.14	346.27	407.05
S23	2.7	9.02	13.76	17.78	22.21	26.95
S83	0.14	0.14	0.19	0.29	0.43	0.61
J14	86.19	180.86	247.5	303.11	363.52	427.99
R14	86.19	180.86	247.49	303.1	363.51	427.99
S21	0.04	1.82	3.48	4.9	6.53	8.3
S84	0.47	1.73	2.68	3.47	4.36	5.28
J13	86.51	181.96	249.31	305.57	366.77	432.05
R13	86.51	181.95	249.3	305.55	366.74	432.07
S30	0.29	3.13	5.42	7.42	9.64	12.05
S85	1.1	4.07	6.42	8.38	10.52	12.85
J12	87.6	186.05	256.01	314.6	378.29	446.24
R12	87.59	186.07	256.04	314.62	378.31	446.29
S14	1.72	6.38	9.68	12.44	15.42	18.61
S15	0.54	2.42	4.27	5.92	7.81	9.88
J35	2.26	8.77	13.9	18.31	23.18	28.43
R35	2.26	8.77	13.91	18.31	23.18	28.43
S59	2.1	6.52	10.12	13.25	16.75	20.49
S86	0.69	2.42	3.67	4.72	5.87	7.04
J11	91.63	196.75	272.43	336.03	405.37	479.64
R11	91.63	196.75	272.44	336.03	405.36	479.64
S40	1.02	3.66	5.5	7.01	8.65	10.42
S87	0.34	1.53	2.43	3.2	4.05	4.94
J10	92.42	199.27	276.22	340.96	411.52	487.19
R10	92.42	199.27	276.23	340.95	411.52	487.19
S38	0.17	1.57	2.68	3.63	4.68	5.8
S88	0.13	0.53	0.83	1.08	1.34	1.63
J45	92.54	199.78	277.05	342.12	413.01	489.08
R47	92.55	199.77	277.06	342.1	412.96	489.03
S89	0.27	1.65	2.78	3.73	4.78	5.94
J50	92.74	200.06	277.43	342.54	413.52	489.71
R48	92.73	200.03	277.41	342.53	413.49	489.66
S31	0.15	1.7	2.95	4.06	5.27	6.6
S90	0.33	1.24	1.98	2.63	3.35	4.13

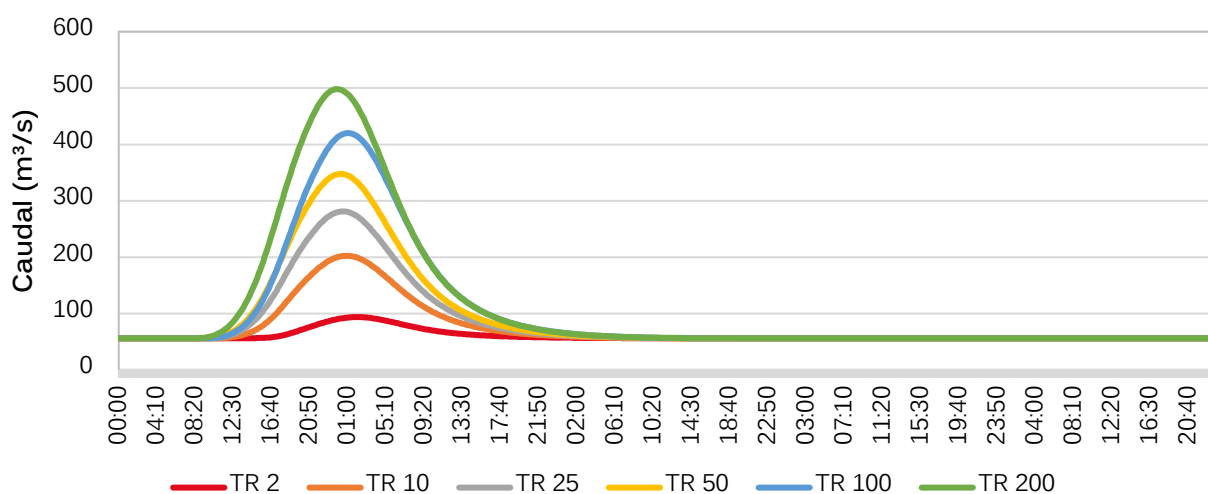
Elemento Hidrológico	Caudal (m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
J9	93.04	200.9	278.77	344.31	415.79	492.55
R9	93.04	200.9	278.77	344.32	415.78	492.53
S33	0	1.37	3	4.56	6.36	8.37
J41	0	1.37	3	4.56	6.36	8.37
R41	0	1.37	3	4.56	6.36	8.36
S53	0.15	0.78	1.34	1.85	2.42	3.04
S91	0.08	0.27	0.55	0.83	1.14	1.49
J51	93.26	201.81	280.51	346.79	419.24	497.09
R49	93.26	201.81	280.5	346.82	419.22	497.04
S92	0.42	0.97	1.67	2.33	3.1	3.98
J52	93.68	202.32	281.14	347.56	420.1	498.1
R50	93.67	202.29	281.09	347.49	420.07	498.05
S93	0.02	0.05	0.1	0.14	0.19	0.24
Rio Huaura-Sayan	93.69	202.32	281.11	347.51	420.09	498.08
Rio Chico	12.42	43.78	67.87	88.6	111.3	135.83
J8	103.55	231.75	326.16	406.26	494.63	589.32
R8	103.55	231.75	326.17	406.24	494.64	589.32
S94	0.68	1.03	1.76	2.53	3.48	4.56
S43	0	0.52	1.13	1.7	2.36	3.11
J7	104.23	232.67	327.46	407.92	496.75	591.94
R7	104.23	232.68	327.46	407.92	496.74	591.95
S27	0.82	5.38	8.81	11.85	15.18	18.85
S39	0.98	3.43	5.04	6.38	7.82	9.35
J38	1.77	8.77	13.81	18.18	22.96	28.13
R38	1.77	8.77	13.81	18.17	22.95	28.14
S56	0.17	1.46	2.48	3.39	4.41	5.53
Qda Chambara	1.86	9.68	15.41	20.41	25.94	31.92
S95	1.7	2.48	4.05	5.73	7.68	10.04
J6	106.42	237.57	334.74	417.47	508.81	606.97
R6	106.42	237.57	334.75	417.48	508.81	606.94
S96	0.55	0.59	0.87	1.24	1.72	2.34
S45	0	0	0	0.04	0.17	0.4
J5	106.96	238.13	335.36	418.17	509.61	607.9
R5	106.97	238.13	335.36	418.15	509.63	607.91
S97	0.44	0.44	0.44	0.48	0.65	0.95
S42	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.44
J4	107.8	238.96	336.19	418.98	510.48	608.79
R4	107.8	238.96	336.19	419	510.46	608.79
S37	0	0	0	0	0.1	0.41

Elemento Hidrológico	Caudal (m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
S98	0.65	0.65	0.65	0.65	0.76	1.02
J3	108.45	239.61	336.84	419.65	511.17	609.65
R3	108.45	239.6	336.83	419.66	511.16	609.67
S26	0	0	0	0	0	0.02
S99	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
J2	108.49	239.64	336.87	419.7	511.2	609.72
R2	108.49	239.65	336.88	419.68	511.22	609.72
S34	0	0	0	0	0.01	0.13
S100	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
J1	108.65	239.81	337.04	419.84	511.39	609.92
R1	108.65	239.8	337.03	419.85	511.37	609.92
S101	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Sink-1	108.94	240.1	337.32	420.15	511.66	610.22

5.2.4.1 Estación Sayán

En la siguiente ilustración se presentan los caudales picos para diferentes periodos de retorno, así como sus respectivos hidrogramas, en la estación hidrométrica HLG-Sayán, estos resultados representan los caudales máximos instantáneos en dicho punto de interés obtenidos a partir de la modelación hidrológica con el software HEC-HMS.

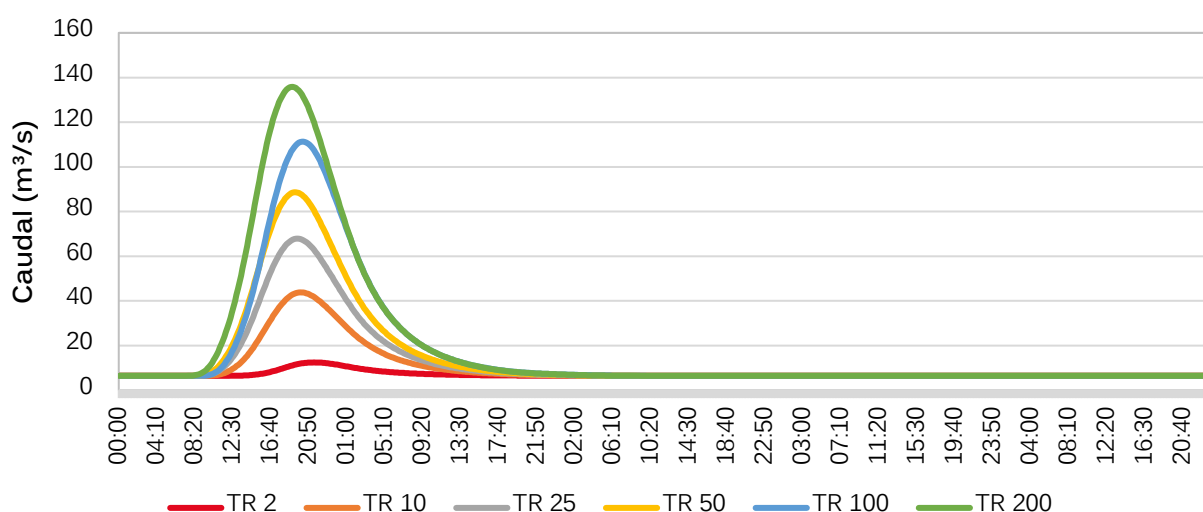
**Ilustración 81: Hidrogramas en la estación HLG-Sayán
(TYP SA, 2021)**



5.2.4.2 Río Chico

En la siguiente ilustración se presentan los caudales picos para diferentes periodos de retorno, así como sus respectivos hidrogramas, para la subcuenca del río Chico, estos resultados representan los caudales máximos instantáneos en dicho punto de interés obtenidos a partir de la modelación hidrológica con el software HEC-HMS.

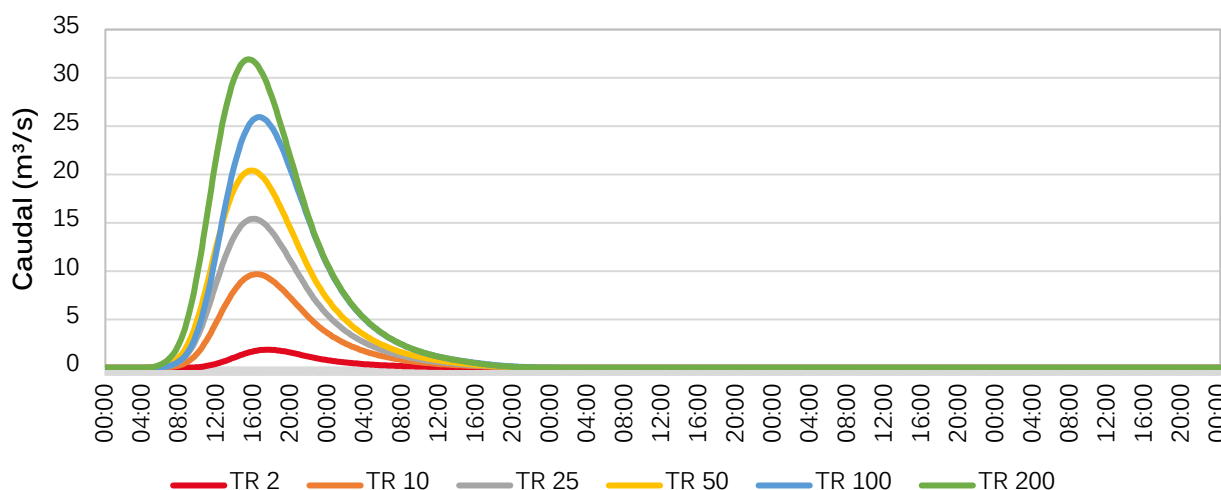
Ilustración 82: Hidrogramas para la subcuenca del río Chico
(TYP SA, 2021)



5.2.4.3 Quebrada Chambara

En la siguiente ilustración se presentan los caudales picos para diferentes periodos de retorno, así como sus respectivos hidrogramas, para la quebrada Chambara, estos resultados representan los caudales máximos instantáneos en dicho punto de interés obtenidos a partir de la modelación hidrológica con el software HEC-HMS.

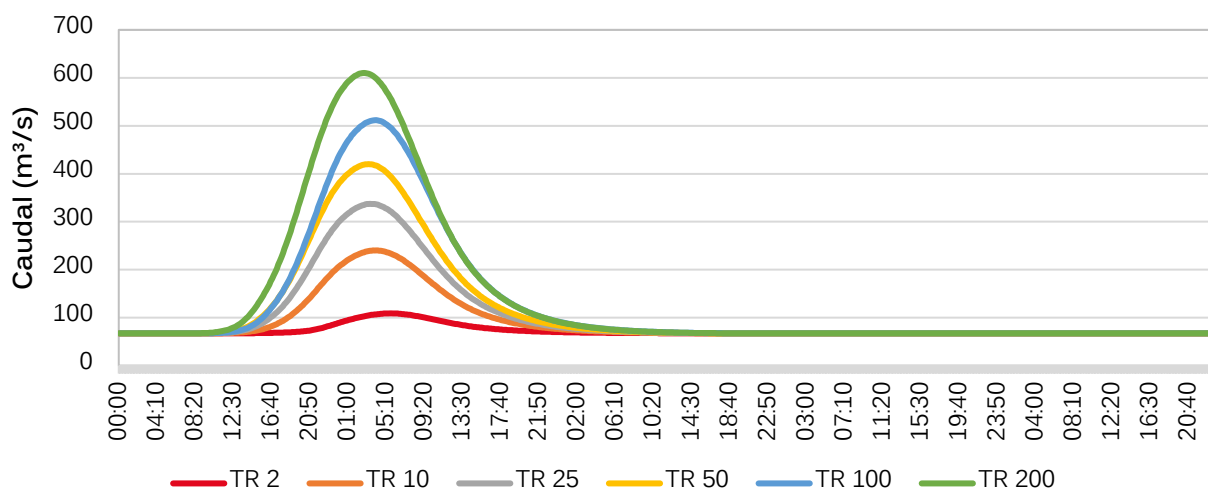
Ilustración 83: Hidrogramas para la quebrada Chambara
(TYP SA, 2021)



5.2.4.4 Desembocadura

En la siguiente ilustración se presentan los caudales picos para diferentes periodos de retorno, así como sus respectivos hidrogramas, para la desembocadura del río Huaura, estos resultados representan los caudales máximos instantáneos en dicho punto de interés obtenidos a partir de la modelación hidrológica con el software HEC-HMS.

**Ilustración 84: Hidrogramas en la desembocadura del río Huaura
(TYPSA, 2021)**



5.2.5 Caudales asociados a diferentes periodos de retorno con cambio climático

Para el cálculo de caudales con cambio climático se usa el modelo hidrológico descrito en ítems anteriores con la diferencia que en este modelo la variable de precipitación esta mayorada con el factor de cambio climático descrito en el ítem 4.2.2.

Tabla 73: Resumen global de los caudales del modelo hidrológico incluyendo cambio climático

**RCP8.5 D1
(TYPSA, 2021)**

Elemento Hidrológico	RCP8.5 D1 (Caudal m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
S41	2.69	7.51	10.69	13.33	16.13	19.05
S36	0.77	3.12	4.72	6.04	7.47	8.94
J44	3.46	10.62	15.4	19.36	23.59	27.98
R44	3.46	10.62	15.41	19.36	23.59	27.98
S102	2.85	9.43	13.75	17.31	21.06	25.07
J34	6.27	19.91	28.97	36.43	44.38	52.74
R34	6.27	19.91	28.98	36.44	44.38	52.74
J36	1.85	8.62	13.77	18.19	23.04	28.23

Elemento Hidrológico	RCP8.5 D1 (Caudal m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
R36	1.85	8.62	13.77	18.19	23.04	28.23
S60	5.97	17.1	24.55	30.74	37.32	44.2
S58	0.54	1.9	2.82	3.6	4.43	5.29
J26	14.5	47.01	69.42	88.08	108.12	129.24
R26	14.5	47.01	69.41	88.07	108.12	129.25
S47	1.19	5.43	8.37	10.84	13.47	16.29
S70	1.95	5.96	8.67	10.92	13.36	15.86
J22	17.09	56.4	83.41	106.03	130.22	155.88
R22	17.09	56.39	83.42	106.03	130.24	155.88
S49	0.45	3.21	5.3	7.1	9.06	11.15
S74	0.48	1.7	2.78	3.74	4.79	5.97
J19	17.91	60.26	89.69	114.44	141.01	169.21
R19	17.91	60.27	89.69	114.46	141.01	169.19
S77	0.66	2.45	3.86	5.08	6.43	7.88
S46	0.05	1.17	2.18	3.08	4.08	5.18
J17	18.52	62.83	93.86	120.07	148.3	178.24
R17	18.52	62.84	93.88	120.07	148.3	178.27
S8	1.13	3.85	5.96	7.8	9.81	11.98
S16	0.73	4.85	7.92	10.53	13.39	16.43
S79	0.74	2.46	3.94	5.24	6.7	8.31
S1	3.86	9.37	12.8	15.55	18.49	21.56
S2	1.12	3.36	4.95	6.28	0.56	9.35
J39	4.98	12.73	17.75	21.81	19.05	30.91
R39	4.98	12.73	17.76	21.82	19.05	30.9
S4	1.63	4.39	6.23	7.7	9.32	11.03
S55	24.91	26.83	27.99	28.89	29.86	30.87
J33	31.24	43.23	51.01	57.3	57.07	71.33
R33	31.24	43.23	51.01	57.29	57.07	71.33
S3	5.52	12.99	17.68	21.44	25.49	29.66
S61	1.07	2.9	4.98	6.34	7.79	9.3
J30	37.71	58.7	73.52	84.87	90.08	110.01
R30	37.71	58.7	73.52	84.87	90.08	110.01
S5	2.62	5.48	7.16	8.42	9.8	11.23
S65	0.15	0.47	0.69	0.87	1.07	1.29
J29	39.8	63.25	79.5	91.94	98.52	119.55
R29	39.81	63.25	79.49	91.95	98.52	119.55
S12	4.42	10.66	14.48	17.54	20.8	24.21
S6	1.75	4.66	6.82	8.63	10.69	12.88
J37	6.11	15.24	21.2	26.06	31.37	36.97

Elemento Hidrológico	RCP8.5 D1 (Caudal m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
R37	6.11	15.24	21.2	26.06	31.37	36.97
S57	1.41	3.51	4.89	5.96	7.16	8.41
S66	2.34	4.51	5.76	6.72	7.73	8.8
J28	48.3	83.79	107.82	126.54	140.09	168.41
R28	48.3	83.78	107.81	126.55	140.09	168.42
S7	2.19	5.68	7.94	9.81	11.79	13.88
S68	0.52	1.48	2.25	2.9	3.66	4.48
J25	50.52	89.44	115.76	136.4	152.29	182.75
R25	50.52	89.42	115.73	136.39	152.26	182.73
S71	1.2	3.48	5.14	6.55	8.13	9.81
S9	3.32	8.22	11.28	13.75	16.38	19.12
J21	54.38	99.22	129.39	153.3	172.94	206.86
R21	54.38	99.22	129.38	153.29	172.96	206.85
S13	6.37	13.69	18.09	21.54	25.18	28.93
S75	1.17	3.51	5.1	6.46	7.89	9.43
J18	61.55	115.02	150.44	178.63	202.97	241.35
R18	61.55	115.02	150.44	178.64	202.96	241.34
S11	2.2	6.73	10.02	12.9	15.97	19.25
S78	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
J47	63.64	120.96	159.13	189.83	216.93	257.96
R52	63.63	120.95	159.12	189.83	216.91	257.94
S80	0.14	0.37	0.52	0.66	0.81	0.96
J48	63.66	120.99	159.17	189.88	216.97	258
R45	63.66	120.99	159.16	189.88	216.97	258
S28	1.48	4.46	6.47	8.12	9.88	11.76
S22	4.39	8.98	11.63	13.73	15.87	18.06
J43	5.75	13.24	17.85	21.59	25.46	29.5
R43	5.75	13.24	17.85	21.59	25.45	29.5
S19	1.77	5.05	7.38	9.32	11.45	13.73
S51	1.98	5.27	7.45	9.25	11.18	13.19
J32	9.45	23.47	32.58	40	47.91	56.21
R32	9.45	23.48	32.58	40.01	47.91	56.21
S17	2.7	8.38	12.18	15.35	18.73	22.35
S62	2.17	4.74	6.3	7.54	8.82	10.15
J46	14.13	36.24	50.6	62.36	74.83	88
R51	14.14	36.24	50.59	62.36	74.85	87.99
S63	4.14	10.36	14.3	17.47	20.84	24.35
J49	17.9	45.47	63.32	77.97	93.49	109.81
R46	17.9	45.46	63.32	77.96	93.47	109.82

Elemento Hidrológico	RCP8.5 D1 (Caudal m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
S25	5.86	11.82	15.28	18.03	20.85	23.72
S29	0.94	3.51	5.39	7	8.73	10.6
J40	6.77	15.32	20.66	25.02	29.57	34.32
R40	6.77	15.32	20.66	25.02	29.57	34.32
S54	0.57	1.69	2.4	2.98	3.6	4.23
S67	0.46	1.04	1.41	1.69	1.99	2.33
J27	25.19	62.2	85.99	105.47	126.09	147.74
R27	25.19	62.2	86	105.48	126.09	147.73
S24	1.58	5.38	7.87	9.91	12.14	14.43
S69	1.04	3.23	4.9	6.36	7.94	9.64
J24	27.53	69.65	97.03	119.48	143.37	168.5
R24	27.53	69.64	97.03	119.48	143.37	168.48
S72	7.47	16.11	21.23	25.07	29.22	33.52
S20	1.75	4.94	6.89	8.46	10.12	11.83
J23	32.56	81.32	112.89	138.67	166.14	194.84
R23	32.56	81.32	112.89	138.67	166.15	194.84
S18	3.58	9.37	13.22	16.33	19.7	23.27
S73	1.42	3.25	4.33	5.17	6.13	7.1
J20	36.23	90.32	125.37	154.17	184.74	216.87
R20	36.23	90.33	125.38	154.18	184.72	216.86
S76	5.59	13.84	18.87	22.95	27.2	31.67
S81	0.44	1.56	2.36	3.05	3.78	4.58
J16	103.69	220.1	296.58	358.8	418.76	495.34
R16	103.69	220.09	296.59	358.79	418.75	495.28
S82	0.94	2.28	3.87	5.35	7.09	9.01
S10	5.17	15.73	23.3	29.63	36.66	44.06
J15	109.32	235	318.5	386.63	453.71	537.36
R15	109.32	235	318.51	386.61	453.73	537.36
S23	4.07	13.11	19.4	24.57	30.22	36.21
S83	0.14	0.16	0.3	0.46	0.67	0.91
J14	112.9	245.31	333.6	405.79	477.46	565.61
R14	112.9	245.3	333.62	405.82	477.46	565.6
S21	0.29	3.07	5.29	7.21	9.33	11.6
S84	0.7	2.47	3.7	4.71	5.81	6.98
J13	113.34	246.97	336.29	409.38	482.1	571.26
R13	113.33	246.95	336.3	409.38	482.13	571.21
S30	0.85	5.09	8.23	10.85	13.73	16.81
S85	1.67	5.96	9.06	11.59	14.37	17.25
J12	115.04	253.29	346.18	422.21	498.54	591.11

Elemento Hidrológico	RCP8.5 D1 (Caudal m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
R12	115.03	253.3	346.16	422.19	498.56	591.13
S14	2.72	9.09	13.35	16.89	20.64	24.6
S15	0.78	3.91	6.48	8.69	11.2	13.91
J35	3.48	12.97	19.79	25.53	31.8	38.45
R35	3.48	12.97	19.78	25.53	31.8	38.45
S59	2.93	9.47	14.28	18.42	22.91	27.75
S86	1.07	3.47	5.09	6.43	7.87	9.38
J11	120.3	268.73	369.28	451.92	536.16	636.24
R11	120.3	268.74	369.26	451.9	536.16	636.22
S40	1.64	5.24	7.61	9.54	11.6	13.78
S87	0.58	2.3	3.5	4.47	5.55	6.7
J10	121.45	272.34	374.57	458.73	544.7	646.43
R10	121.45	272.35	374.57	458.73	544.69	646.43
S38	0.44	2.5	3.98	5.23	6.59	8.01
S88	0.22	0.78	1.17	1.48	1.82	2.18
J45	121.65	273.14	375.83	460.37	546.88	649.02
R47	121.65	273.14	375.8	460.36	546.83	649
S89	0.52	2.57	4.08	5.33	6.71	8.15
J50	121.85	273.49	376.29	460.95	547.56	649.87
R48	121.85	273.46	376.24	460.89	547.56	649.79
S31	0.44	2.74	4.45	5.89	7.47	9.17
S90	0.5	1.86	2.85	3.71	4.63	5.6
J9	122.27	274.74	378.22	463.44	550.81	653.81
R9	122.27	274.73	378.2	463.43	550.83	653.79
S33	0.09	2.69	5.09	7.24	9.68	12.36
J41	0.09	2.69	5.09	7.24	9.68	12.36
R41	0.09	2.69	5.09	7.24	9.68	12.36
S53	0.25	1.25	2.03	2.7	3.46	4.24
S91	0.08	0.5	0.92	1.3	1.74	2.21
J51	122.54	276.33	381	467.3	556.12	660.37
R49	122.53	276.31	380.97	467.28	556.11	660.36
S92	0.45	1.53	2.55	3.47	4.52	5.67
J52	122.96	276.92	381.76	468.24	557.25	661.72
R50	122.95	276.9	381.73	468.16	557.19	661.58
S93	0.02	0.09	0.15	0.21	0.28	0.35
Rio Huaura-Sayan	122.97	276.92	381.75	468.19	557.22	661.61
Rio Chico	19.23	64.85	96.94	124.18	153.53	184.74
J8	136.83	319.97	445.96	550.67	661.14	785.57
R8	136.83	319.96	445.98	550.68	661.16	785.55

Elemento Hidrológico	RCP8.5 D1 (Caudal m3/s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
S94	0.68	1.6	2.77	3.91	5.22	6.72
S43	0.04	1	1.87	2.65	3.54	4.52
J7	137.53	321.16	447.75	552.97	664.14	789.16
R7	137.53	321.18	447.72	552.97	664.12	789.2
S27	1.71	8.09	12.66	16.53	20.76	25.38
S39	1.55	4.72	6.76	8.4	10.14	11.99
J38	3.23	12.77	19.37	24.88	30.84	37.31
R38	3.23	12.77	19.37	24.88	30.84	37.31
S56	0.41	2.23	3.56	4.74	6.02	7.46
Qda Chambara	3.47	14.18	21.73	28.1	34.97	42.54
S95	1.7	3.63	6.08	8.43	11.26	14.44
J6	140.18	327.95	457.74	566.04	680.79	809.38
R6	140.18	327.93	457.76	566.02	680.77	809.38
S96	0.55	0.77	1.27	1.86	2.58	3.44
S45	0	0	0.05	0.2	0.46	0.84
J5	140.73	328.52	458.45	566.85	681.8	810.65
R5	140.73	328.54	458.44	566.88	681.83	810.61
S97	0.44	0.44	0.48	0.67	1	1.48
S42	0.39	0.39	0.39	0.39	0.47	0.64
J4	141.56	329.37	459.27	567.73	682.72	811.58
R4	141.56	329.35	459.29	567.7	682.7	811.62
S37	0	0	0	0.11	0.46	1.03
S98	0.65	0.65	0.65	0.75	1.02	1.5
J3	142.21	330.01	459.94	568.41	683.58	812.78
R3	142.2	330.02	459.94	568.42	683.58	812.78
S26	0	0	0	0	0.04	0.34
S99	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07
J2	142.24	330.06	459.98	568.46	683.64	812.97
R2	142.25	330.07	459.95	568.48	683.67	812.94
S34	0	0	0	0	0.09	0.37
S100	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
J1	142.41	330.23	460.11	568.64	683.86	813.21
R1	142.41	330.23	460.13	568.63	683.84	813.24
S101	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Sink-1	142.7	330.52	460.42	568.92	684.13	813.53

Con la variación de precipitaciones extremas indicadas en el ítem 4.2.2. se obtiene lo siguientes caudales para un periodo de retorno de 2 años para la estación Sayán:

- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 111.56 m³/s.
- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 120.17 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 122.97 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 150.28 m³/s

Con la variación de precipitaciones extremas indicadas en el ítem 4.2.2. se obtiene lo siguientes caudales para un periodo de retorno de 10 años para la estación Sayán:

- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 249.18 m³/s.
- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 270.52 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 276.92 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 340.27 m³/s

Con la variación de precipitaciones extremas indicadas en el ítem 4.2.2. se obtiene lo siguientes caudales para un periodo de retorno de 25 años para la estación Sayán:

- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 344.66 m³/s.
- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 373.58 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 381.75 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 465.63 m³/s

Con la variación de precipitaciones extremas indicadas en el ítem 4.2.2. se obtiene lo siguientes caudales para un periodo de retorno de 50 años para la estación Sayán:

- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 423.96 m³/s.
- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 458.29 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 468.19 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 567.90 m³/s

Con la variación de precipitaciones extremas indicadas en el ítem 4.2.2. se obtiene lo siguientes caudales para un periodo de retorno de 100 años para la estación Sayán:

- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 510.49 m³/s.
- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 550.54 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 557.22 m³/s.

- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 678.28 m³/s

Con la variación de precipitaciones extremas indicadas en el ítem 4.2.2. se obtiene lo siguientes caudales para un periodo de retorno de 200 años para la estación Sayán:

- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 602.22 m³/s.
- Escenario RCP 4.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 648.14 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2025 y 2065: 661.61 m³/s.
- Escenario RCP 8.5 para el periodo comprendido entre los años 2060 y 2100: 793.98 m³/s

El caudal máximo (Tr = 100 años) en la estación Sayán para los años comprendidos entre 2025 y 2065 tiene una variación de 21.52% para un escenario RCP 4.5 y de 32.64% para un escenario RCP 8.5.

Para un periodo entre los años 2060 y 2100 el caudal máximo (Tr = 100 años) en la estación Sayán tiene una variación de 31.05 % para un escenario RCP 4.5 y de 61.46% para un escenario RCP 8.5.

En las siguientes tablas se muestran los caudales con cambio climático y su variación porcentual del caudal para cada periodo de retorno y escenario en los puntos de interés.

Tabla 74: Caudales con cambio climático – HLG Sayán
(TYPESA, 2021)

TR	Caudal sin cambio climático (m ³ /s)	Caudal con cambio climático(m ³ /s)				Variación (%)			
		RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5
		2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100
2	93.7	111.56	120.17	122.97	150.28	19.06	28.25	31.24	60.38
10	202.3	249.18	270.52	276.92	340.27	23.17	33.72	36.89	68.20
25	281.1	344.66	373.58	381.75	465.63	22.61	32.90	35.81	65.65
50	347.6	423.96	458.29	468.19	567.90	21.97	31.84	34.69	63.38
100	420.1	510.49	550.54	557.22	678.28	21.52	31.05	32.64	61.46
200	498.1	602.22	648.14	661.61	793.98	20.90	30.12	32.83	59.40

Tabla 75: Caudales con cambio climático - Río Chico
(TYPESA, 2021)

TR	Caudal sin cambio climático (m3/s)	Caudal con cambio climático(m3/s)				Variación (%)			
		RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5
		2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100
2	12.4	16.55	18.61	19.23	26.04	33.47	50.08	55.08	110.00
10	43.8	56.97	62.95	64.85	82.80	30.07	43.72	48.06	89.04
25	67.9	86.29	94.38	96.94	121.43	27.08	39.00	42.77	78.84
50	88.6	111.11	121.02	124.18	153.64	25.41	36.59	40.16	73.41
100	111.3	138.14	149.87	153.53	188.07	24.12	34.65	37.94	68.98
200	135.8	167.02	180.63	184.74	224.59	22.99	33.01	36.04	65.38

Tabla 76: Caudales con cambio climático – Quebrada Chambará
(TYPESA, 2021)

TR	Caudal sin cambio climático (m3/s)	Caudal con cambio climático(m3/s)				Variación (%)			
		RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5
		2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100
2	1.9	2.86	3.33	3.47	4.97	50.53	75.26	82.63	161.58
10	9.7	12.56	13.83	14.18	18.11	29.48	42.58	46.19	86.70
25	15.4	19.45	21.19	21.73	26.99	26.30	37.60	41.10	75.26
50	20.4	25.37	27.44	28.10	34.46	24.36	34.51	37.75	68.92
100	25.9	31.76	34.27	34.97	42.50	22.63	32.32	35.02	64.09
200	31.9	38.71	41.60	42.54	51.09	21.35	30.41	33.35	60.16

Tabla 77: Caudales con cambio climático – Desembocadura
(TYPESA, 2021)

TR	Caudal sin cambio climático (m3/s)	Caudal con cambio climático(m3/s)				Variación (%)			
		RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 8.5
		2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100	2025-2065	2060-2100
2	108.9	129.43	139.32	142.70	174.42	18.85	27.93	31.04	60.17
10	240.1	296.99	322.63	330.52	407.54	23.69	34.37	37.66	69.74
25	337.3	415.20	450.32	460.42	563.53	23.10	33.51	36.50	67.07
50	420.2	514.58	556.86	568.92	692.01	22.46	32.52	35.39	64.69
100	511.7	623.50	673.18	684.13	831.40	21.85	31.56	33.70	62.48
200	610.2	739.71	796.89	813.53	978.59	21.22	30.59	33.32	60.37

El caudal utilizado para el modelamiento hidráulico es el que incluye cambio climático con escenario RCP8.5 y en el primer periodo (2025-2065).

Tabla 78: Caudal RCP 8.5 periodo 2025-2065 utilizado en el modelamiento hidráulico (Fuentes) y puntos de interés del modelamiento hidrológico.
(TYPSA, 2021)

Puntos de Interés y Fuentes	Caudal(m ³ /s)					
	TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
HLG Sayán	122.96	276.92	381.76	468.24	557.25	661.72
Río Chico	19.23	64.85	96.94	124.18	153.53	184.74
Quebrada Chambara	3.47	14.18	21.73	28.10	34.97	42.54
S94-S43 (Fuente)	0.72	2.60	4.63	6.55	8.74	11.22
S95 (Fuente)	1.70	3.63	6.08	8.43	11.26	14.44
S96-S45 (Fuente)	0.55	0.77	1.32	2.06	3.04	4.28
S97-S42-S98 (Fuente)	1.48	1.48	1.52	1.80	2.46	3.57
S37-S99-S26-S100-S34 (Fuente)	0.20	0.20	0.20	0.31	0.79	1.92
S101 (Fuente)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Desembocadura	142.70	330.52	460.42	568.92	684.13	813.53

A continuación, se mostrarán algunos hidrogramas representativos utilizados en el modelamiento hidráulico.

Ilustración 85: Hidrograma S94-S43 utilizado en el modelamiento hidráulico
(TYPSA, 2021)

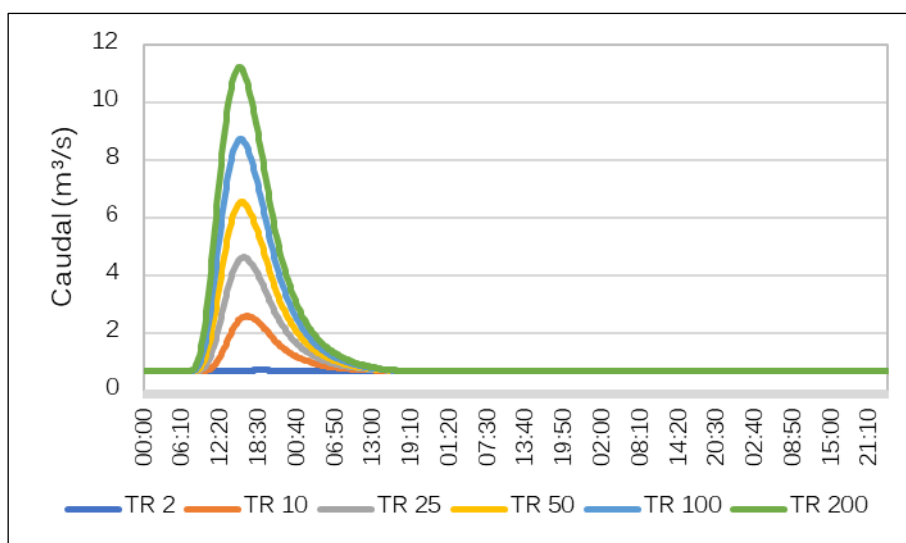


Ilustración 86: Hidrograma S96-S45 utilizado en el modelamiento hidráulico
(TYP SA, 2021)

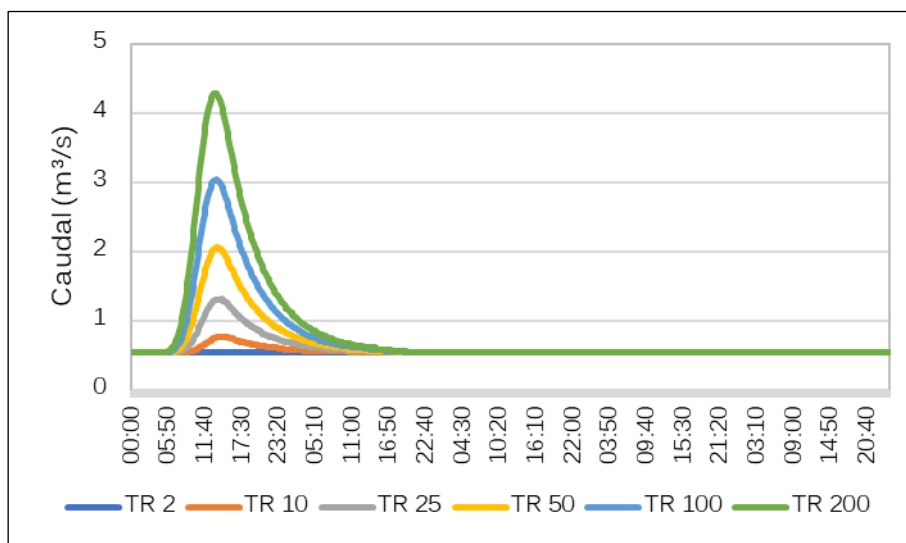
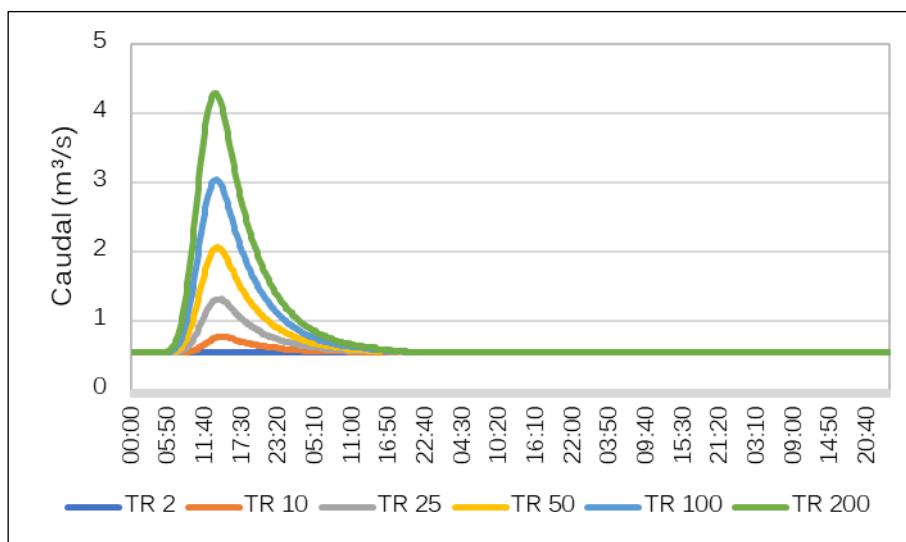


Ilustración 87: Hidrograma S37-S99-S26-S100-S34 utilizado en el modelamiento hidráulico
(TYP SA, 2021)



5.2.6 Selección de periodo de retorno y caudal de diseño

De acuerdo con la discretización realizada en el esquema de modelamiento hidrológico del río Huaura, se tomó como punto de interés el caudal asociado al elemento hidrológico más próximo del tramo donde se proyectan las obras del Paquete 4A, siendo este el elemento hidrológico J1 y del Paquete 4B el elemento hidrológico “*Río Huaura-Sayan*”, “*Río Chico*”.

El caudal e hidrograma de este elemento sirve solo de referencia para conocer el orden de magnitud en primera instancia, pudiendo este sufrir variaciones de hasta un $\pm 30\%$ respecto al caudal pico del hidrograma obtenido del modelamiento hidráulico con proyecto de la fase RIBA 3 (Modelo 7).

Ilustración 88: Esquema de punto de interés hidrológico del Paquete 4A
(TYPSA, 2021)

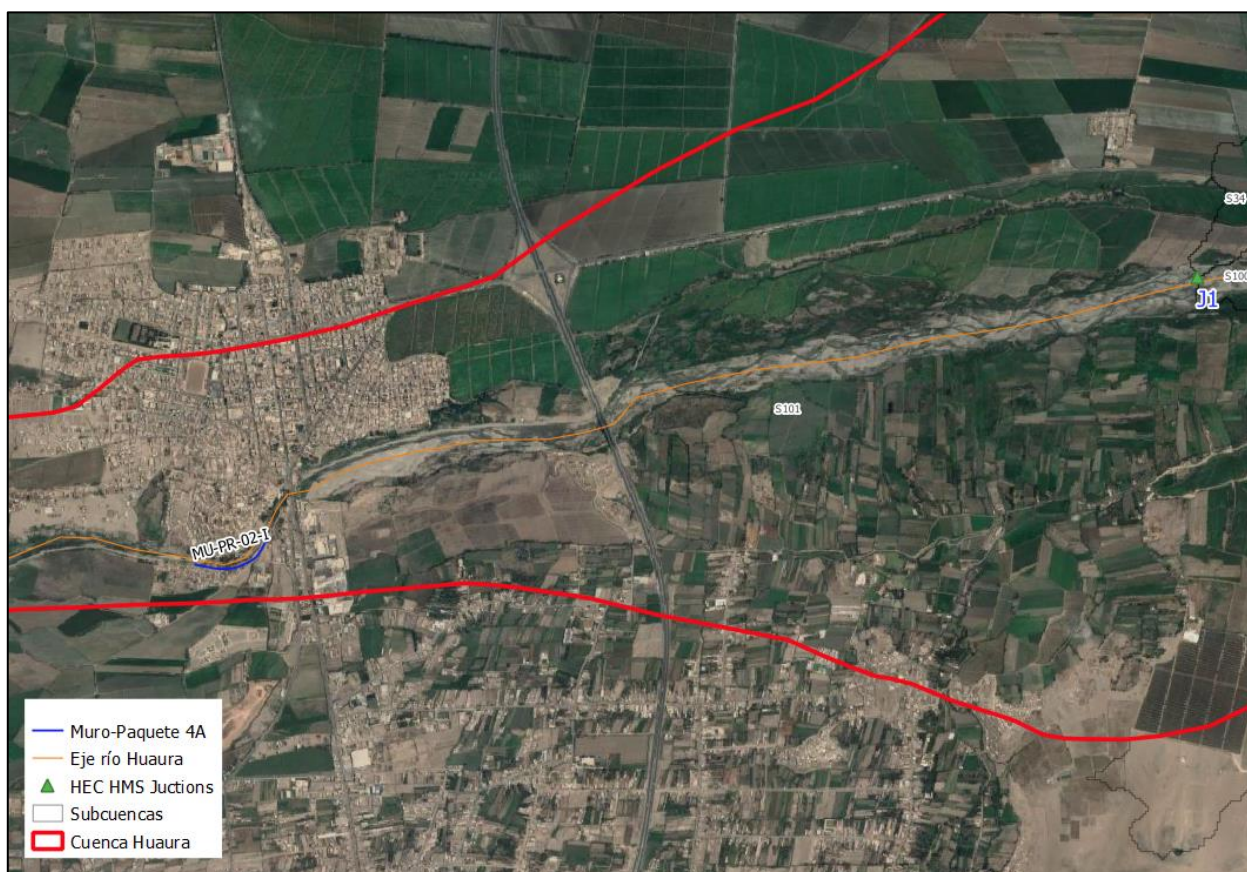
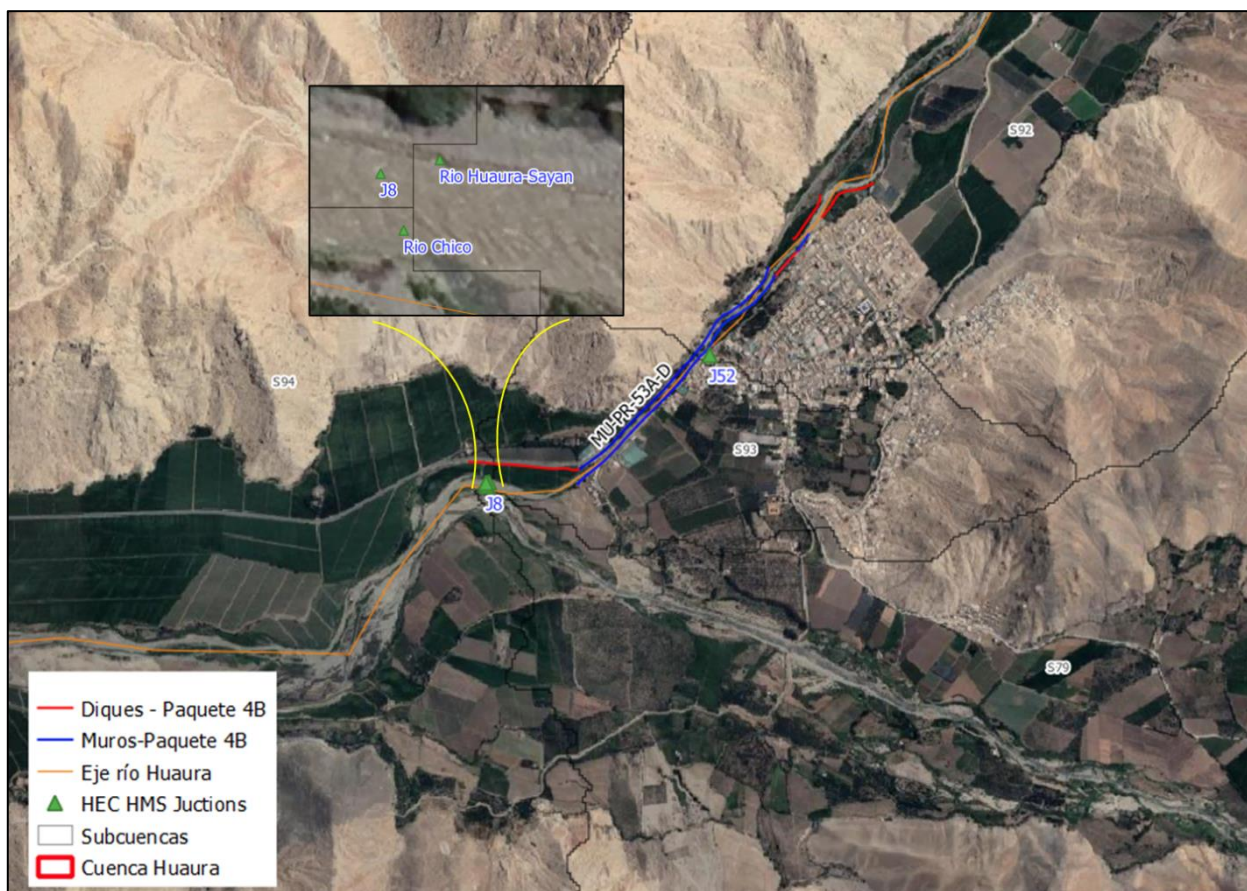


Ilustración 89: Esquema de punto de interés hidrológico del Paquete 4B
(TYPESA, 2021)



Como se ha indicado en el capítulo 1 del presente informe, una vez finalizado todo el proceso establecido en la fase RIBA 3 (SCBA), se concluyó que el hidrograma y caudal de diseño óptimo es el asociado al periodo de retorno de 100 años, y tal como se indica en las Notas Técnicas se consideró el escenario futuro cercano del RCP 8.5.

6 SEDIMENTOS

6.1 MODELO RUSLE

La metodología utilizada para estimar la pérdida de suelo está basada en el modelo de la "Universal Soil Loss Equation", USLE, presentada en sus inicios por Wischmeier y Smith en el año 1962 y publicada posteriormente en su forma definitiva en el Manual 534 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Wischmeier & Smith, 1978). Este modelo tiene su versión modificada "Revised Universal Soil Loss Equation" (RUSLE), de Renard y Foster 1989. Esta metodología tuvo buena aceptación en América y en países con problemas de erosión. EL Modelo matemático del RUSLE, utilizado por Renard se indica en la siguiente ecuación.

$$E = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

E: es el cálculo del promedio espacial y temporal de la pérdida de suelo por unidad de área (ton/ha/año) expresadas en las unidades seleccionadas para el factor K y para el periodo seleccionado del factor R.

R: es el factor de erosividad (MJ.mm/ha/año) de lluvia.

K: factor de erodabilidad (ton.ha.h/ha/MJ/mm) del suelo, es la tasa de pérdida de suelo por unidad del índice de erosión para un suelo determinado.

Los demás factores son considerados fijos y no tienen dimensiones:

LS: el factor L de longitud de pendiente, el cual nos da la proporción de pérdida de suelo de la longitud de pendiente de la zona de estudio y el factor S que nos dice que tan escarpado se encuentra la pendiente, mide la relación de pérdida de suelo de la inclinación de la pendiente en la zona de estudio. En la ecuación se considera el factor **LS** como el factor topográfico que resulta de la multiplicación de los factores de L y S (Pan & Wen, 2014).

C: el factor de cobertura vegetal de las relaciones de la pérdida de suelo de un área con cobertura y la gestión de pérdida de suelo específico.

P: el factor de prácticas de conservación o prácticas de apoyo de la pérdida de suelo con una práctica de apoyo, como el de contorno o pérdida de suelo de terrazas.

En función al RUSLE se estima las pérdidas de suelo anuales, como valor promedio de un periodo representativo de años, que se producen en la superficie del terreno debido a la erosión superficial, laminar y en regueros, ante variables que determinan condiciones de clima, suelo, relieve, vegetación y uso de suelo.

La hipótesis de partida del modelo RUSLE se centra en considerar a las precipitaciones como el principal agente activo de esta erosión superficial.

6.1.1 Estimación de los factores de erosión hídrica

6.1.1.1 Factor de erosividad (R)

El factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo (Wischmeier & Smith, 1978). En la forma original de RUSLE el factor R se calcula como la suma promedio anual de la erosividad de las tormentas individuales, que se calcula como el producto de la energía total de la tormenta y la intensidad máxima de 30 minutos de duración (Wischmeier y Smith, 1958). A nivel nacional no contamos con registros de intensidad de lluvia (mm/h) para la aplicación del método; por lo que se optó en utilizar la ecuación modificada de Fournier (ICONA, 1988)

$$R = 2.56 \times F^{1.065}$$

Donde:

F: índice de Fournier modificado

$$F = \frac{1}{n} \sum \frac{p_i^2}{pt}$$

Donde:

n: es el número de años de la serie de precipitación

pi: precipitación del mes más lluvioso del año i (mm)

pt: precipitación total anual del año i (mm)

6.1.1.2 Factor de erodabilidad (K)

Es una medida empírica que expresa la susceptibilidad inherente del suelo a la erosión del agua y está determinada por las propiedades intrínsecas del suelo. El factor K se califica en una escala de 0 a 1, donde 0 indica suelos con menor susceptibilidad a la erosión y al mismo tiempo, 1 indica suelos que son altamente susceptibles a la erosión por el agua.

La ecuación utilizada por Wischmeier y Smith considera la humedad y el estado de la superficie del suelo en el momento de las lluvias, teniendo un rango de variación estacional a lo largo del año. Experimentalmente se comprueba que los suelos más erosionables corresponden a texturas intermedias (fracción de limos más abundante), considerando que los suelos con un porcentaje de arcillas superior al 30% son poco erosionables (González del Tánago, 1991).

Las propiedades del suelo también están influenciadas por su textura, la cual también va a definir su erodabilidad. Existen varios métodos para estimar el factor K; Wischmeier & Smith, 1978 proponen una ecuación para determinar su valor, donde se incluyen los siguientes factores: porcentaje de limo + arena fina (partículas de 0.002 a 0.1 mm de diámetro); porcentaje de arena (partículas de 0.1 a 2.0 mm); contenido de materia orgánica (%); estructura y permeabilidad (Loredo Osti et al., 2007). Cuando no se cuente con los datos necesarios de suelos para utilizar el nomograma, la Food and Agriculture Organization of the United

Nations (FAO) propone un método sencillo para estimar el Factor K (FAO, 1980), donde se utiliza la unidad de clasificación del suelo FAO/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) y la textura.

Ilustración 90: Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas

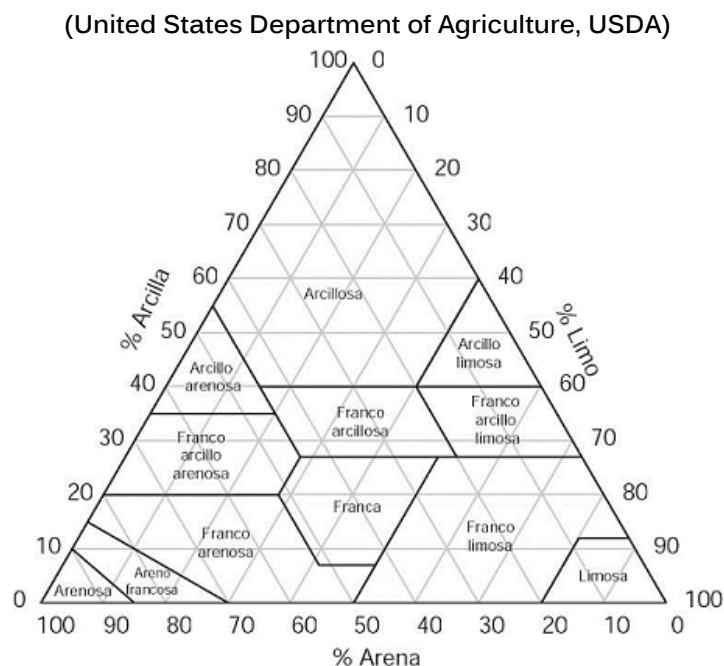


Tabla 79: Clasificación textural de suelos en base a los porcentajes de arena, limo y arcilla (SENAMHI, 2017)

Nombres de los suelos (textura general)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	N°	Textura
Suelos francos (textura moderadamente fina)	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	1	Fina
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	2	
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	3	
Suelos arcillosos (textura fina)	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	4	
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso limoso	5	
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	6	
Suelos francos (textura mediana)	0-20	88-100	0-12	Limoso	7	Media
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	8	
	23-52	28-50	7-27	Franco	9	
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso	10	Gruesa
	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	11	
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	70-86	0-30	0-15	Arenoso Franco	12	

Tabla 80: Valores del factor de Erodabilidad (factor K) de acuerdo con la taxonomía y la textura del suelo

(SENAMHI, 2017)

Unidades de suelo de acuerdo con la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)			TEXTURA		
ID	COD	NOMBRE	GRUESO	MEDIA	FINA
1	AC	ACRISOLES	0.026	0.04	0.013
3	AL	ALISOLES	0.026	0.04	0.013
4	AN	ANDOSOLES	0.026	0.04	0.013
5	AR	ARENOSOLES	0.013	0.02	0.007
6	CL	CALCISOLES	0.053	0.079	0.026
7	CM	CAMBISOLES	0.026	0.04	0.013
8	CH	CHERNOZEM	0.013	0.02	0.007
10	DU	DURISOLES	0.053	0.079	0.026
11	FR	FERRALSOLES	0.013	0.02	0.007
12	FL	FLUVISOLES	0.026	0.04	0.013
13	GL	GLEYSOLES	0.026	0.04	0.013
14	GY	GIPSOLES	0.053	0.02	0.07
15	HS	HISTOSOLES	0.053	0.02	0.07
16	KS	KASTANOZEMS	0.026	0.04	0.013
17	LP	LEPTOSOLES	0.013	0.02	0.07
18	LX	LIXISOLES	0.013	0.02	0.07
19	LV	LUVISOLES	0.026	0.04	0.013
20	NT	NITISOLES	0.013	0.02	0.07
21	PH	PHAEZEMS	0.013	0.02	0.07
22	PL	PLANOSOLES	0.053	0.079	0.026
23	PT	PLINTOSOLES	0.026	0.04	0.013
24	PZ	PODZOLES	0.053	0.079	0.026
25	RG	REGOSOLES	0.026	0.04	0.013
26	LX	SOLOCHACKS	0.053	0.04	0.013
27	LV	SOLONETZ	0.053	0.079	0.026
29	UM	UMBRISOLES	0.026	0.04	0.013
30	VR	VERTISOLES	0.053	0.079	0.026

6.1.1.3 Factor topográfico (LS)

Tanto la longitud de la ladera como su pendiente influyen considerablemente en las tasas de erosión de un suelo, siendo el relieve uno de los principales factores que determina la producción de sedimentos de las cuencas vertientes.

El factor de longitud (L) de ladera es adimensional, definido como el cociente en la tasa de erosión anual de una parcela con una longitud de ladera determinada. El factor de pendiente (S), definido como el cociente entre la tasa de erosión de una determinada parcela con una pendiente.

La topografía global contribuye con dos factores a la erosión del suelo en el método RUSLE, estos son el factor de longitud (L) y el factor pendiente (S) (Renard et al., 1997). Ambos factores multiplicándose pueden generar el factor LS. La siguiente ecuación desarrollada por Jiang y Zheng (2008), se utilizó para calcular el factor LS en el estudio.

$$LS = 1.07 \left(\frac{\lambda}{20} \right)^{0.28} \left(\frac{a}{10^\alpha} \right)^{1.45}$$

Donde L es el factor de longitud pendiente; S es el factor de inclinación de pendiente; λ es la longitud de pendiente a lo largo de la proyección horizontal (m); y α es el ángulo de inclinación en grados. Fue necesario un DEM para derivar los factores con la ayuda del software SAGA GIS (Grayson & Ladson, 1991). La distribución espacial del factor LS tiene un rango de 0 a 152. Los valores de este factor son adimensionales.

6.1.1.4 Factor de cobertura vegetal (C)

La cobertura vegetal es un elemento de protección frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones. Los valores de los factores de C, basados en la cobertura vegetal se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla 81: Valores de cobertura vegetal (C)
(SENAMHI, 2017)

Código	Tipo	Contenido	Factor C
10	Tierra Cultivada	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura y jardines	0.63
20	Bosque	Tierras cubiertas de árboles, con cubierta vegetal más del 30%	0.003
30	Pradera	Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%	0.09
40	Matorral	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%	0.22
50	Humedal	Tierras cubiertas de plantas de humedales y cuerpos de agua	0
60	Cuerpos de agua	Las masas de agua en la superficie terrestre	0
70	Tundra	Hierbas y arbustos en las regiones polares	-
80	Las Superficies Artificiales	Tierras modificadas por las actividades humanas	0.09
90	Tierra Desolada	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%	0.5
100	Nieve y Hielo permanente	Tierras cubiertas por la nieve permanente, y la capa de hielo	0

6.1.1.5 Factor de prácticas de conservación (P)

Este último factor de RUSLE recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión, realizando los trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de escorrentía.

La influencia de la práctica de conservación consiste en disminuir la longitud del declive efectivo para la escorrentía.

Tabla 82: Factor de prácticas de Conservación (P)
(Kim, 2006)

Pendiente (%)	Contorno	Cultivo en franjas	Terraza
0.0 – 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 – 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 – 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 – 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 a más	1.00	0.50	0.20

6.1.2 Resultados

A continuación, se muestra el Mapa de Pérdida de Suelo calculado para la cuenca Huaura (Ton/ha/año).

Ilustración 91: Mapa de Erosión de la cuenca Huaura
(TYPESA, 2021)

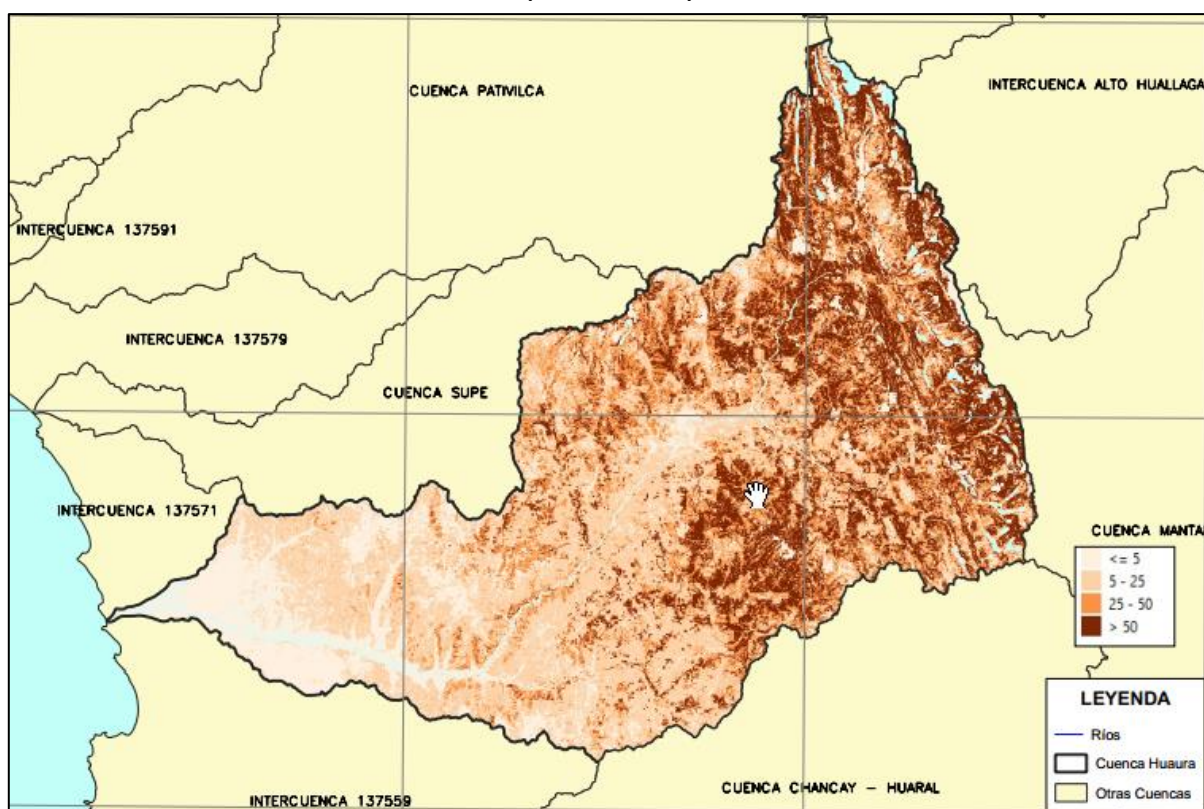


Tabla 83: Valores de erosión modelo RUSLE en la cuenca del río Huaura
(TYPESA, 2021)

Tipo	Rango (ton/ha/año)	Área (ha)	%
Baja	0 - 5	329,423.19	76.69%
Moderada	5 - 25	24,470.97	5.70%

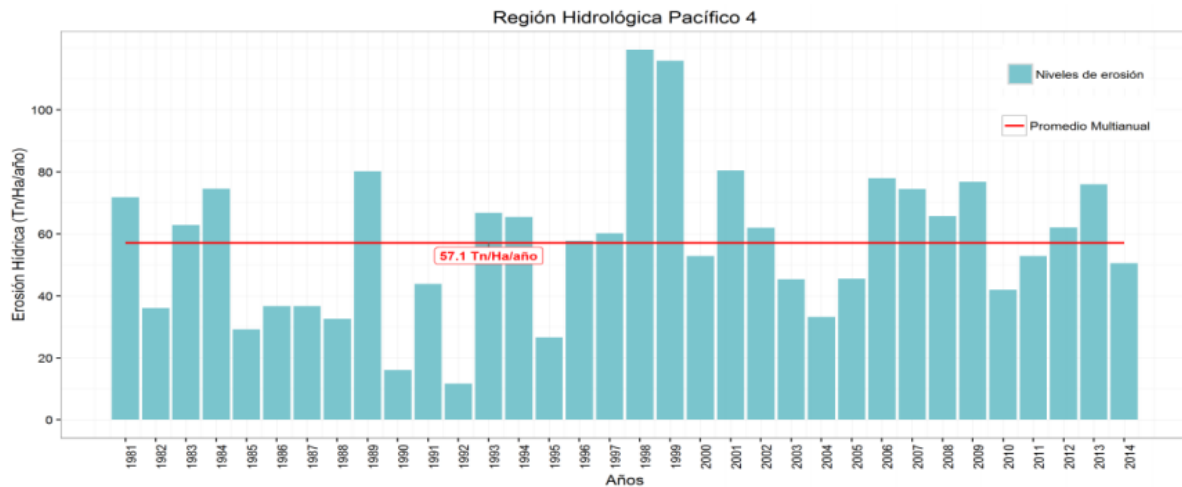
Tipo	Rango (ton/ha/año)	Área (ha)	%
Media	25 - 50	9,192.44	2.14%
Alta	más de 50	66,475.24	15.48%

Tabla 84: Valores de erosión de modelo RUSLE en toneladas por año en la cuenca del tío Huaura (TYPESA, 2021)

Rango (ton/ha/año)	Área (ha)	Erosión anual (ton/año)
1. 0 - 5	329,423.19	79,248.42
2. 5 - 25	24,470.97	344,690.30
3. 25 - 50	9,192.44	323,698.88
4. > 50	66,475.24	15,469,741.96
Total general	429,561.84	16,217,379.55

- De la Tabla 83, se observa que la cuenca en su mayoría tiene una erosión baja y moderada, alrededor del 80% entre ambas condiciones, sin embargo, es de precisar que la erosión mayor a 50 ton/ha/año sube la tendencia ($16,217,379.55/429,561.84 = 37.75$ ton/ha/año), mayor detalle ver Anexo 7.1.
- Para la determinación del factor de cobertura vegetal (C) se ha empleado el mapa de cobertura vegetal del MINAM (2015). Este factor debe ser actualizado en cuanto se pueda adquirir la información satelital del producto GlobeLand30 del National Geomatic Center of China.
- El modelo RUSLE estima las pérdidas de suelo anuales, como un valor promedio de un periodo de años, que se producen en la superficie del terreno debido a la erosión superficial, laminar y en regueros, ante variables que determinan condiciones de clima, suelo, relieve, vegetación y uso de suelo.
- De acuerdo con el SENAMHI (2107), Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú, para la región Hidrológica Pacífico 4 a donde pertenece la cuenca Huaura se tienen valores promedios de erosión de 57.1 ton/ha/año, mientras que para la cuenca del río Huaura se tiene un valor promedio de 37.75 ton/ha/año.

Ilustración 92: Valores de Erosión para la Región Hidrológica Pacífico 4
(SENAMHI 2107, Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú)



- En un año promedio mediante el modelo RUSLE en la cuenca del río Huaura se producen alrededor de 16 millones de toneladas de sedimentos, de este total un gran porcentaje son arrastrados por los cursos de agua en forma de material de suspensión y/o material de fondo, depositándose en algunas partes de la cuenca según las características hidráulicas de los cuerpos de agua.

6.2 MODELO MUSLE

El modelo MUSLE (Williams, 1975) es una modificación al modelo USLE, consiste en reemplazar el factor R de la erosividad de la lluvia por el escurrimiento superficial y el caudal pico de una tormenta, con la finalidad de calcular la producción de sedimentos por evento y se expresa como:

$$Y = 11.8 (Q_s \times qp)^{0.56} K.LS.C.P$$

Donde:

Y es la producción de sedimentos en un evento determinado (Toneladas por evento)

Qs es el volumen escurrido (m3)

qp es el gasto pico del evento (m3/s)

Los factores K, LS, C y P son los mismos obtenidos para el modelo RUSLE.

En la Tabla siguiente se muestran los cálculos realizados a partir de los valores promedios de K.LS.C.P y de los hidrogramas para el evento del FEN 2017 en diferentes puntos de interés del río Huaura.

**Tabla 85: Producción de Sedimentos en los puntos de interés según el modelo MUSLE
(TYPESA, 2021)**

N°	Nombre	Área (KM2)	Y (Toneladas)					
			TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
1	S1	60.17	7,919.19	16,094.23	21,395.92	25,697.78	30,410.95	35,445.11
2	S10	194.33	8,959.04	18,737.64	25,845.09	31,943.33	38,698.20	45,971.06
3	S100	11.09	20.39	20.39	20.39	20.39	20.39	20.39
4	S101	20.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	S102	63.61	3,302.31	9,355.15	13,667.27	17,390.08	21,527.92	25,956.02
6	S11	84.41	4,529.02	9,212.24	12,664.22	15,642.17	18,933.25	22,535.28
7	S12	78.63	9,022.12	20,200.16	27,562.88	33,555.04	40,178.63	47,390.85
8	S13	76.94	12,806.43	24,457.63	31,649.01	37,477.74	43,749.07	50,442.45
9	S14	76.64	2,144.57	6,006.75	8,784.00	11,164.98	13,798.00	16,672.05
10	S15	71.50	1,373.06	3,731.04	5,833.97	7,714.86	9,895.77	12,339.43
11	S16	60.93	15.10	295.76	569.04	825.85	1,118.38	1,448.09
12	S17	87.59	5,086.55	12,970.75	18,579.00	23,412.92	28,849.65	34,675.77
13	S18	83.39	8,354.35	17,093.11	22,879.69	27,743.63	33,126.27	38,855.33
14	S19	60.37	5,672.86	11,360.50	15,442.89	18,943.54	22,777.63	26,954.20
15	S2	38.32	3,360.32	6,891.17	9,432.45	11,559.22	13,961.98	16,575.64
16	S20	25.93	932.23	3,571.86	5,435.87	7,002.66	8,732.37	10,558.04
17	S21	50.44	4.59	367.49	772.92	1,150.61	1,608.42	2,119.97
18	S22	35.01	5,782.80	10,925.99	14,007.43	16,511.60	19,162.94	21,931.06
19	S23	107.65	5,097.45	11,925.43	16,788.30	20,938.86	25,509.91	30,529.13
20	S24	48.46	567.08	3,079.00	5,028.03	6,739.05	8,657.74	10,761.19
21	S25	51.57	7,536.34	14,004.04	17,948.08	21,128.00	24,503.06	28,037.05
22	S26	106.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
23	S27	103.70	113.70	983.99	1,732.05	2,427.40	3,218.31	4,123.65
24	S28	44.19	1,417.79	3,589.44	5,136.45	6,472.39	7,968.05	9,574.29
25	S29	48.13	1,159.83	3,081.73	4,560.23	5,892.32	7,366.66	8,995.65
26	S3	99.25	17,026.51	33,395.84	44,156.63	52,682.44	62,279.40	72,487.10
27	S30	59.99	61.21	939.37	1,772.87	2,539.39	3,425.19	4,407.74
28	S31	35.94	17.89	288.80	544.15	783.79	1,058.91	1,370.15
29	S33	75.67	0.00	209.47	518.70	832.45	1,220.98	1,675.42
30	S34	48.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	8.98
31	S36	27.84	321.77	2,383.58	4,098.02	5,606.57	7,339.59	9,224.91
32	S37	75.92	0.00	0.00	0.00	0.00	7.49	35.67
33	S38	26.41	7.47	97.19	179.04	254.65	340.39	437.20
34	S39	34.16	222.26	935.75	1,445.53	1,896.69	2,384.85	2,923.62
35	S4	36.55	3,714.74	7,567.38	10,107.63	12,222.60	14,512.09	17,054.25
36	S40	37.10	195.30	541.87	787.71	997.38	1,226.94	1,481.89
37	S41	55.37	3,756.19	8,115.28	11,052.06	13,529.86	16,236.62	19,150.75
38	S42	26.95	125.17	125.17	125.17	125.17	125.17	134.63

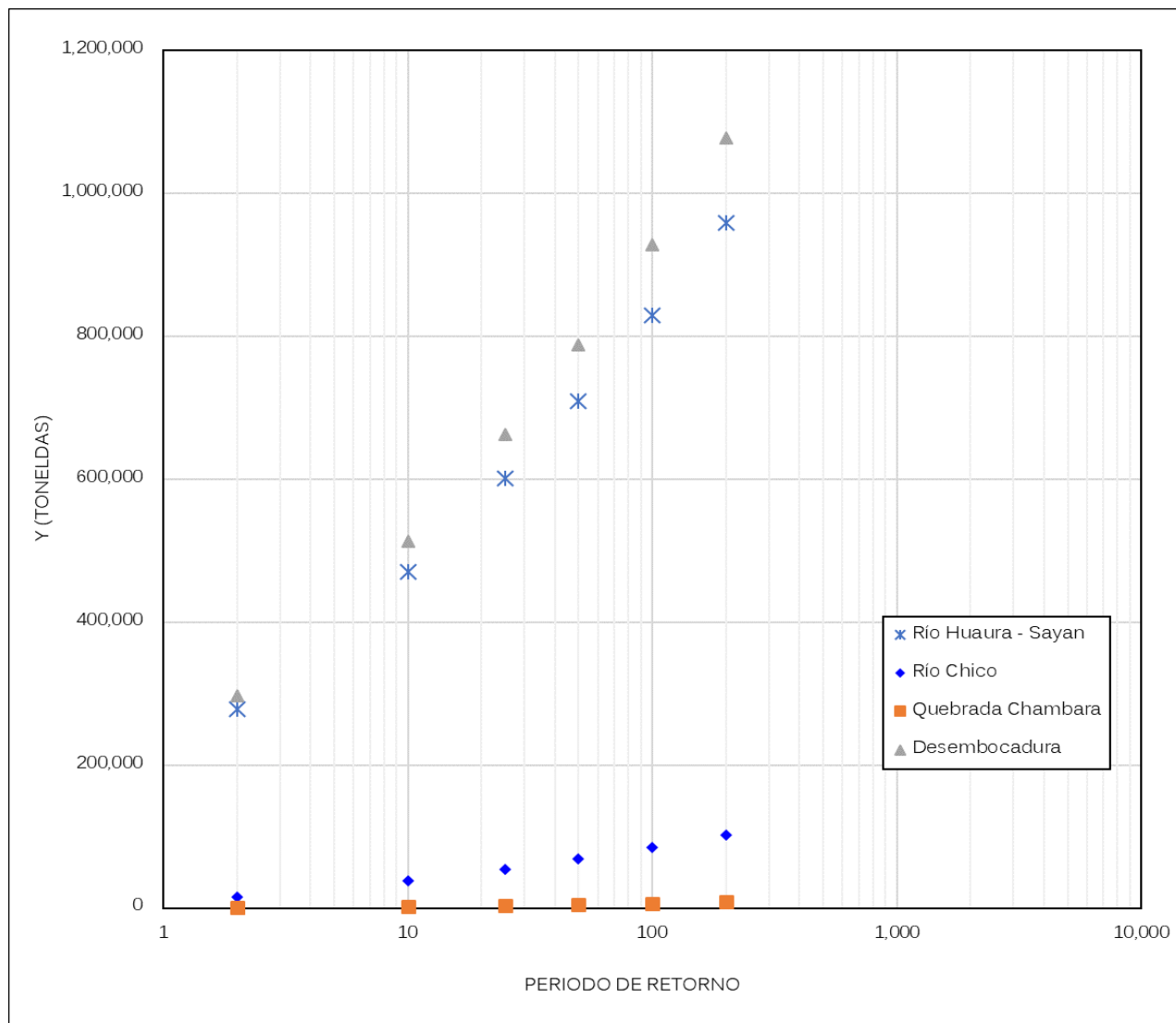
N°	Nombre	Área (KM2)	Y (Toneladas)					
			TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
39	S43	28.58	0.00	83.56	203.29	324.27	471.82	645.57
40	S45	26.16	0.00	0.00	0.00	0.22	1.19	3.15
41	S46	28.59	0.00	91.30	220.28	349.62	509.31	693.06
42	S47	55.26	100.40	837.06	1,462.05	2,021.98	2,657.50	3,352.03
43	S49	46.37	23.46	485.13	940.72	1,370.77	1,869.12	2,430.82
44	S5	26.42	3,189.32	6,423.51	8,450.08	10,047.88	11,859.23	13,716.40
45	S51	44.07	4,812.94	9,893.06	13,320.97	16,176.43	19,361.60	22,711.34
46	S53	17.68	151.53	453.80	698.53	921.20	1,174.88	1,457.97
47	S54	10.94	125.45	379.79	562.34	719.33	893.07	1,081.34
48	S55	16.23	104,795.23	108,556.25	110,874.03	112,690.00	114,660.72	116,674.56
49	S56	30.82	21.57	251.75	462.94	662.04	896.76	1,161.78
50	S57	31.03	2,440.91	4,730.28	6,186.05	7,339.37	8,669.41	10,069.88
51	S58	13.99	241.03	588.23	827.61	1,029.22	1,254.74	1,493.85
52	S59	113.03	763.02	1,630.11	2,279.63	2,837.21	3,460.89	4,137.41
53	S6	78.83	6,841.72	12,035.14	16,045.77	19,402.37	23,265.66	27,462.35
54	S60	139.21	4,595.43	10,162.91	13,974.52	17,204.40	20,785.39	24,615.02
55	S61	25.37	1,934.42	4,617.52	6,468.45	8,035.96	9,793.12	11,682.02
56	S62	22.44	4,739.00	9,236.79	12,037.77	14,307.05	16,742.85	19,301.53
57	S63	65.02	6,370.66	13,061.88	17,382.50	20,953.74	24,826.08	28,914.92
58	S65	4.88	33.51	69.31	93.76	113.13	135.06	159.85
59	S66	16.90	2,873.23	5,043.41	6,331.80	7,335.70	8,434.16	9,598.05
60	S67	3.92	11.71	23.20	30.21	36.24	42.53	49.55
61	S68	27.88	1,646.01	2,702.34	3,640.43	4,441.09	5,339.99	6,350.80
62	S69	45.90	1,610.37	3,110.01	4,296.81	5,302.40	6,461.97	7,687.36
63	S7	42.95	5,957.13	12,057.99	15,972.18	19,256.33	22,879.58	26,720.20
64	S70	45.17	623.18	1,415.94	1,958.12	2,418.73	2,919.18	3,465.90
65	S71	49.39	3,130.55	5,973.11	8,075.51	9,887.15	11,863.30	14,078.01
66	S72	57.36	4,972.93	9,763.65	12,654.06	15,007.54	17,503.94	20,110.33
67	S73	12.41	125.09	252.40	331.20	394.85	465.00	535.82
68	S74	28.58	300.45	543.80	780.55	994.72	1,231.89	1,497.75
69	S75	30.28	909.41	1,975.41	2,687.44	3,299.71	3,963.89	4,690.39
70	S76	71.81	2,486.28	5,207.98	6,946.90	8,376.71	9,925.49	11,568.88
71	S77	30.84	311.54	666.40	951.44	1,194.47	1,468.99	1,770.64
72	S78	0.05	0.00	5.72	6.24	9.91	9.91	10.59
73	S79	43.68	364.38	659.38	930.57	1,171.06	1,442.71	1,743.77
74	S8	52.41	1,064.02	2,191.82	3,098.97	3,896.50	4,792.04	5,767.94
75	S80	1.86	14.94	31.55	42.56	51.29	62.02	72.49
76	S81	15.40	20.28	45.59	63.61	79.16	96.08	114.36
77	S82	64.35	248.66	329.57	463.88	586.99	731.81	890.57
78	S83	9.35	24.00	24.00	28.77	37.20	47.79	60.23

N°	Nombre	Área (KM2)	Y (Toneladas)					
			TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
79	S84	18.79	6.21	14.82	20.78	25.71	31.30	37.16
80	S85	50.90	164.12	391.51	554.75	691.59	841.01	1,005.06
81	S86	23.66	138.69	328.76	457.78	566.71	687.21	814.12
82	S87	19.66	72.03	217.20	324.60	419.63	525.62	640.43
83	S88	5.58	98.57	246.87	347.50	431.41	522.29	622.71
84	S89	25.22	288.40	970.84	1,491.17	1,937.25	2,448.27	3,023.69
85	S9	49.21	4,088.58	8,364.87	11,131.64	13,412.45	15,892.71	18,515.20
86	S90	17.93	347.38	816.92	1,156.68	1,448.72	1,773.02	2,127.40
87	S91	11.30	75.27	160.40	264.29	363.56	474.36	603.02
88	S92	28.88	473.51	794.69	1,145.36	1,456.57	1,813.67	2,213.50
89	S93	1.58	6.92	12.02	18.63	23.67	29.54	35.79
90	S94	46.83	595.09	766.19	1,080.00	1,383.70	1,737.42	2,134.54
91	S95	117.12	1,169.33	1,475.54	2,026.69	2,571.24	3,177.38	3,892.75
92	S96	37.53	299.91	312.90	397.83	499.73	623.25	774.58
93	S97	30.23	21.55	21.55	21.55	22.70	27.26	34.54
94	S98	44.85	49.68	49.68	49.68	49.68	54.59	65.51
95	S99	2.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 86: Resumen de sedimentos por evento asociados a diferentes periodos de retorno - modelo MUSLE (TYPESA, 2021)

TR	Río Huaura - Sayán	Río Chico	Quebrada Chambara	Desembocadura
2	278,736.72	15,019.26	357.53	296,394.63
10	470,292.37	37,791.75	2,171.50	513,110.59
25	600,697.85	54,531.21	3,640.52	662,794.19
50	709,426.64	69,003.83	4,986.13	788,413.71
100	829,661.46	85,153.39	6,499.92	927,561.15
200	958,822.57	102,610.56	8,209.05	1,077,394.54

Ilustración 93: Curva de producción de sedimentos en la cuenca del Río Huaura para diferentes periodos de retorno – Modelo MUSLE
(TYP SA, 2021)



6.3 MODELO ONSTAD - FOSTER

La metodología AOF es un procedimiento matemático para estimar los potenciales de desprendimiento y transporte del suelo, incluyendo las proporciones relativas de erosión en surcos e ínter-surcos, para laderas compuestas por uno o más segmentos con distintas características. Utiliza una versión modificada de USLE para estimar el desprendimiento de suelo.

$$Y = W.K.LS.C.P$$

Donde:

Y es el rendimiento de sedimento en t/ha

W es un término de energía que es la suma de los componentes de energía pluvial y de escurrimiento. El componente de energía pluvial se deriva del índice de erosión pluvial (EI) de USLE, y el componente de energía de escurrimiento es una función de la tasa de escurrimiento de tempestad (q_p , (mm/hr) y volumen (Q , mm). Los otros factores son iguales que en el USLE.

Los factores K, LS, C y P son los mismos obtenidos para el modelo RUSLE.

$$W = 0.646.EI + 0.45(Q.q_p)^{0.333}$$

El método AOF tiene la ventaja de utilizar un componente de energía compuesto tanto por energía pluvial como de escurrimiento, estimando tanto la erosión en surcos como en íter-surcos, considerando tanto el desprendimiento de suelos y el transporte como factores que limitan el rendimiento de sedimento, y siendo apto para estimar el rendimiento de sedimento de pendientes complejas. Además, Onstad y Foster (1975) describieron un método mediante el cual el método podía ser utilizado para estimar rendimientos de sedimento de cuencas complejas.

La erosividad es función de la energía cinética (E) y de la intensidad de la precipitación (I). La primera, relaciona el tamaño y la velocidad de caída de las gotas y la segunda relaciona la cantidad con la duración. Por lo tanto, se trata de un parámetro complejo de calcular pues relaciona cuatro propiedades (cantidad y duración, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia).

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \cdot p$$

Si:

$$I \leq 76 \frac{mm}{h} \gg Ei = 0.119 + 0.0873 \log I$$

$$I > 76 \frac{mm}{h} \gg Ei = 0.283$$

Donde:

E es la energía total del segmento lluvia, Ei es la energía de lluvia total, p es el incremento de precipitación (mm), I es la intensidad máxima en 30 minutos para cada evento (mm/h), n es el número de aguaceros del periodo considerado.

Finalmente:

$$EI = E \cdot I_{30}$$

En las Tablas siguientes se muestran los resultados de los cálculos Y para diferentes periodos de retorno.

Tabla 87: Producción de Sedimentos en los puntos de interés según el modelo Onstad – Foster (TYPESA, 2021)

N°	Nombre	Área (KM2)	Factor Y (Toneladas)					
			TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
1	S1	60.17	10,226.46	20,874.08	27,372.47	33,637.26	39,515.25	47,169.22
2	S10	194.33	12,653.29	27,333.38	38,197.23	46,107.69	54,856.58	64,327.84
3	S100	11.09	3.39	6.87	10.44	13.51	17.09	23.50
4	S101	20.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	S102	63.61	7,695.55	16,115.13	21,582.98	26,974.54	32,038.46	38,646.76
6	S11	84.41	9,929.07	20,493.85	25,913.87	31,975.89	38,748.75	44,984.99
7	S12	78.63	14,411.95	26,731.45	35,503.14	40,756.96	50,173.55	56,698.08
8	S13	76.94	10,563.01	20,270.17	26,981.07	32,430.54	37,074.45	45,128.97
9	S14	76.64	4,594.81	10,118.24	14,112.93	17,600.84	20,242.98	24,484.58
10	S15	71.50	5,692.57	12,782.52	17,191.77	20,778.17	25,559.11	30,890.37
11	S16	60.93	646.75	1,416.16	1,841.49	2,333.57	2,788.54	3,398.17
12	S17	87.59	13,857.10	27,024.34	34,398.80	41,349.92	49,062.15	57,382.81
13	S18	83.39	11,657.87	23,389.27	29,817.52	35,909.77	42,658.28	50,060.25
14	S19	60.37	11,521.08	22,046.54	29,251.62	35,082.04	41,453.18	48,435.47
15	S2	38.32	7,978.58	16,019.90	20,945.17	24,848.85	30,050.60	34,872.80
16	S20	25.93	3,099.48	6,219.11	8,686.17	10,467.31	12,430.35	14,561.90
17	S21	50.44	970.10	2,090.86	2,854.13	3,606.51	4,329.76	5,280.09
18	S22	35.01	4,558.19	8,932.71	11,770.48	13,545.13	16,018.60	19,343.43
19	S23	107.65	8,495.11	18,838.97	25,324.14	30,580.45	37,559.99	45,415.94
20	S24	48.46	5,415.05	10,474.72	13,271.72	16,513.09	19,468.49	22,683.13
21	S25	51.57	6,830.63	13,073.46	17,086.27	19,578.52	23,018.12	27,645.50
22	S26	106.05	441.18	897.73	1,233.40	1,496.64	2,006.30	2,500.85
23	S27	103.70	987.09	2,101.90	2,792.74	3,475.88	4,250.55	5,130.38
24	S28	44.19	4,507.63	8,683.27	11,442.80	13,664.52	16,100.11	18,768.51
25	S29	48.13	6,241.59	11,764.55	14,771.64	17,615.84	21,398.40	24,821.08
26	S3	99.25	22,957.35	43,992.72	59,820.40	73,068.41	85,671.41	99,265.53
27	S30	59.99	2,041.69	4,469.69	6,032.24	7,297.25	8,706.50	10,562.95
28	S31	35.94	554.70	1,142.20	1,571.79	2,009.75	2,325.85	2,867.62
29	S33	75.67	970.80	2,083.80	2,742.52	3,371.11	4,088.28	4,882.99
30	S34	48.65	56.47	105.83	152.12	205.66	255.79	316.82
31	S36	27.84	4,450.52	9,107.49	12,141.45	14,570.57	17,298.05	20,894.96
32	S37	75.92	205.15	425.63	585.92	751.49	904.08	1,134.60
33	S38	26.41	179.61	388.16	527.36	642.04	768.70	909.95
34	S39	34.16	519.82	1,096.09	1,529.12	1,812.31	2,213.58	2,668.67
35	S4	36.55	7,100.11	13,323.27	17,955.12	21,245.74	24,812.53	28,742.71
36	S40	37.10	391.74	818.21	1,159.71	1,406.91	1,678.92	1,982.37
37	S41	55.37	5,794.04	11,252.89	15,646.75	18,796.41	22,269.13	26,025.49
38	S42	26.95	94.41	194.74	279.49	336.65	422.12	522.30

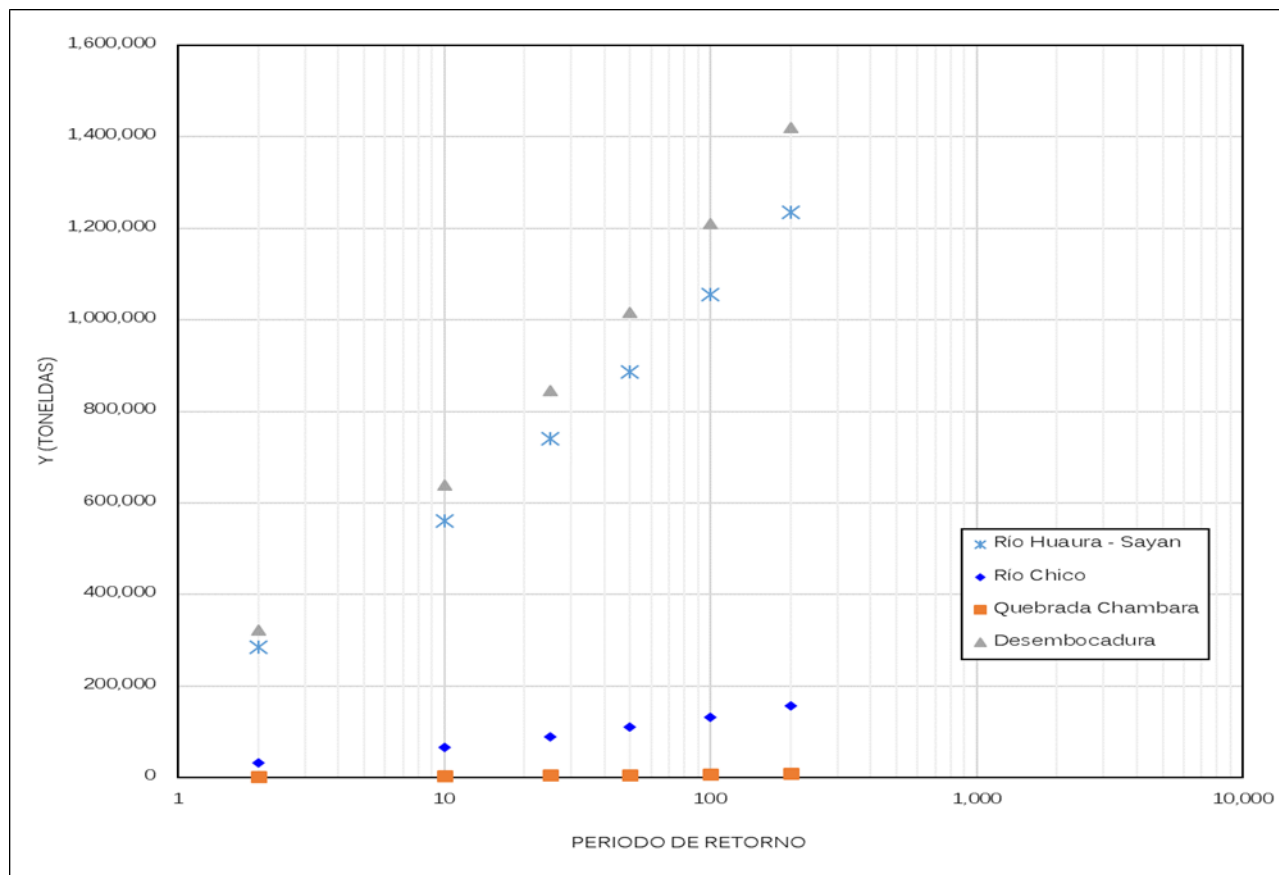
N°	Nombre	Área (KM2)	Factor Y (Toneladas)					
			TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
39	S43	28.58	337.58	717.50	953.44	1,187.26	1,451.20	1,745.61
40	S45	26.16	10.44	22.61	30.48	38.70	48.16	56.54
41	S46	28.59	442.34	924.40	1,275.05	1,561.45	1,886.13	2,241.73
42	S47	55.26	1,101.75	2,324.56	3,332.87	3,900.88	4,874.29	5,763.14
43	S49	46.37	968.52	2,045.10	2,823.68	3,465.90	4,187.59	4,985.34
44	S5	26.42	4,604.97	8,304.86	10,705.29	12,592.41	14,709.76	16,967.61
45	S51	44.07	8,423.34	16,341.69	21,534.86	24,762.52	30,326.17	34,166.70
46	S53	17.68	541.00	1,147.36	1,581.78	1,857.73	2,340.30	2,785.66
47	S54	10.94	552.81	1,026.35	1,346.76	1,604.50	1,885.52	2,265.21
48	S55	16.23	1,889.29	3,726.68	4,854.73	5,742.92	6,928.43	8,030.13
49	S56	30.82	340.09	722.84	1,006.16	1,246.20	1,583.22	1,899.27
50	S57	31.03	4,060.44	7,212.71	9,047.00	10,764.65	12,689.03	14,770.17
51	S58	13.99	413.28	880.62	1,200.43	1,518.33	1,753.77	2,143.45
52	S59	113.03	1,237.00	2,736.39	3,677.84	4,599.11	5,463.41	6,412.62
53	S6	78.83	14,161.45	25,914.20	34,227.64	39,220.24	46,453.14	54,285.96
54	S60	139.21	6,002.31	12,605.74	17,015.77	21,400.00	25,511.84	30,013.94
55	S61	25.37	4,284.37	7,885.40	10,193.90	12,428.99	14,514.98	16,756.02
56	S62	22.44	4,697.63	9,034.72	11,988.24	14,358.05	16,972.37	19,179.02
57	S63	65.02	7,739.98	14,917.14	19,819.93	23,727.20	28,062.50	31,711.80
58	S65	4.88	112.25	201.04	258.86	303.86	353.97	408.99
59	S66	16.90	2,718.08	4,838.24	5,989.65	7,283.73	8,473.19	9,774.23
60	S67	3.92	12.63	24.86	31.69	38.02	45.14	52.94
61	S68	27.88	4,136.14	7,450.41	9,376.96	11,184.34	12,691.26	14,868.69
62	S69	45.90	4,186.06	8,031.45	10,589.89	12,153.98	14,879.52	16,757.27
63	S7	42.95	10,315.76	20,032.28	25,019.46	29,608.77	35,823.57	41,401.69
64	S70	45.17	790.45	1,717.55	2,234.87	2,843.00	3,404.32	4,030.93
65	S71	49.39	7,922.11	14,981.63	19,499.17	23,925.52	27,936.71	33,311.46
66	S72	57.36	3,486.93	6,847.64	9,117.84	10,966.52	12,991.35	15,207.62
67	S73	12.41	114.11	220.25	295.85	370.84	439.99	498.80
68	S74	28.58	558.46	1,201.01	1,645.03	2,014.03	2,329.01	2,870.46
69	S75	30.28	1,923.14	3,740.78	4,899.54	6,040.89	7,301.65	8,461.68
70	S76	71.81	2,164.04	4,381.84	5,919.88	7,176.05	8,565.88	10,443.31
71	S77	30.84	471.21	1,030.20	1,356.53	1,671.63	2,023.73	2,417.78
72	S78	0.05	6.00	11.66	15.81	18.82	22.75	26.36
73	S79	43.68	486.75	1,006.74	1,409.28	1,745.06	2,122.53	2,543.81
74	S8	52.41	2,221.68	4,719.70	6,379.35	7,726.94	9,549.47	10,865.69
75	S80	1.86	28.97	56.78	74.43	91.87	107.81	125.11
76	S81	15.40	51.75	105.02	138.03	170.58	200.54	233.06
77	S82	64.35	376.92	784.60	1,119.62	1,361.16	1,634.15	1,993.60
78	S83	9.35	28.86	63.58	89.59	110.82	135.39	162.23

N°	Nombre	Área (KM2)	Factor Y (Toneladas)					
			TR 2	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 200
79	S84	18.79	8.87	18.70	27.72	33.57	41.56	48.88
80	S85	50.90	241.98	533.11	696.97	886.71	1,062.81	1,256.05
81	S86	23.66	195.45	420.49	572.53	696.87	835.65	1,021.97
82	S87	19.66	209.74	465.64	603.12	763.89	880.38	1,076.03
83	S88	5.58	182.68	380.13	543.42	661.41	793.88	938.70
84	S89	25.22	983.65	2,078.16	2,848.72	3,474.45	4,179.14	4,960.16
85	S9	49.21	5,325.56	10,430.46	14,195.63	16,894.31	20,461.63	23,711.88
86	S90	17.93	594.81	1,214.69	1,674.70	2,139.24	2,572.05	2,943.74
87	S91	11.30	326.03	719.89	941.21	1,156.22	1,394.29	1,660.27
88	S92	28.88	751.68	1,644.50	2,163.58	2,664.14	3,232.09	3,858.55
89	S93	1.58	15.21	33.00	43.63	54.01	65.69	78.89
90	S94	46.83	760.30	1,595.14	2,118.43	2,637.37	3,360.54	3,878.35
91	S95	117.12	1,288.25	2,850.10	3,945.26	4,872.57	5,666.98	7,055.87
92	S96	37.53	275.50	584.36	786.51	989.84	1,221.34	1,489.59
93	S97	30.23	12.48	24.70	34.09	44.07	55.97	66.84
94	S98	44.85	19.10	36.85	51.97	64.08	83.59	101.43
95	S99	2.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 88: Resumen de sedimentos por evento asociados a diferentes periodos de retorno – modelo Onstad – Foster (TYPESA, 2021)

TR	Río Huaura – Sayán (ton)	Río Chico (ton)	Quebrada Chambara (ton)	Desembocadura (ton)
2	286,011.24	32,043.62	1,847.00	323,406.10
10	561,337.76	66,347.31	3,920.83	639,067.94
25	740,427.53	89,885.54	5,328.02	845,822.64
50	886,979.39	110,522.30	6,534.40	1,016,673.93
100	1,055,238.55	132,036.85	8,047.35	1,210,815.91
200	1,234,782.13	156,841.67	9,698.31	1,420,214.41

Ilustración 94: Curva de producción de sedimentos en la cuenca del Río Huaura para diferentes periodos de retorno – Modelo Onstad – Foster
(TYP SA, 2021)



7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se delimitó la cuenca del río Huaura hasta su desembocadura considerando diferentes puntos de interés hidrológicos e hidráulicos, la delimitación se realizó en base a los datos del modelo digital de elevación ALOS PALSAR, determinando un total de 95 subcuencas.
- Del análisis estadístico de la precipitación máxima de 24 horas se desestimó usar la estación de Pachamachay por no pasar las pruebas estadísticas de tendencia y homogeneidad con más de 30 registros, así mismo, no se empleó la estación de San Rafael debido a que se ubica en otra tipología de clima (selvático-tropical).
- En el modelamiento hidrológico se usó el método “constant monthly” para el flujo base, el método de numero de curva CN del USDA para el modelo de perdidas, el método de Muskingum para el modelo de tránsito y el método de Snyder para el modelo de transformación.
- Para la calibración del modelo se emplearon las secciones de control HLG-Sayán para el río Huaura y acueducto Santa Rosa para el río Chico. En la primera se compararon los caudales simulados versus los observados, encontrando un coeficiente de Nash de 0.642 lo que indica una muy buena aproximación, para la sección del río Chico se realizó mediante la modelación hidráulica obteniendo la marca de agua bastante cercana a lo observado en campo.
- Se determinaron caudales para diferentes periodos de retorno con el modelo de transformación de precipitación-escorrentía del software HEC-HMS, los resultados se muestran en la siguiente tabla, los cuales no consideran cambio climático.

Tabla 89: Resumen de caudales sin cambio climático
(TYPESA, 2021)

Periodo de Retorno	HLG Sayán (m3/s)	Río Chico (m3/s)	Quebrada Chambara (m3/s)	Desembocadura (m3/s)
2	93.7	12.4	1.9	108.9
10	202.3	43.8	9.7	240.1
25	281.1	67.9	15.4	337.3
50	347.6	88.6	20.4	420.2
100	420.1	111.3	25.9	511.7
200	498.1	135.8	31.9	610.2

- Del análisis estadístico de la estación Casa Blanca, los caudales máximos instantáneos asociados a diferentes periodos de retorno son cercanos a los obtenidos del modelamiento hidrológico con HEC-HMS.

- La metodología planteada con referencia a la selección de los rangos de análisis para el cálculo de cambio climático del presente estudio se basa en la disponibilidad de serie mayores a 40 años lo cual nos permite analizar con mayor confiabilidad con referencia a la cantidad de años habituales (30). Por lo que se indicó en la reunión del día 07/06/2021 con ARCC que el rango de análisis a utilizar será de 40 años.
- Para la proyección de los valores de cambio climático se basó en modelos globales dado que estos brindan la precipitación máxima anual o “día más lluvioso en el año” y la metodología en la que fue basado conforme a las recomendaciones de las notas técnicas fue el “delta change” teniendo un incremento de 9% para el periodo 2025-2065 RCP 4.5, 13% para el periodo 2060-2100 RCP 4.5, 15% para el periodo 2025-2065 RCP 8.5 y 25% para el periodo 2060-2100 RCP 8.5. Estos valores de incremento se aplican a las precipitaciones máximas anuales.
- Con el incremento de las precipitaciones máximas de 24 horas por efecto del cambio climático, se procedió a realizar la modelización hidrológica para los periodos de 2025-2065 y 2060-2100, siguiendo la misma metodología que para los caudales sin cambio climático. Los incrementos de los caudales máximos instantáneos son directamente proporcionales al incremento de las precipitaciones máximas, en las tablas ubicadas en el ítem 5.5.2 se muestran los caudales asociados a los diferentes periodos de retorno.
- El elemento representativo del esquema de modelamiento hidrológico es el “J1” el cual sirve para tener una primera idea de magnitud de caudal que transitará en el tramo del Paquete 4A y los elementos hidrológicos “*Rio Huaura-Sayan*” y “*Rio Chico*” para el tramo del Paquete 4B.
- El modelo RUSLE estima las pérdidas de suelo anuales, como un valor promedio de un periodo de años, de acuerdo con el SENAMHI (2107), Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú, para la región Hidrológica Pacífico 4 a donde pertenece la cuenca Huaura se tienen valores promedios de erosión de 57.1 ton/ha/año, mientras que para la cuenca del río Huaura se tiene un valor promedio de 37.75 ton/ha/año.
- En los modelos MUSLE y Onstad-Foster para el evento asociado a un periodo de retorno de 100 años se tiene una producción de sedimentos de 927,561.15 ton y 1,210,815.91 ton respectivamente, calculados en la desembocadura de la cuenca del río Huaura.
- El modelo RUSLE estima una producción total de 16 millones de toneladas de sedimento por año, mientras que en el estudio de perfil se estima una producción de entre 10 a 14 millones de toneladas computadas en las secciones de la cuenca baja. Cabe mencionar que el modelo RUSLE estima una producción total para un año promedio, más no estima el transporte de los sedimentos por lo que los valores obtenidos estarían dentro del margen esperado.

7.2 RECOMENDACIONES

- El presente estudio estima caudales asociados a diferentes periodos de retorno y que además incluyen escenarios de cambio climático establecido en las notas técnicas, sin embargo, se recomienda emplear para el modelamiento hidráulico del Paquete los hidrogramas obtenidos del modelo integral con proyecto, presentado en el Informe de Intervenciones y Modelos, precisamente el Modelo 7.
- Para el Paquete 4A de actuaciones del río Huaura se ha obtenido el hidrograma en el software IBER determinando un caudal pico de 668,68 m³/s.
- Para el Paquete 4B de actuaciones del río Huaura se ha obtenido el hidrograma en el software IBER determinando un caudal pico de 551.47 m³/s y del río Chico un caudal pico de 153.68 m³/s.

8 ANEXOS

Los anexos del presente informe son presentados en el ítem II.3.1.3 de código 400200-OHL001-501-XX-DS-HY-004001-R01.

- Anexo 1. Parámetros (Editable)
- Anexo 2. Caudales (Editable)
 - Data SENAMHI – ANA
 - Análisis de serie de caudales máximos
 - Análisis estadístico de caudales máximos instantáneos
 - Resultados de caudales de modelización en HEC - HMS
 - Data SENAMHI – ANA
- Anexo 3. Precipitación máxima de 24h (En editable)
 - Data SENAMHI
 - Análisis de datos dudosos
 - Análisis de consistencia
 - Análisis de frecuencia
 - Distribución espacial de la precipitación máxima de 24 horas
 - Distribución temporal de la precipitación máxima de 24 horas
 - Data SENAMHI
- Anexo 4. Calibración (En editable)
 - Tormentas de calibración
 - Modelamiento hidrológico con HEC – HMS
 - Validación (Determinación del coeficiente de Nash-Sutcliffe
 - Parámetros calibrados
 - Envolvente de Creager
 - Análisis de incertidumbre
- Anexo 5. Modelamiento Hidrológico sin Cambio Climático (En editable)

- Anexo 6. Cambio Climático (En editable)
 - Cálculos de Delta Change
 - Precipitaciones de diseño con cambio climático
 - Modelamientos hidrológicos con cambio climático
- Anexo 7. Sedimentos (En editable)
 - RUSLE
 - MUSLE
 - Onstad - Foster
- Anexo 8. AlbumFot
- Anexo 9. Mapas