



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

«ESTUDIO DE LA DELIMITACIÓN DE FAJA MARGINAL DE LA QUEBRADA ACHIQUIRE SUR Y APORTANTE POR LA MARGEN IZQUIERDA DEL RÍO MALA (3,73 KM) »



METODOLOGÍA : Modelamiento Hidráulico

UBICACIÓN : Distrito : San Joaquin y Huañec

Provincia : Yauyos

Región : Lima



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONTENIDO

1. GENERALIDADES	5
1.1. Introducción	5
1.2. Antecedentes	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general	6
1.3.2. Objetivo específico	6
1.4. Metas	7
2. ANÁLISIS.....	7
2.1. Ubicación: Política, Geográfica e hidrográfica.....	7
2.2. Ubicación Hidrográfica	7
2.3. Descripción del tramo de estudio	8
2.4. Hidrología	8
2.4.1. Parámetros geomorfológicos	8
2.4.2. Precipitación máxima 24 horas	10
2.4.3. Disponibilidad de Información	11
2.4.4. Análisis de datos atípicos (Outliers)	14
2.4.5. Análisis de independencia, estacionariedad y homogeneidad	20
2.4.6. Análisis de frecuencia de valores extremos	24
2.4.7. Análisis de Frecuencia	24
2.4.8. Análisis de Frecuencia de Valores Extremos	24
2.4.9. Análisis Estadístico	25
2.4.10. Distribución Espacial – Isoyetas de Máximas	26
2.4.11. Análisis temporal de las tormentas	32
2.4.12. Hietograma de diseño	33
2.4.13. Modelo Precipitación - Escorrentía	34
2.4.14. Caudales asociados a diferentes períodos de retorno	38
2.4.15. Selección y sustento de período de retorno y caudal de diseño	38
2.5. Topografía	39
2.5.1. Red Geodésica	39
2.5.2. Modelo Digital de Terreno	40
2.5.3. Eje del cauce	41
2.5.4. Pendiente del cauce	41
2.5.5. Zonas críticas	43
2.6. Simulación Hidráulica 2D	43
2.6.1. Descripción del modelo	43
2.6.2. Configuración del modelo	43
2.6.3. Coeficiente de rugosidad	44
2.6.4. Condiciones de frontera externa	45
2.6.5. Módulo Reológico	47
2.6.6. Tiempo de cómputo	48
2.6.7. Resultados Generales	48
2.7. Alternativa de tratamiento y encauzamiento del cauce	50
3. DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL.....	51
3.1. Dimensionamiento de la faja marginal	51
3.2. Verificación Técnica de Campo	51
3.3. Límites de la faja marginal de la quebrada Achique Sur	54
4. CONCLUSIONES. Y RECOMENDACIONES.....	55
4.1. Conclusiones	55



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

TABLA

Tabla 1: Ubicación política de la cuenca de la quebrada Achique Sur.....	7
Tabla 2: Codificación Pfafstetter en la que se encuentra la quebrada Achique Sur.....	7
Tabla 3: Parámetros principales en la quebrada Achique Sur.....	9
Tabla 4: Parámetros morfométricos en las subunidad - Quebrada Achique	9
Tabla 5: Estaciones pluviométricas seleccionadas para el análisis de máximas avenidas	11
Tabla 6: Serie máximas anuales de precipitaciones máximas en 24 horas	12
Tabla 7: Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria (Guía de Prácticas Hidrológicas – OMM).	13
Tabla 8: Serie máximas anuales de precipitaciones máximas en 24 horas corregidas	13
Tabla 9: Valores de Kn para la prueba de datos dudosos	15
Tabla 10: Valor de probabilidad para las pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad.....	22
Tabla 11: Hipótesis Nula pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad	23
Tabla 12: Valor de probabilidad para las pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad – Estaciones corregidas	23
Tabla 13: Hipótesis Nula pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad corregida.....	24
Tabla 14: Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno	25
Tabla 15: Precipitaciones máximas para la quebrada Achique Sur	32
Tabla 16. Método de transformación de cada Subunidad – Qda. Achique Sur	36
Tabla 17. Curva número calibrado	37
Tabla 18. Caudales líquidos máximos para distintos períodos de retorno	38
Tabla 19. Caudales máximos recomendados para delimitación de fajas marginales	39
Tabla 20. Puntos de control certificado.....	40
Tabla 21. Longitud de cauce.....	41
Tabla 22. Pendiente cauce – Qda. Achique Sur	42
Tabla 23. Tamaños de malla en el modelo de quebradas.....	43
Tabla 24. Coeficientes de rugosidad de Manning empleado en la simulación hidráulica de quebradas.....	44
Tabla 25. Ancho mínimo de la faja marginal de acuerdo con el tipo de fuente	51
Tabla 26. Reubicación de hitos	54
Tabla 27. Ubicación de Hitos de la faja marginal	54

FIGURAS

Figura 1: Ubicación hidrográfica de la cuenca de la quebrada Achique Sur	8
Figura 2: Clasificación climática de la cuenca Mala y las estaciones hidrometeorológicas	10
Figura 3: Longitud de las estaciones meteorológicas - Precipitación máxima en 24 horas	11
Figura 4: Gráfica de Outliers – Estación San Lázaro de Escomarca	15
Figura 5: Gráfica de Outliers – Estación Huarochirí	16
Figura 6: Gráfica de Outliers – Estación Huancata	16
Figura 7: Gráfica de Outliers – Estación San José de Parac	16
Figura 8: Gráfica de Outliers – Estación Taculan 2	17
Figura 9: Gráfica de Outliers – Estación Huañec	17
Figura 10: Gráfica de Outliers – Estación Ayaviri	18
Figura 11: Gráfica de Outliers – Estación Carania.....	18
Figura 12: Gráfica de Outliers – Estación San Pedro de Pilas	18



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 13: Gráfica de Outliers – Estación Tanta.....	19
Figura 14: Gráfica de Outliers – Estación Yauyos	19
Figura 15: Gráfica de Outliers – Estación Langa	19
Figura 16: Gráfica de Outliers – Estación Matucana.....	20
Figura 17: Precipitaciones en diferentes periodos de retorno	26
Figura 18: Histograma de precipitación máxima sin transformación (a) y con transformación logarítmica (b) - TR 100 años.....	27
Figura 19: Análisis QQplot de precipitación máxima sin transformación (a) y con transformación logarítmica (b)- TR 100 años.....	27
Figura 20: Mapa de Voronoi de precipitación máxima – TR 100 años.....	27
Figura 21: Análisis de tendencia de la precipitación máxima – TR 100 años	27
Figura 22: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 10 años	29
Figura 23: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 25 años	29
Figura 24: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 50 años	30
Figura 25: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 100 años	30
Figura 26: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 200 años	31
Figura 27: Isoyetas de Precipitación Máxima en 24 Horas para diferentes periodos de retorno	31
Figura 28: Precipitación acumulada en % para el Yaku 2023 (14 de marzo)	32
Figura 29: Distribución de la Precipitación máxima de diseño	33
Figura 30: Hietograma quebrada Achique Sur – TR100 años	33
Figura 31: Esquema del modelo hidrológico – Quebrada Achique Sur	34
Figura 32: Esquema del modelo hidrológico – Cuenca Mala.....	36
Figura 33: Modelo Meteorológico	37
Figura 34: Especificaciones de control.....	38
Figura 35: Hidrograma para el periodo de retorno de 100 años	39
Figura 36: Punto de control de orden “C”.....	40
Figura 37: Modelo Digital de Elevación de la quebrada Achique Sur	41
Figura 38: Eje de cauce.....	41
Figura 39: Perfiles longitudinales del cauce	42
Figura 40: Tamaño de malla quebrada Achique Sur	44
Figura 42: Rugosidades en el modelo hidráulico	45
Figura 43: Ingreso de las condiciones de contorno	46
Figura 44: Ingreso del flujo no permanente.....	46
Figura 45: Hidrogramas de entrada ingresados en el software HEC-RAS – TR 100 años .	47
Figura 47: Tiempo de simulación	48
Figura 48: Tiempo de simulación	48
Figura 49: Tirantes máximos para el TR 100 años	49
Figura 50: Velocidades máximas para el TR 100 años	49



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

La ocupación informal de las riberas y cauces de ríos y quebradas activas es una problemática que incrementa el riesgo de desastres naturales, como inundaciones o huairos, al generar barreras artificiales que impiden el desarrollo natural de los cauces. Esta situación compromete la seguridad de infraestructuras y vidas humanas en áreas vulnerables.

La Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos (en adelante, LRH), y su reglamento, el Decreto Supremo N.º 001-2010-AG (en adelante, R-LRH), establecen la necesidad de mantener una faja marginal de terreno adyacente a los cauces, con el propósito de protegerlos y garantizar el uso primario del agua, el libre tránsito y otros servicios públicos. Las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico, cuyas dimensiones son fijadas por la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) de acuerdo con los criterios normativos.

De acuerdo con lo establecido por el Artículo N° 74 de la Ley de Recursos Hídricos (en adelante LRH), en los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una faja marginal de terreno necesario para la protección, el uso primario de agua, el libre tránsito, la pesca, camino de vigilancia u otros servicios.

El artículo 112 del reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (R-LRH), determina que las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico, están conformados por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales, las dimensiones en una o ambas márgenes de un cuerpo de agua son fijados por la Autoridad Administrativa de Agua (en adelante AAA) ; de acuerdo con los criterios establecidos por el reglamento, respetando los usos y costumbres.

El Artículo 113 del R-LRH, determina que las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico, están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales; las dimensiones en una o ambas márgenes de un cuerpo de agua son fijados por la AAA, de acuerdo con los criterios establecidos por el reglamento, respetando los usos y costumbres establecidos.

De acuerdo con el Artículo 114 del R-LRH, se determinan los criterios para la delimitación faja marginal, en el inciso b) Espacio necesario para la construcción, conservación y protección de las defensas ribereñas de los cauces y c) El espacio necesario para los usos públicos que se requieran.

1.2. Antecedentes

La LRH N° 29338 y su reglamento, establece que el estado dentro de la gestión prospectiva de riesgos delega a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), fomentar programas integrales de control de avenidas, desastres naturales o artificiales y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos de agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas necesarias.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Mediante Resolución Jefatural N°332-2016-ANA, de fecha 28 de diciembre del 2016, La Autoridad Nacional del Agua, aprueba el reglamento de la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en cursos fluviales y cuerpos de agua naturales y artificiales.

Decreto legislativo N°1354, modifica la ley N°30556, “Ley que aprueba disposiciones de carácter extraordinario para las intervenciones del gobierno nacional frente a desastres y que dispone la creación de la autoridad para la reconstrucción con cambios” donde se incorpora el enfoque de desarrollo urbano sostenible y saludable, donde se considera el uso del criterio de la gestión de riesgos frente al cambio climático.

Los eventos extremos en la cuenca del río Mala son determinados por las inundaciones fluviales y pluviales durante los periodos de FEN y recientemente por el fenómeno anómalo Ciclón YAKU 2023. Este último causo estragos principalmente en la zona norte del Perú, donde las temperaturas son más altas.

Los registros del FEN 2017 en el SENAMHI muestran que durante el mes de marzo de 2017 cerca del 50% de tiempo los caudales registrados en la estación Taculan superaron el umbral rojo establecido por la misma entidad, esto corrobora que este evento fue uno de los más extremos soportados en la zona de interés.

Durante el 26 febrero y 17 marzo del 2023 la estación hidrológica Taculan registro caudales superiores a 110 m³/s, en términos de volumen por el río Mala incluido las zonas de inundación transitaron cerca de 240 MMC que influenciaron drásticamente en las inundaciones de este fenómeno.

Mediante Oficio N° D00000405-2024-ANIN/DIME la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN) solicita la delimitación de la Faja Marginal de trece (13) quebradas prioritarias: Millay, Correviento, Ceniza, La Vuelta, Peña Prieta, La Capilla, Cochas, Huancani, Corral Quemado, Torihuasi, Viscas, Achique Sur y Taculan, ubicadas en la cuenca Mala.

Por ello, a través de la Autoridad Administrativa del Agua Cañete – Fortaleza en coordinación con la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN), se ha previsto realizar un estudio que comprende la delimitación de faja marginal de la quebrada Achique Sur, con la finalidad de contar con un documento técnico que sustente el espacio que ocupará la faja marginal para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, caminos de vigilancia u otro servicio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

- Delimitación de la faja marginal de la quebrada Achique Sur.

1.3.2. Objetivo específico.

- Evaluar y emitir informe técnico respecto a la delimitación de la faja marginal de la quebrada Achique Sur realizada mediante el modelamiento hidráulico.
- Evaluar las características hidrológicas de la quebrada Achique Sur.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

1.4. Metas

Se establece las coordenadas UTM WGS 84, que conformarán los hitos de la poligonal que define la faja marginal determinada para el estudio en cuestión, cuya longitud es de 3,73 km.

2. ANÁLISIS

2.1. Ubicación: Política, Geográfica e hidrográfica.

La cuenca de la quebrada Achique Sur se encuentra ubicada en el distrito San Joaquin y Taculan, provincia de Yauyos, departamento de Lima, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1: Ubicación política de la cuenca de la quebrada Achique Sur

Cuenca	Departamento	Provincia	Distrito
Quebrada Achique Sur	Lima	Yauyos	San Joaquin y Huañec

Fuente: Elaboración propia

2.2. Ubicación Hidrográfica.

La cuenca de la quebrada Achique Sur se encuentra dentro de la cuenca Quinches; identificado con código Pfafstetter (nivel 7): UH 1375522 (Tabla 2 y figura 1). La cuenca Mala se encuentra en la vertiente del Pacífico y limita por el Norte con la Unidad Hidrográfica Medio Baja Mala, por el Este con la Unidad Hidrográfica Cañete, por el Sur con la Unidad Hidrográfica Omas y Cañete y por el oeste con la unidad Hidrográfica Bajo Mala.

Tabla 2: Codificación Pfafstetter en la que se encuentra la quebrada Achique Sur

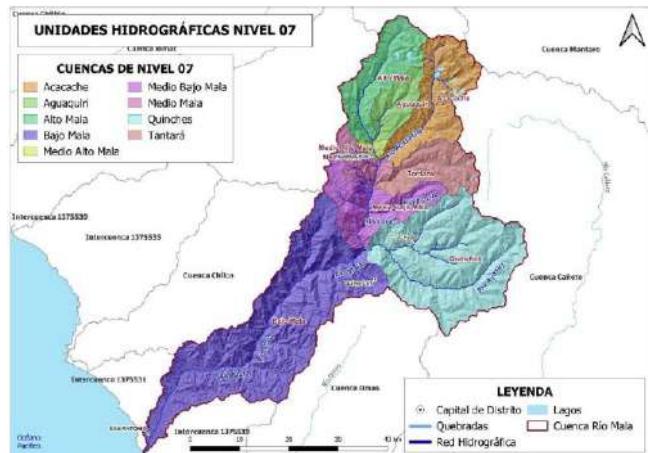
Unidad Hidrográfica Mala		
Área		2330.81 km ²
Nivel	Codificación	Nombre
1	1	Región Hidrográfica del Pacífico
2	13	Unidad Hidrográfica 13
3	137	Unidad Hidrográfica 137
4	1375	Unidad Hidrográfica 1375
5	13755	Unidad Hidrográfica 13755
6	137552	Cuenca Mala
7	1375522	Quinches

Fuente: Elaboración propia

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 1: Ubicación hidrográfica de la cuenca de la quebrada Achique Sur



Fuente: Estudio Base de Hidrología: Entrega de las Defensas Ribereñas del Río Mala (Paquete R-09)

2.3. Descripción del tramo de estudio

La cuenca de la quebrada Achique Sur, está ubicada en los distritos de San Joaquin y Huañec, provincia de Yauyos, Región de Lima. Esta quebrada pertenece a la Cuenca hidrográfica del Pacífico y confluye al río Mala. El área que posee es de 4,48 km² con una longitud de cauce principal de 3,47 km aproximadamente. La altitud mínima es de 3 081 m.s.n.m. y una máxima de 4 391 m.s.n.m.

2.4. Hidrología

Se ha recopilado la información hidrológica denominado: «Estudio base de Hidrología – Entrega de las Defensas Ribereñas del Río Mala (Paquete R-09)» proporcionada por la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN). Dentro de este estudio, la quebrada Achiquire Sur es considerada como uno de los principales aportantes de la cuenca río Mala. Además del estudio denominado: «Disponibilidad Hídrica en las Unidades Hidrográficas Mala y Omas» realizado por la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos, en el cual, recopilaremos información relacionada al tipo de pérdidas que se genera en la cuenca en estudio (Curva número, Abstracción inicial)

2.4.1. Parámetros geomorfológicos.

Los parámetros geomorfológicos de la quebrada Achique Sur han sido evaluados en base a los parámetros generales, forma, relieve y drenaje que se describen a continuación según los resultados obtenidos.

- Coeficiente de compacidad: Se adapta la clasificación de la “FAO – 1985” que indica Redonda a oval redonda (1.0 -1.25: Alta respuesta de la cuenca ante un evento), Oval redonda a oval oblonga (1.25-1.50: moderada respuesta de la cuenca) y Oval oblonga a rectangular oblonga (>1.5: baja respuesta de la cuenca).
 - El factor de forma es un índice que permite establecer la tendencia morfológica general en función de la longitud axial de la cuenca y de su ancho promedio. Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

tiende a cero; mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor forma tiende a uno.

- La razón de elongación es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que de la cuenca y la longitud de esta, fue propuesta por Schumm (1956), valores inferiores a 1 implicarán formas alargadas, cuanto menor sea más alargada será la forma de la cuenca.
- Una densidad de red de drenaje alta indica que hay una gran cantidad de canales o ríos en proporción al área de la cuenca. Esto puede ser indicativo de una cuenca con una topografía más erosionada, donde hay una mayor cantidad de canales pequeños o arroyos que contribuyen al flujo de agua. Por otro lado, una densidad de red de drenaje baja significa que hay menos canales en comparación con el área de la cuenca. Esto podría indicar una topografía más plana o menos erosionada, donde los canales son menos numerosos o más grandes. Valores con 0.5 km/km² indican una red de drenaje baja y valores de 3.5 km/km² cuencas excepcionalmente bien drenadas.

Las características geomorfológicas resultan relevantes para comprender el comportamiento de una cuenca en términos de su configuración, topografía y sistema de drenaje. Estos aspectos son fundamentales en el actual estudio hidrológico. Asimismo, en el estudio en mención realizaron los cálculos de las principales características geomorfológicas de la quebrada Achique Sur:

Tabla 3: Parámetros principales en la quebrada Achique Sur

Río o Quebrada	Área [km ²]	Perímetro [km]	Elevación media [m s.n.m.]	Elevación mínima [m s.n.m.]	Elevación máxima [m s.n.m.]	Longitud corriente máxima [km]	Pendiente corriente máxima [m/m]	Longitud corriente máxima desde el centroide [km]	Pendiente corriente máxima desde el centroide [m/m]	Pendiente media de la subcuenca [m/m]	Densidad de la red de drenaje [km/km ²]
Quebrada Achique Sur	1.2	8.2	3673	3081	4391	3.27	0.4012	1.70	0.3045	0.5168	1.168
Quebrada Ceniza	12.8	28.3	1134	283	2416	10.06	0.2124	4.72	0.1337	0.4947	1.062
Quebrada Cochas	24.6	31.8	1548	415	2288	11.28	0.1609	6.76	0.1430	0.6032	0.893
Quebrada Corral Quemado	1.7	8.1	1246	635	1784	2.87	0.4015	1.63	0.2761	0.6845	0.987
Quebrada Corriendo	2.6	10.8	516	215	901	3.99	0.1732	2.21	0.0881	0.4327	1.127
Quebrada Huancani	89.9	69.8	2059	604	3488	26.39	0.1095	12.72	0.0519	0.5299	0.966
Quebrada La Capilla	5.5	17.5	1184	407	1860	6.61	0.2191	3.19	0.2218	0.5542	1.085
Quebrada La Vuelta	28.3	30.7	1367	345	2419	10.48	0.1872	5.76	0.1128	0.5802	0.952
Quebrada Milay	28.9	39.4	637	106	1538	15.79	0.0908	7.90	0.0439	0.4036	1.054
Quebrada P. Prieta	2.0	10.1	919	380	1608	3.78	0.3255	1.98	0.2178	0.5699	1.249
Quebrada Taculán	7.3	19.8	3523	2420	4428	7.28	0.2772	3.82	0.2556	0.5071	1.092
Quebrada Torihuasi	0.8	6.0	1404	738	1948	2.26	0.5390	1.28	0.4968	0.6875	0.586
Quebrada Viscas	16.9	30.6	2581	1414	3698	11.15	0.2151	4.57	0.1397	0.5035	1.480

Fuente: Estudio Base de Hidrología: Entrega de las Defensas Ribereñas del Río Mala (Paquete R-09)

Así mismo, para realizar un análisis detallado de la cuenca en estudio, se ha trabajado con tres subunidades hidrográficas. A continuación, se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 4: Parámetros morfométricos en las subunidad - Quebrada Achique

Río o Quebrada	Parámetros de forma de la cuenca					
	Área (km ²)	Perímetro (km ²)	Long. corriente máxima (km)	Long. corriente máxima desde el centroide (km)	Coeficiente de compacidad	Factor de Forma
SU2	1,78	8,46	3,23	1,83	1,79	0,17
SU4	1,23	6,00	3,44	1,82	1,53	0,10
SU1	1,47	8,42	4,15	2,11	1,96	0,09



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Río o Quebrada	Parámetros de relieve de la cuenca						
	Elev. Máx. cuenca (msnm)	Elev. Med cuenca (msnm)	Elev. Min cuenca (msnm)	Pendiente cauce (m/m)	Pendiente cuenca (m/m)	Elev. Min cauce (msnm)	Elev. Máx Cauce (msnm)
SU2	4 391	3 673	3 081	0,56	0,52	3 081	4 436
SU4	4 389	3 673	3 081	0,50	0,52	3 081	4 334
SU1	4 390	3 673	3 081	0,52	0,52	3 081	4 480

Río o Quebrada	Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca									
	Kirpich (hr)	Met. Kerby (hr)	Kerby - Kirpich (Hr)	California Culverts Practice (hr)	Ven te Chow (hr)	Temez (hr)	Tournon (Hr)	Passini (Hr)	Rango Tc	Tc (hr)
SU2	0,20	0,41	0,77	0,23	0,41	0,86	0,45	0,26	[0,24 – 0,87]	27,26
SU4	0,22	0,43	0,82	0,25	0,44	0,93	0,87	0,25	[0,34 – 1,18]	27,92
SU1	0,26	0,47	0,90	0,30	0,49	1,09	0,86	0,27	[0,29 – 1,01]	31,26

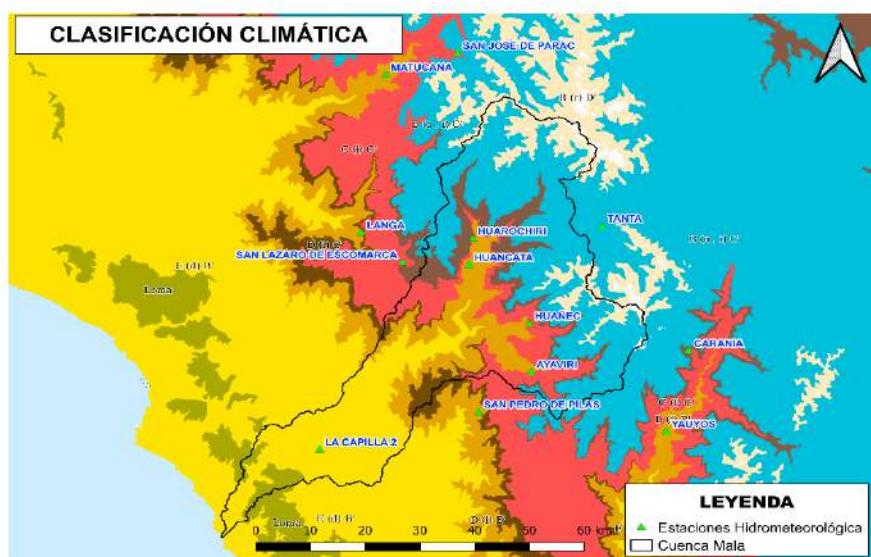
Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Precipitación máxima 24 horas

De acuerdo con el estudio hidrológico proporcionado por ANIN, se cuenta con registros disponibles desde el año 1986 hasta 2023 de manera discontinua en las estaciones pluviométricas relevantes para el proyecto. La información proporcionada referente a la información pluviométrica, el área de estudio se encuentra rodeada por una red pluviométrica compuesta por once (11) estaciones que cuentan con un registro considerable de datos de precipitación, cruciales para el estudio de máximas avenidas.

Sin embargo, y de acuerdo al análisis realizado se ha optado por añadir dos estaciones hidrometeorológicas, siendo éstas Matucana y Langa, debido a la cercanía que se encuentran dichas estaciones a la cuenca hidrográfica, y además comparten la misma clasificación climática con la cuenca Mala, eso te de acuerdo con el mapa climático del Perú, elaborado por el SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>), según el método de Clasificación Climática de Warren Thorntwaite - SENAMHI (2020).

Figura 2: Clasificación climática de la cuenca Mala y las estaciones hidrometeorológicas



Fuente: Elaboración propia



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

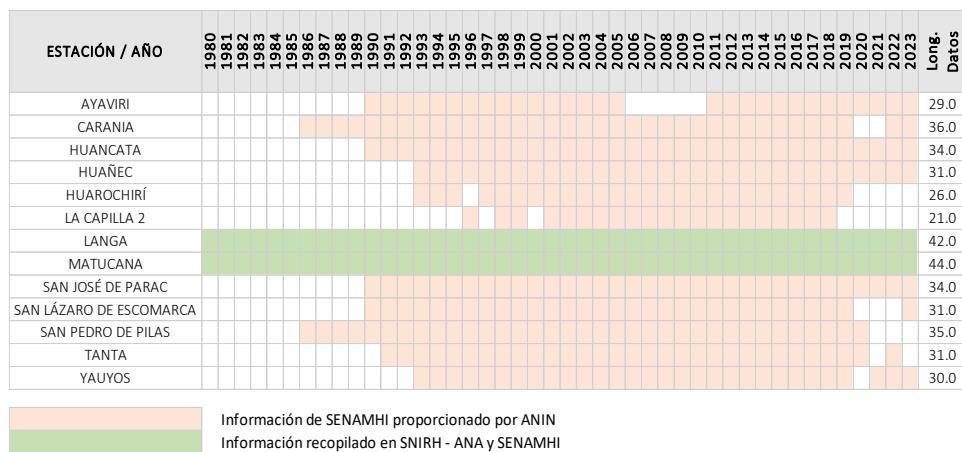
Tabla 5: Estaciones pluviométricas seleccionadas para el análisis de máximas avenidas

Estación	Este	Norte	Altitud	Escala	Cuenca	Registro
Ayaviri	376 427	8 630 933	3 224	Diaria	Mala	29
Caranía	405 177	8 635 208	3 840	Diaria	Cañete	36
Huancata	365 027	8 652 551	2 684	Diaria	Mala	34
Huañec	376 135	8 640 720	3 200	Diaria	Mala	31
Huarochirí	365 695	8 657 788	3 120	Diaria	Mala	26
Taculan 2	337 761	8 615 299	414	Diaria	Mala	21
Langa	345 361	8 659 060	2 863	Diaria	Lurín	42
Matucana	349 887	8 690 865	2 417	Diaria	Rímac	44
San José de Parac	362 933	8 695 196	3 829	Diaria	Rímac	34
San Lázaro de Escomarca	352 901	8 653 078	3 758	Diaria	Lurín	31
San Pedro de Pilas	366 802	8 622 847	2 690	Diaria	Omas	35
Tanta	389 369	8 660 339	4 323	Diaria	Cañete	31
Yauyos	401 075	8 618 901	2 285	Diaria	Cañete	30

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Disponibilidad de Información

De acuerdo con la información de precipitación máximas de 24 horas proporcionado por ANIN, se cuenta con registros disponibles desde el año 1980 hasta 2023 de manera discontinua en las estaciones pluviométricas relevantes para este estudio. Se puede apreciar que la mayoría de ellas tiene una longitud de registro suficiente (mayor a 20 años), así mismo para las estaciones de Langa y Matucana, esta fue recopilada de la base del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos de La Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), las cuales fueron descargadas de los siguientes enlaces: <https://snirh.ana.gob.pe/ANDREA/> y <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>, respectivamente. La tabla 3 muestra los períodos de disponibilidad de datos.

Figura 3: Longitud de las estaciones meteorológicas - Precipitación máxima en 24 horas

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestra el resumen de los registros históricos de precipitación máxima en 24 horas para todas las estaciones utilizadas.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Tabla 6: Serie máximas anuales de precipitaciones máximas en 24 horas

Año	SAN LÁZARO DE ESCOMARCA	HUAROCHIRÍ	HUANCATA	SAN JOSÉ DE PARAC	TACULAN 2	HUÑEC	AYAVIRI	CARANIA	SAN PEDRO DE PILAS	TANTA	YAUYOS	LANGA	MATUCANA
1980												18,2	8,8
1981												42,5	12,5
1982												20	9,5
1983												7,3	25
1984												9,2	21,5
1985												18,2	19,8
1986							20	16,0				12,2	27,2
1987							20,9	21,9				13,2	20,9
1988							33,1	17,7				15	12,3
1989							24,4	15,5				13,2	10,7
1990	15		12,5	14,6		25,6	26	12,4				8,9	10,6
1991	10,1		6,9	18,4		27,4	12,4	18,5	11,5			6,3	17,6
1992	10		10,5	12,4		29,9	15,1	10,5	16,0			4,2	30,5
1993	12,6	16,2	12	19,7		20,6	29,7	16	44,0	41,6	17,3	26,8	30,3
1994	21	16	12	25,4		15	30,2	14,1	19,0	26,4	31,5	29,9	15,5
1995	15	22,3	15,3	28,8		20	30,2	13,5	23,4	27,0	12,2	23,9	22,3
1996	26		20,3	17,8	4,2	19,3	24,6	16,1	12,8	31,7	24,3	13,2	13,6
1997	43	22,5	33	18,1		15,6	46,2	14,6	15,2	27,4	18,8	31,3	9,5
1998	12	38,6	25,3	18,8	3,8	20,3	32,4	14,1	30,1	41,8	14,7	23,5	21,9
1999	16,5	28,7	17,7	28,4	1,2	18,2	23,1	15,6	24,7	24,5	19,9	31,4	19,8
2000	11,8	29,4	16,3	28,9		7,3	35,4	27	11,2	28,9	12,9	14,8	14,3
2001	34,6	24,8	19,6	23,5	2,5	9,4	24	14,9	15,3	22,7	13,3	29,5	16,2
2002	25,5	20,7	20,1	19,9	4,9	13,3	28,7	17,7	23,5	28,2	11,6	20,6	15,7
2003	25,2	25,1	18,4	26,6	1,7	15,2	18,2	18,9	13,1	28,0	14,4	22,4	19,5
2004	27,5	30	19,2	18,1	2,6	14,3	29,2	21,4	8,7	32,9	14,2	18,3	18
2005	34,9	18,6	19,3	23,4	1	16,4	21	20,5	9,7	22,0	13,6	11,5	21,5
2006	74	22,8	25	23,6	3,8	17,5		30,1	32,1	29,5	20,6	27,4	14,3
2007	22	28,2	17	24,4	1,7	23,8		23,4	15,7	33,6	19,8	18,3	16,6
2008	21,5	23,6	40,3	23,5	1,9	20,8		21,9	27,7	27,8	19,9	26,1	16,5
2009	21,5	38,5	24	22,7	4	20,2		20,5	26,1	33,0	15,1	34,4	23,1
2010	32,3	29,3	17	25,2	4,3	19,3		20,3	42,2	32,5	18,0	46,9	17
2011	13,2	22	12,2	27,1	1	22,8	20	24,8	10,0	23,3	23,2	18,1	14,5
2012	27,8	24,3	26,5	21,5	9,2	22,8	40,2	22,5	40,5	28,7	33,0	19,2	19,8
2013	30,4	22,5	14	22,1	1	22,1	24,3	18,1	23,5	38,6	21,7	20,1	21,3
2014	43,8	20,4	15,5	20,5	3,4	22,3	25,5	20,3	22,3	25,3	28,0	15,6	12,2
2015	35,8	26,9	24,7	19,5	4,5	21,5	27,8	18,7	23,9	33,2	13,2	19,7	21,3
2016	24,2	18,8	48,5	21,5	3,2	20,5	35,2	16,8	14,4	31,0	17,7	11	16,4
2017	32,4	30,2	38,7	22	5,3	32,4	36,1	38,5	25,4	38,6	25,0	26,9	22,8
2018	34,7	33	20	25,2	1	24,5	21,3	23,8	13,2	17,3	13,0	12,3	21,2
2019	25,9	22,8	17,1	21,4		22,4	29,4	19,2	45,2	15,6	21,3	25,4	21,5
2020			28,1	19,1		19,8	27,9		38,5	14,4		13,1	20
2021			23,4	21,3		26,7	24,1					15,4	11,5
2022			20,2	26,1		15,5	24,3	8,8		16,4	19,2		16
2023	32,6		34,5	22,3		15,6	34,2	10,5			27	33,4	14,4

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los datos de precipitaciones obtenidos del SENAMHI, se efectuó la corrección de los valores multiplicándolos por un factor de seguridad de 1.13 de acuerdo con la recomendación que realiza la Organización Meteorológica Mundial (OMM N° 168, 2011), que toma en consideración lo referido en el párrafo



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

precedente, y considerando que los datos adquiridos de SENAMHI provienen de una (01) observación por día, se ha aplicado un factor de ajuste de 1,13.

Tabla 7: Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria (Guía de Prácticas Hidrológicas – OMM).

Número de observaciones /día	1	2	3-4	5-8	9-24	> 24
Factor de ajuste	1,13	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

Fuente: *Guía de Prácticas Hidrológicas Volumen II. OMM-Nº 168*

Según lo indicado anteriormente, los valores de precipitaciones corregidos para las estaciones consideradas en el análisis de precipitaciones se muestran en la tabla 40

Tabla 8: Serie máximas anuales de precipitaciones máximas en 24 horas corregidas

Año	SAN LÁZARO DE ESCOMARCA	HUAROCHIRÍ	HUANCATA	SAN JOSÉ DE PARAC	TACULAN 2	HUÑEC	AYAVIRI	CARANIA	SAN PEDRO DE PILAS	TANTA	YAUYOS	LARGA	MATUCANA
1980												20,57	9,94
1981												48,03	14,13
1982												22,60	10,74
1983												8,25	28,25
1984												10,40	24,30
1985												20,57	22,37
1986							22,60	18,08				13,79	30,74
1987							23,62	24,75				14,92	23,62
1988							37,40	20,00				16,95	13,90
1989							27,57	17,52				14,92	12,09
1990	16,95		14,13	16,50			28,93	29,38	14,01			10,06	11,98
1991	11,41		7,80	20,79			30,96	14,01	20,91	13,00		7,12	19,89
1992	11,30		11,87	14,01			33,79	17,06	11,87	18,08		4,75	34,47
1993	14,24	18,31	13,56	22,26		23,28	33,56	18,08	49,72	47,01	19,55	30,28	34,24
1994	23,73	18,08	13,56	28,70		16,95	34,13	15,93	21,47	29,83	35,60	33,79	17,52
1995	16,95	25,20	17,29	32,54		22,60	34,13	15,26	26,44	30,51	13,79	27,01	25,20
1996	29,38		22,94	20,11	4,75	21,81	27,80	18,19	14,46	35,82	27,46	14,92	15,37
1997	48,59	25,43	37,29	20,45		17,63	52,21	16,50	17,18	30,96	21,24	35,37	10,74
1998	13,56	43,62	28,59	21,24	4,29	22,94	36,61	15,93	34,01	47,23	16,61	26,56	24,75
1999	18,65	32,43	20,00	32,09	1,36	20,57	26,10	17,63	27,91	27,69	22,49	35,48	22,37
2000	13,33	33,22	18,42	32,66		8,25	40,00	30,51	12,66	32,66	14,58	16,72	16,16
2001	39,10	28,02	22,15	26,56	2,83	10,62	27,12	16,84	17,29	25,65	15,03	33,34	18,31
2002	28,82	23,39	22,71	22,49	5,54	15,03	32,43	20,00	26,56	31,87	13,11	23,28	17,74
2003	28,48	28,36	20,79	30,06	1,92	17,18	20,57	21,36	14,80	31,64	16,27	25,31	22,04
2004	31,08	33,90	21,70	20,45	2,94	16,16	33,00	24,18	9,83	37,18	16,05	20,68	20,34
2005	39,44	21,02	21,81	26,44	1,13	18,53	23,73	23,17	10,96	24,86	15,37	13,00	24,30
2006	83,62	25,76	28,25	26,67	4,29	19,78		34,01	36,27	33,34	23,28	30,96	16,16
2007	24,86	31,87	19,21	27,57	1,92	26,89		26,44	17,74	37,97	22,37	20,68	18,76
2008	24,30	26,67	45,54	26,56	2,15	23,50		24,75	31,30	31,41	22,49	29,49	18,65
2009	24,30	43,51	27,12	25,65	4,52	22,83		23,17	29,49	37,29	17,06	38,87	26,10
2010	36,50	33,11	19,21	28,48	4,86	21,81		22,94	47,69	36,73	20,34	53,00	19,21
2011	14,92	24,86	13,79	30,62	1,13	25,76	22,60	28,02	11,30	26,33	26,22	20,45	16,39



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Año	SAN LÁZARO DE ESCOMARCA	HUAROCHIRÍ	HUANCATA	SAN JOSÉ DE PARAC	TACULAN 2	HUÁNEC	AYAVIRI	CARANIA	SAN PEDRO DE PILAS	TANTA	YAUYOS	LANGA	MATUCANA
2012	31,41	27,46	29,95	24,30	10,40	25,76	45,43	25,43	45,77	32,43	37,29	21,70	22,37
2013	34,35	25,43	15,82	24,97	1,13	24,97	27,46	20,45	26,56	43,62	24,52	22,71	24,07
2014	49,49	23,05	17,52	23,17	3,84	25,20	28,82	22,94	25,20	28,59	31,64	17,63	13,79
2015	40,45	30,40	27,91	22,04	5,09	24,30	31,41	21,13	27,01	37,52	14,92	22,26	24,07
2016	27,35	21,24	54,81	24,30	3,62	23,17	39,78	18,98	16,27	35,03	20,00	12,43	18,53
2017	36,61	34,13	43,73	24,86	5,99	36,61	40,79	43,51	28,70	43,62	28,25	30,40	25,76
2018	39,21	37,29	22,60	28,48	1,13	27,69	24,07	26,89	14,92	19,55	14,69	13,90	23,96
2019	29,27	25,76	19,32	24,18		25,31	33,22	21,70	51,08	17,63	24,07	28,70	24,30
2020			31,75	21,58		22,37	31,53		43,51	16,27		14,80	22,60
2021			26,44	24,07		30,17	27,23				17,40		13,00
2022			22,83	29,49		17,52	27,46	9,94		18,53	21,70		18,08
2023	36,84		38,99	25,20		17,63	38,65	11,87			30,51	37,74	16,27

Fuente: Elaboración propia

2.4.4. Análisis de datos atípicos (Outliers)

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

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

$$Y_H = \bar{Y} + K_n s_y$$

$$Y_L = \bar{Y} - K_n s_y$$

Donde

Y_H : Límite superior para datos dudosos en unidades logarítmicas.

Y_L : Límite 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 registradas.

K_n : Valor tabulado para una muestra de tamaño n (ver Tabla 9).



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Tabla 9: Valores de K_N para la prueba de datos dudosos

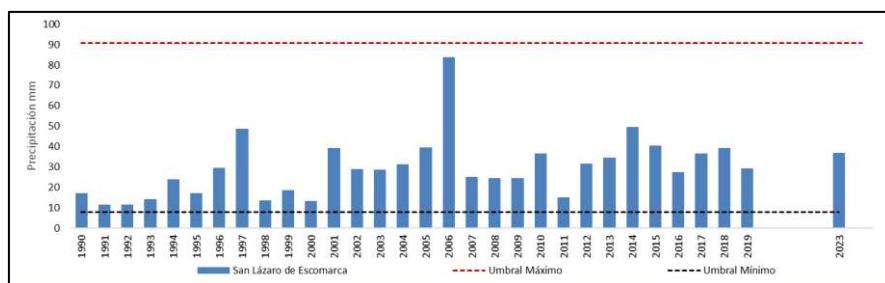
Sample size	K_N value						
10	2.036	45	2.727	80	2.940	115	3.064
11	2.088	46	2.736	81	2.945	116	3.067
12	2.134	47	2.744	82	2.949	117	3.070
13	2.175	48	2.753	83	2.953	118	3.073
14	2.213	49	2.760	84	2.957	119	3.075
15	2.247	50	2.768	85	2.961	120	3.078
16	2.279	51	2.775	86	2.966	121	3.081
17	2.309	52	2.783	87	2.970	122	3.083
18	2.335	53	2.790	88	2.973	123	3.086
19	2.361	54	2.798	89	2.977	124	3.089
20	2.385	55	2.804	90	2.981	125	3.092
21	2.408	56	2.811	91	2.984	126	3.095
22	2.429	57	2.818	92	2.989	127	3.097
23	2.448	58	2.824	93	2.993	128	3.100
24	2.467	59	2.831	94	2.996	129	3.102
25	2.486	60	2.837	95	3.000	130	3.104
26	2.502	61	2.842	96	3.003	131	3.107
27	2.519	62	2.849	97	3.006	132	3.109
28	2.534	63	2.854	98	3.011	133	3.112
29	2.549	64	2.860	99	3.014	134	3.114
30	2.563	65	2.866	100	3.017	135	3.116
31	2.577	66	2.871	101	3.021	136	3.119
32	2.591	67	2.877	102	3.024	137	3.122
33	2.604	68	2.883	103	3.027	138	3.124
34	2.616	69	2.888	104	3.030	139	3.126
35	2.628	70	2.893	105	3.033	140	3.129
36	2.639	71	2.897	106	3.037	141	3.131
37	2.650	72	2.903	107	3.040	142	3.133
38	2.661	73	2.908	108	3.043	143	3.135
39	2.671	74	2.912	109	3.046	144	3.138
40	2.682	75	2.917	110	3.049	145	3.140
41	2.692	76	2.922	111	3.052	146	3.142
42	2.700	77	2.927	112	3.055	147	3.144
43	2.710	78	2.931	113	3.058	148	3.146
44	2.719	79	2.935	114	3.061	149	3.148

Fuente: Bulletin B17 - Guide for Determining Flood Flow Frecuency

Una vez concluido el análisis de datos dudosos en las series de precipitación diaria que superan los umbrales establecidos de las estaciones pluviométricas, se obtienen los resultados y gráficas que se muestran desde la figura 4 hasta la figura 16

- En la estación San Lázaro de Escomarca, se cuenta con una serie de 31 años de registro, que cubre desde el año 1990 hasta 2023, presentando el año 2020, 2021 y 2022 sin información. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

Figura 4: Gráfica de Outliers – Estación San Lázaro de Escomarca



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Huarochirí, se cuenta con una serie de 26 años de registro, que cubre desde el año 1993 hasta 2019, con algunos años sin información.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

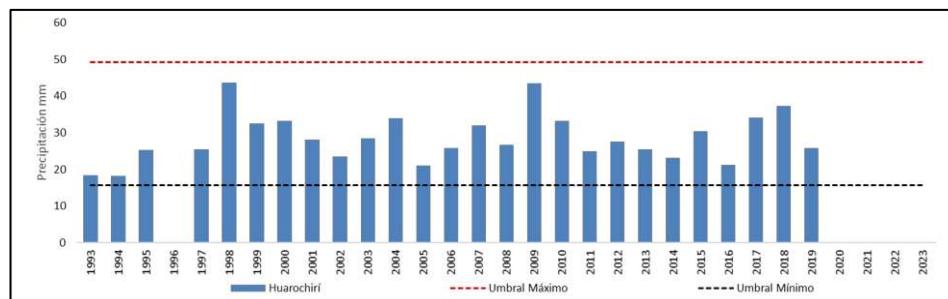


“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

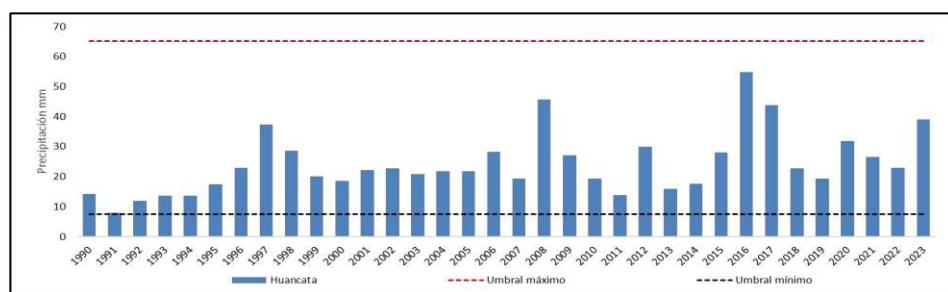
Figura 5: Gráfica de Outliers – Estación Huarochirí



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Huancata, se cuenta con una serie de 34 años de registro, que cubre desde el año 1990 hasta 2023. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

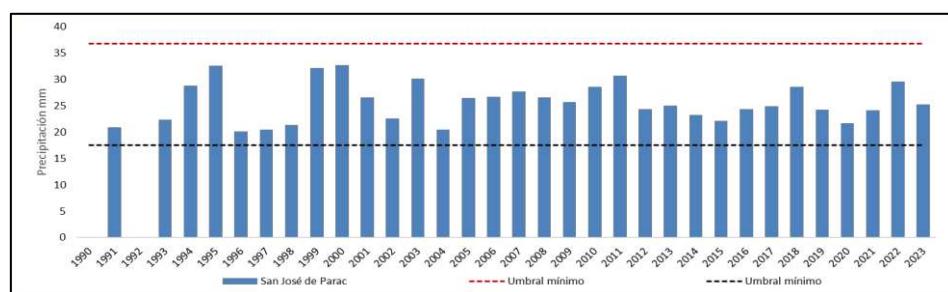
Figura 6: Gráfica de Outliers – Estación Huancata



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación San José de Parac, se cuenta con una serie de 34 años de registro, que cubre desde el año 1990 hasta 2023. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que las precipitaciones máximas de los años 1990 y 1992 se encuentran por debajo del umbral inferior, por lo que se procedió a retirar esos datos.

Figura 7: Gráfica de Outliers – Estación San José de Parac



Fuente: Elaboración Propia



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

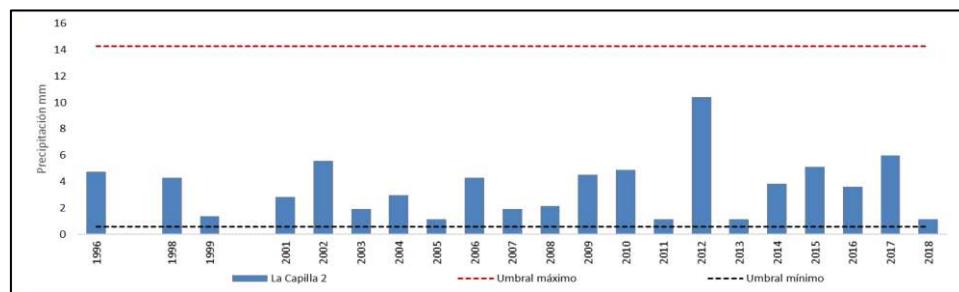


“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

- En la estación Taculan, se cuenta con una serie de 21 años de registro, que cubre desde el año 1996 hasta 2018 con algunos años sin información. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

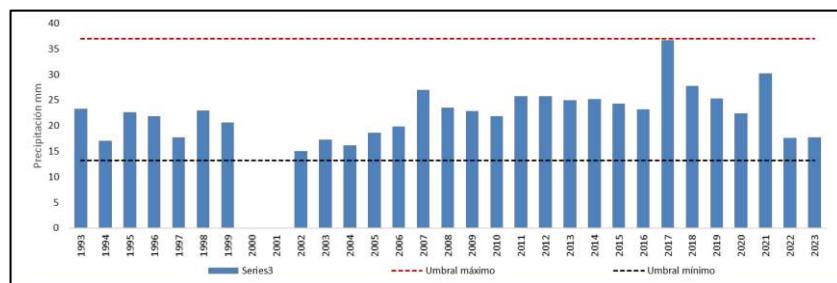
Figura 8: Gráfica de Outliers – Estación Taculan 2



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Huañec, se cuenta con una serie de 31 años de registro, que cubre desde el año 1993 hasta 2023. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que las precipitaciones máximas de los años 2000 y 2001 se encuentran por debajo del umbral inferior, por lo que se procedió a retirar esos datos.

Figura 9: Gráfica de Outliers – Estación Huañec



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Ayaviri, se cuenta con una serie de 29 años de registro, que cubre desde el año 1990 hasta 2023 con algunos años sin información. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.



PERÚ

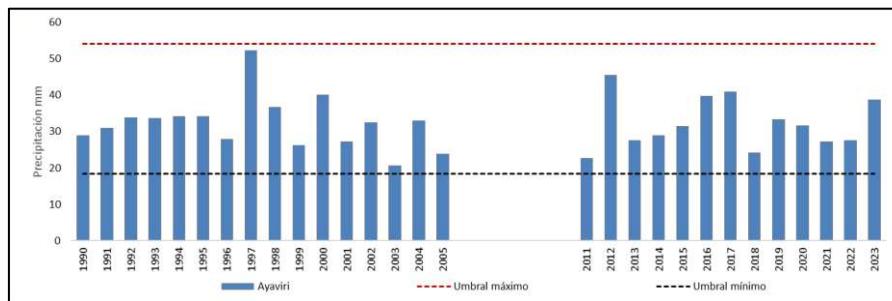
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

 ANA
Autoridad Nacional del Agua

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

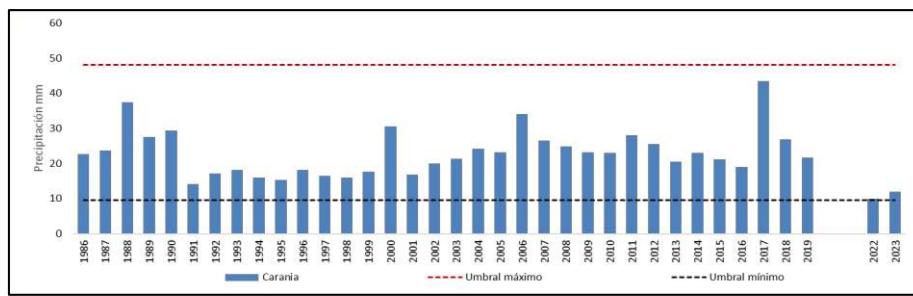
Figura 10: Gráfica de Outliers – Estación Ayaviri



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Caranía, se cuenta con una serie de 36 años de registro, que cubre desde el año 1986 hasta 2023 con algunos años sin información. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

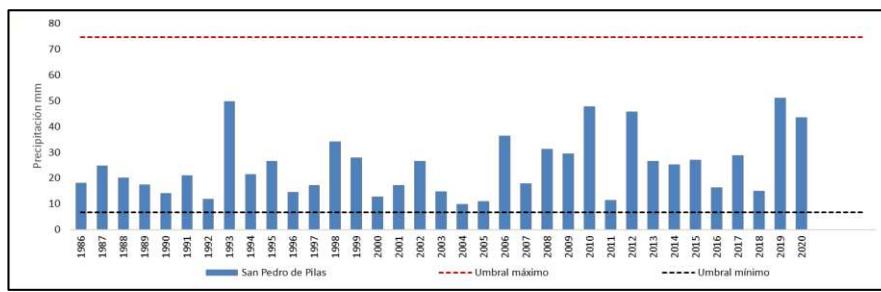
Figura 11: Gráfica de Outliers – Estación Caranía



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación San Pedro de Pilas, se cuenta con una serie de 35 años de registro, que cubre desde el año 1986 hasta 2020. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

Figura 12: Gráfica de Outliers – Estación San Pedro de Pilas



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Tanta, se cuenta con una serie de 31 años de registro, que cubre desde el año 1991 hasta 2022, con algunos años sin información. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

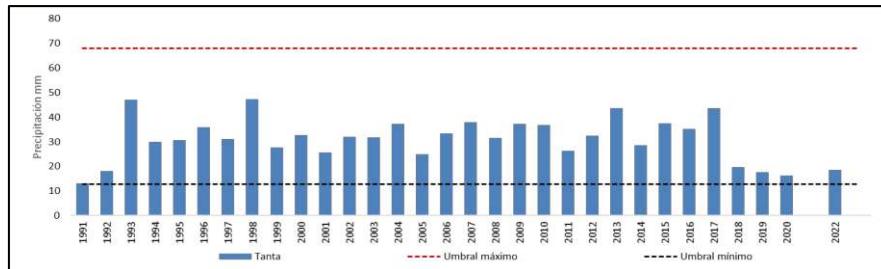


“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

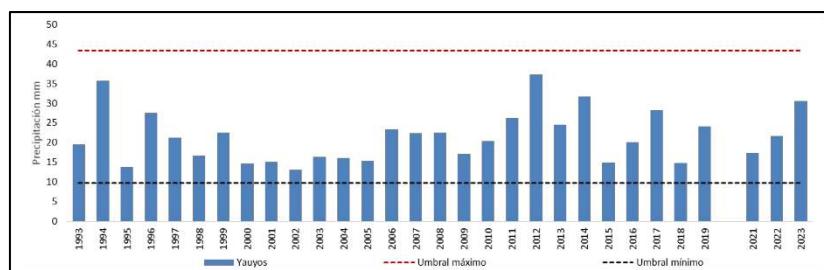
Figura 13: Gráfica de Outliers – Estación Tanta



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Yauyos, se cuenta con una serie de 30 años de registro, que cubre desde el año 1993 hasta 2023, sin información en el año 2022. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

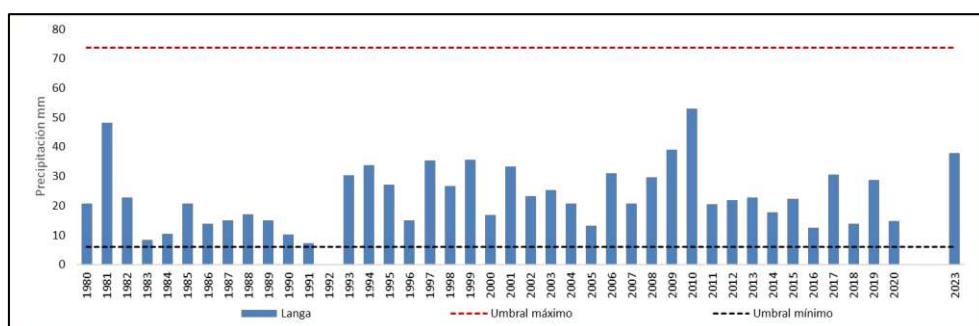
Figura 14: Gráfica de Outliers – Estación Yauyos



Fuente: Elaboración Propia

- En la estación Langa, se cuenta con una serie de 42 años de registro, que cubre desde el año 1980 hasta 2023, con algunos años sin información. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que la precipitación máxima del año 1992 se encuentra por debajo del umbral inferior, por lo que se procedió a retirar esos datos.

Figura 15: Gráfica de Outliers – Estación Langa



Fuente: Elaboración Propia



PERÚ

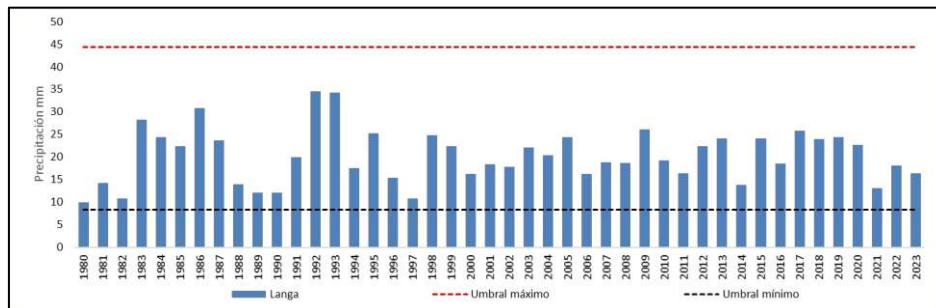
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

- En la estación Matucana, se cuenta con una serie de 44 años de registro, que cubre desde el año 1980 hasta 2023. Tras realizar el análisis de datos atípicos se obtuvo como resultado, que todos los valores de precipitaciones máximas se encuentran entre los umbrales superior e inferior, por lo que se confirma que la serie no presenta datos atípicos.

Figura 16: Gráfica de Outliers – Estación Matucana



Fuente: Elaboración Propia

2.4.5. Análisis de independencia, estacionariedad y homogeneidad

Castro, L. M., y Carvajal Escobar, Y. (2010) menciona que para la planeación y diseño de muchos proyectos relacionados con el agua es necesario el uso de información hidroclimatológica proveniente de eventos hidrometeorológicos gobernados por las leyes del azar.

Aunque con los años la recolección de información hidroclimatológica (IH) ha ido mejorando, aún muchos de los registros en los que se basa la meteorología aplicada son deficientes tanto en calidad como en cantidad, observándose series con falta de información, con cambios, tendencias y datos atípicos, circunstancias que tergiversan los resultados obtenidos de la modelación o simulación.

Para el uso correcto de la información hidroclimatológica en la ingeniería de los recursos hídricos, ésta debe cumplir con el supuesto de estacionalidad, consistencia y homogeneidad, sin dejar aparte, en algunos casos, la independencia entre las observaciones.

El análisis exploratorio de los datos (EDA) por medio gráfico se realiza con el fin de comprobar tendencias y cambios en la serie de tiempo por medio visual. Es considerado como el primer análisis a realizar antes de cualquier análisis confirmatorio (cuantitativo) y, más aún, antes de utilizar la información hidroclimatológica para modelos y simulaciones.

El uso de la información sin previa evaluación de su estructura, consistencia, homogeneidad, etc., constituye un enfoque de caja negra que incrementa el grado de incertidumbre sobre la validez de los resultados obtenidos (Lobo, 2004).

Prueba de independencia, estacionariedad y homogeneidad

Como se mencionó anteriormente, antes de proceder al ajuste de una muestra con una distribución estadística, se debe verificar si los datos son



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

independientes e idénticamente. distribuidos (iid). Softwares como HYFRAN-PLUS y RStudio se encuentran disponibles pruebas estadísticas para verificar las hipótesis de independencia, estacionariedad y homogeneidad. Esas son las tres pruebas de hipótesis siguientes:

1. Test de independencia (Wald-Wolfowitz)
2. Test de estacionariedad (Kendall)
3. Test de homogeneidad por periodo cronológico (Wilcoxon)

Test de Independencia

El análisis estadístico requiere que la muestra esté compuesta por datos aleatorios e independientes entre sí. Para ello, se busca que la probabilidad de ocurrencia de uno (cualquiera de ellos), no dependa de la ocurrencia de los datos que le preceden y que tampoco este influya en los datos que le siguen o datos futuros.

Una de las pruebas estadísticas de independencia es la de secuencias de una muestra de Wald-Wolfowitz en la cual las hipótesis a contrastar son las siguientes:

- H0: El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.
- H1: El proceso que genera el conjunto de datos numéricos no es aleatorio.

En esta prueba se compara cada valor observado con la media de muestra. Se le asigna a cada dato un término E o F (éxito o fracaso) dependiendo de si el valor es superior o inferior a la media de la muestra. Para realizar esta prueba se utilizó el lenguaje de programación R en el entorno RStudio empleando el paquete Trend.

Test de Estacionariedad

La Prueba de estacionariedad se refiere a que las propiedades de la serie no varían con respecto al tiempo, significa que su variación (la forma en la que cambia) no cambia en función del tiempo prediciendo que las características estadísticas de nuestra serie de tiempo serán las mismas en el futuro como en el pasado.

La importancia de esta prueba radica en que en una serie de tiempo podemos obtener información significativa como media, varianza y autocorrelaciones (correlaciones entre distintos valores de la serie de tiempo); dichos valores son útiles para describir el comportamiento futuro únicamente si la serie es estacionaria. Por ejemplo, si hay presencia de tendencia positiva, la media y varianza muestral aumentarán y se subestimarán a la media y varianza en períodos posteriores. Y si la media y varianza no están bien definidas, tampoco lo estarán las autocorrelaciones.

La prueba estadística de estacionariedad de Kendall permite verificar que la serie de datos no presenta una tendencia temporal. La prueba consiste básicamente en la comparación entre los valores que componen una misma



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

serie temporal, en orden secuencial (Silva, 2007). Entre las técnicas existentes para realizar análisis de tendencias, la metodología propuesta por Kendall es la recomendada por la Organización Mundial de Meteorología (OMM). Al igual que lo indicado en el ítem anterior esta prueba fue realizado empleando el lenguaje de programación R en el entorno RStudio, mediante el paquete Trend.

Una de las pruebas estadísticas de estacionariedad es la de Mann-Kendall en la cual las hipótesis a contrastar son las siguientes:

- H_0 : Los datos provienen de una población con realizaciones independientes y están distribuidos de manera idéntica.
- H_1 : Los datos no provienen de una población con realizaciones independientes y están distribuidos de manera idéntica.

Test de homogeneidad

La prueba de homogeneidad por períodos cronológicos de Wilcoxon permite verificar si el promedio de un primer subconjunto muestral es significativamente diferente del de un segundo subconjunto muestral.

El primer subconjunto se compone de observaciones que comienzan con el primer año y terminan con un año de corte. El segundo subconjunto se compone desde el año siguiente al año de corte hasta el final de las observaciones. El año de corte se especifica al presionar el botón “Subdividir muestra”

Para estas pruebas se utilizó el software Hyfran. Los resultados obtenidos a las series de Precipitación máxima de las 13 estaciones se muestran en la Tabla 10 y Tabla 11, se observa que la estación San Lázaro de Escomarca rechaza las pruebas de estacionariedad y homogeneidad, mientras que las estaciones Taculan 2 y Caranía no cumplen con la prueba de independencia, respectivamente, así mismo, las estación Huancata no cumple con la prueba de independencia y estacionariedad; por último, la estación Huañec no cumple con ninguna de las tres pruebas estadística.

Al respecto, corregiremos aquellas estaciones que no cumplen con las pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad, esto debido a que para el uso correcto de la información hidroclimatológica en la ingeniería de los recursos hídricos, ésta debe cumplir con el supuesto de estacionalidad, consistencia y homogeneidad (Castro, L. M., y Carvajal Escobar, Y.-2010).

Tabla 10: Valor de probabilidad para las pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad

Nº	Estación	Test de Independencia (Wald - Wolfowitz)	Test de Estacionariedad (Kendall)	Test de Homogeneidad (Wilcoxon)
1	San Lázaro De Escomarca	0,1350	0,0014	0,0208
2	Huarochirí	0,2700	0,4020	0,9790
3	Huancata	0,0263	0,0025	0,0501
4	San José De Parac	0,3880	0,9610	0,6904
5	Taculan 2	0,0294	0,8330	0,9690



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
 “Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Nº	Estación	Test de Independencia (Wald - Wolfowitz)	Test de Estacionariedad (Kendall)	Test de Homogeneidad (Wilcoxon)
6	Huañec	0,0228	0,0269	0,0035
7	Ayaviri	0,3730	0,7216	0,2133
8	Carania	0,0357	0,6433	0,2367
9	San Pedro De Pilas	0,6440	0,1150	0,4210
10	Tanta	0,1170	0,9860	0,9460
11	Yauyos	0,8710	0,1810	0,3010
12	Langa	0,3610	0,2250	0,7350
13	Matucana	0,0612	0,6270	0,5801

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Hipótesis Nula pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad

Estación	Test de Independencia (Wald - Wolfowitz)	Test de Estacionariedad (Kendall)	Test de Homogeneidad (Wilcoxon)	Corrección
San Lázaro De Escomarca	Aceptado	Corregir	Corregir	Corregir
Huarochirí	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Huancata	Corregir	Corregir	Aceptado	Corregir
San José De Parac	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Taculan 2	Corregir	Aceptado	Aceptado	Corregir
Huañec	Corregir	Corregir	Corregir	Corregir
Ayaviri	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Carania	Corregir	Aceptado	Aceptado	Corregir
San Pedro De Pilas	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Tanta	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Yauyos	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Langa	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir

Fuente: Elaboración Propia

Remoción de datos inconsistentes

Castro, L. M., y Carvajal Escobar, Y. (2010) detalla lo siguiente: “Cuando el análisis exploratorio de datos muestre que las series son inconsistentes, con tendencias, cambios, etc., se hará necesario la remoción de esa parte de la serie”; por lo tanto, removeremos parte de la serie, tomando en cuenta los datos menores, hasta cumplir con las pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad.

Se utilizó el software Hyfran, se tuvo como resultado que las 5 estaciones corregidas para el análisis de máximas avenidas se ajustan a las tres pruebas corregidas, estando aptos para el análisis de frecuencia de valores extremos.

Tabla 12: Valor de probabilidad para las pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad – Estaciones corregidas

Nº	Estación	Años removidos	Test de Independencia (Wald - Wolfowitz)	Test de Estacionariedad (Kendall)	Test de Homogeneidad (Wilcoxon)
1	San Lázaro De Escomarca	1991, 1992, 1993, 1998, 2000	0,8294	0,0641	0,2756
2	Huancata	1991, 1992 y 1993	0,1508	0,0507	0,0935
3	Taculan 2	2018	0,0938	0,4360	0,5400
4	Huañec	1994, 2002, 2003 y 2004	0,1554	0,1909	0,0507
5	Carania	2022	0,0851	0,3413	0,6585

Fuente: Elaboración Propia



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Tabla 13: Hipótesis Nula pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad corregida

Estación	Test de Independencia (Wald - Wolfowitz)	Test de Estacionariedad (Kendall)	Test de Homogeneidad (Wilcoxon)	Corrección
San Lázaro De Escomarca	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Huancata	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Taculan 2	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Huañec	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir
Caranía	Aceptado	Aceptado	Aceptado	No Corregir

Fuente: Elaboración Propia

2.4.6. Análisis de frecuencia de valores extremos

En el área de la hidrología, no es posible predecir con suficiente precisión y anticipación muchos eventos extremos para la toma oportuna de acciones ante su posible eventualidad utilizando únicamente información determinística. Es por ello por lo que se hace necesario adoptar un enfoque probabilístico que permita considerar los impactos de estos fenómenos en la toma de decisiones. Si se asume que las ocurrencias son temporalmente independientes, es decir, que el tiempo y la magnitud de un evento no guardan relación con los eventos anteriores, entonces se puede recurrir al análisis de frecuencias para describir la probabilidad de cualquier suceso o combinación de estos durante el intervalo de tiempo requerido para tomar una decisión.

2.4.7. Análisis de Frecuencia

La finalidad del análisis de frecuencias es estimar las precipitaciones, intensidades o caudales máximos, dependiendo del objeto en estudio, aplicándolos a distintos períodos de retorno. Esto se logra empleando los modelos probabilísticos especializados en valores extremos, que puede ser de naturaleza discreta o continua.

2.4.8. Análisis de Frecuencia de Valores Extremos

El análisis de frecuencia de valores extremos nos permite estimar el caudal de diseño en la cuenca Lurín. La serie que abarca toda la información disponible es denominada serie de duración completa. La serie anual máxima se obtiene eligiendo el valor máximo de cada año.

Una vez seleccionada la serie con la que se va a realizar el análisis de frecuencia, se ordenan los valores de menor a mayor, prescindiendo del año de ocurrencia. A través del tiempo se han desarrollado fórmulas para determinar posiciones de trazado. De todas las fórmulas propuestas la que mejor aceptación ha tenido hasta el momento es la de Weibull.

Criterio empírico de Weibull:

$$P(x > X = \frac{m}{n+1})$$

Donde:

**PERÚ****Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego***“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”**“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”*

P ($x > X$): Probabilidad Observada acumulada de que cualquier evento x será mayor que el evento X .

m: Número de orden de la sucesión decreciente y n: Tamaño o longitud de la muestra.

2.4.9. Análisis Estadístico

Métodos de Distribución de Probabilidades

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:

- Distribución Normal
- Distribución Lognormal 2 parámetros
- Distribución Gamma
- Distribución Pearson tipo III
- Distribución log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel

Pruebas de Bondad de Ajuste

Luego de la prueba de bondad de ajuste mediante el Criterio de Información de Akaike (AIC por sus siglas en inglés) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC por sus siglas en inglés) como índices de bondad de ajuste que han sido determinados empleando el software Hyfran+, mismo con el que se desarrolla el análisis estadístico de las precipitaciones máximas.

Seleccionado para cada estación el modelo probabilístico con mejor ajuste, se determinaron la precipitación máxima en 24 horas, para períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 200 años, en las 11 estaciones, esto se logró gracias al proceso estadístico de las series de datos realizado con el programa Hyfran que permite obtener los resultados de precipitaciones máximas para diferentes períodos de retorno para cada estación pluviométrica analizada.

Tabla 14: Precipitación Máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno

Estación	Distribución	Período de Retorno					
		2	10	25	50	100	200
Ayaviri	Gumbel	31.05	41.94	47.43	51.49	55.53	59.55
Caranía	Gumbel	21.68	31.60	36.59	40.30	43.97	47.64
Huancata	Gumbel	23.60	36.52	43.02	47.84	52.63	57.40
Huañec	Gumbel	22.88	29.43	32.73	35.17	37.60	40.02
Huarchirí	Lognormal	27.81	37.29	41.52	44.51	47.37	50.16
La Capilla 2	Gamma	3.28	6.55	8.13	9.27	10.40	11.40
Langa	Gamma	21.91	37.19	44.14	49.04	53.72	58.25
Matucana	Gamma	19.59	28.09	31.71	34.20	36.55	38.79
San José de Parac	Lognormal	25.34	30.46	32.58	34.03	35.39	36.68
San Lázaro de Escomarca	Lognormal	30.63	49.58	59.14	66.28	73.42	80.64
San Pedro de Pilas	Lognormal	22.23	40.15	49.86	57.34	65.03	72.96
Tanta	Normal	30.96	42.36	46.53	49.22	51.65	53.86
Yauyos	Pearson Tipo III	19.50	31.08	37.31	41.95	46.54	51.10



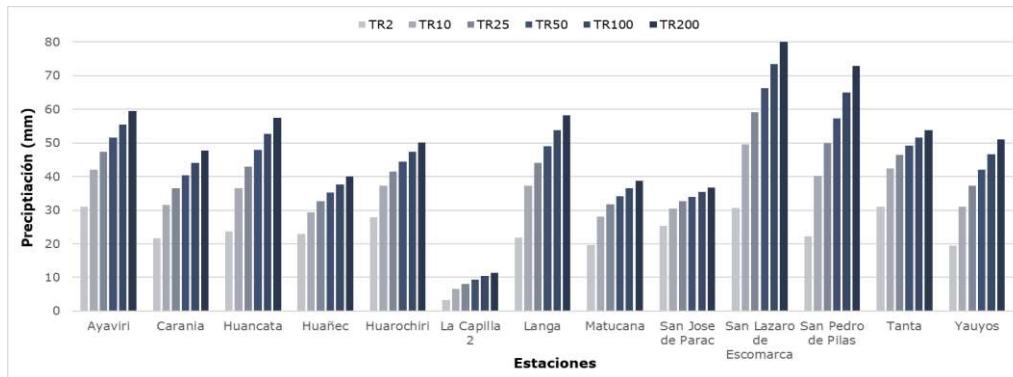
PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Fuente: Elaboración Propia

Figura 17: Precipitaciones en diferentes períodos de retorno

Fuente: Elaboración Propia

2.4.10. Distribución Espacial – Isoyetas de Máximas

Este método es el más exacto para determinar el valor de las precipitaciones máximas en cada una de las subunidades hidrográficas.

Para realizar este análisis es necesario contar con la ubicación georreferenciada de las estaciones seleccionadas con el valor de precipitación para cada periodo de retorno, lo cual hemos detallado en el ítem 2.4.9

Se ha usado el software ARC MAP 10.8.2 aplicando los métodos de distribución espacial de isoyetas máximas mediante las interpolaciones IDW y Kriging usando la extensión Geostatistical Analyst.

Para la selección de la mejor interpolación se tiene en cuenta los siguientes criterios:

- Realizar el análisis de exploración de datos para los diferentes períodos retorno, el cual, permitirá obtener la información sobre los datos a evaluar y seleccionar el método y los parámetros más apropiados para el modelo de interpolación (IDW o Kriging ordinario) para así, producir un mapa de cuantiles, debiendo examinar la distribución de los datos de entrada ya que este método particular supone que los datos se distribuyen normalmente, sin embargo, si los datos no se distribuyen normalmente, debe incluir una transformación de datos como parte del modelo de interpolación. Las herramientas por utilizar en este proceso son las siguientes:
 - Histograma:** Examina la distribución y las estadísticas resumidas de un conjunto de datos.
 - Gráfico QQ normal y Gráfico QQ general:** Evalúa si un conjunto de datos tiene una distribución normal y explora si dos conjuntos de datos tienen distribuciones similares, respectivamente.
 - Mapas de Voronoi:** Examina visualmente la variabilidad espacial y la estacionariedad de un conjunto de datos.
 - Análisis de tendencias:** Visualiza y examina tendencias espaciales en un conjunto de datos.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

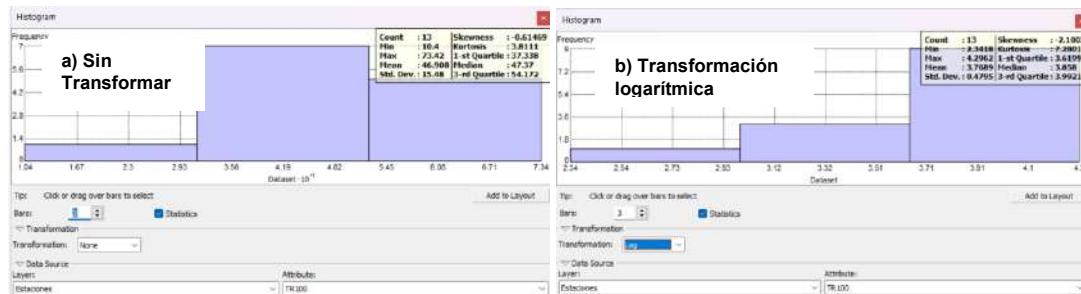
 ANA
Autoridad Nacional del Agua

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

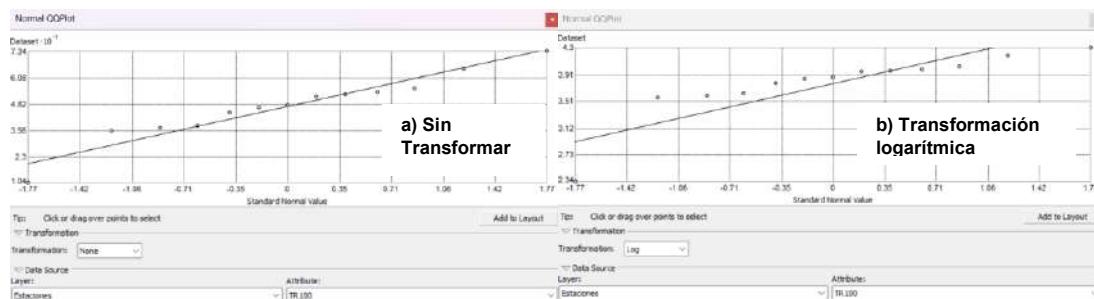
Desde la figura 18 hasta la figura 21 se muestra el análisis exploratorio de datos para el periodo de retorno de 100 años.

Figura 18: Histograma de precipitación máxima sin transformación (a) y con transformación logarítmica (b) - TR 100 años



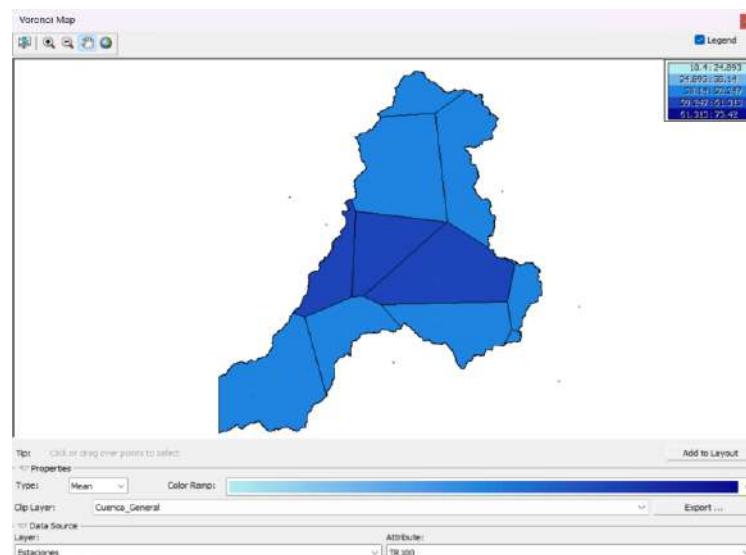
Fuente: elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)

Figura 19: Análisis QQplot de precipitación máxima sin transformación (a) y con transformación logarítmica (b) - TR 100 años



Fuente: elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)

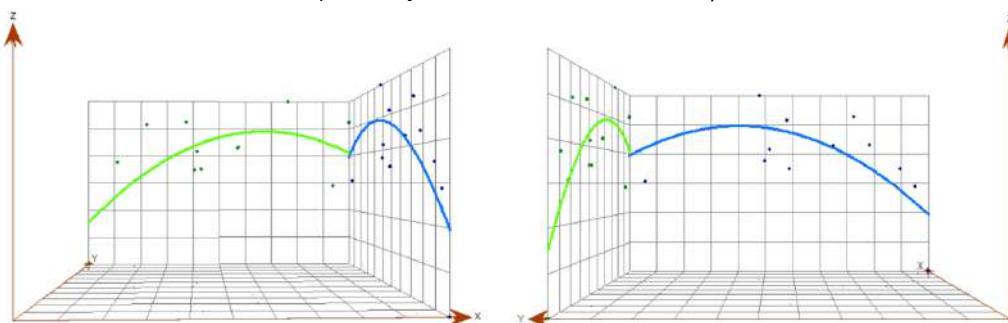
Figura 20: Mapa de Voronoi de precipitación máxima – TR 100 años



Fuente: Elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)

Figura 21: Análisis de tendencia de la precipitación máxima – TR 100 años

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”



Fuente: elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)

- b) Realizar la interpolación IDW y Kriging para los diferentes períodos de retorno y comparar ambos métodos mediante una validación cruzada, tomando en cuenta lo siguiente:

Mean Error: Diferencia media entre los valores medidos y los previstos.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}(s_i) - z(s_i))}{n}$$

Root Mean Square Error: Indica la precisión con la que el modelo predice los valores medidos. Cuanto menor sea este error, mejor.

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{z}(s_i) - z(s_i))^2}{n}}$$

Average Standard Error: Media de los errores estándar de predicción.

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{\sigma}^2(s_i)}{n}}$$

Mean Standardized Error: Media de los errores estandarizados. Este valor debe ser próximo a 0.

$$\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{z}(s_i) - z(s_i)}{\hat{\sigma}(s_i)} \right)}{n}$$

Root Mean Square Standardized Error: Debería ser cercano a 1 si los errores estándar de predicción son válidos. Si el error medio cuadrático estandarizado es mayor que 1, está subestimando la variabilidad de sus predicciones. Si el error medio cuadrático estandarizado es inferior a 1, se está sobreestimando la variabilidad de las predicciones.

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{z}(s_i) - z(s_i)}{\hat{\sigma}(s_i)} \right)^2}{n}}$$

Desde la figura 22 hasta la figura 26, se observa la comparación de los métodos de interpolación IDW y Kriging para los diferentes períodos de retorno mediante validación cruzada, en el cual, se muestra que el método



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

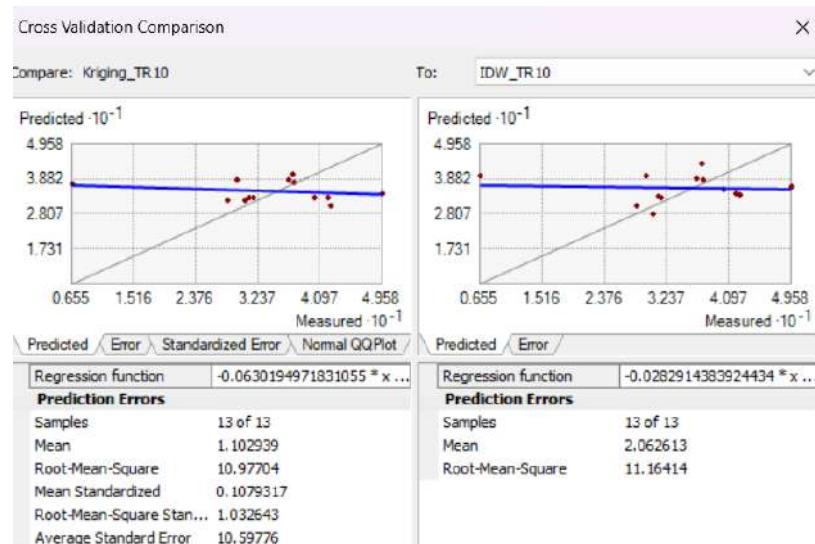


“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

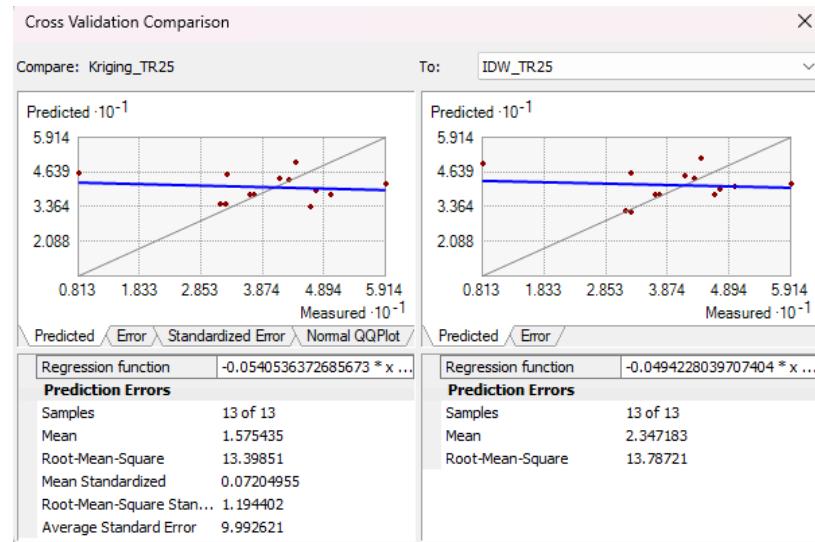
Kriging tiene un error medio y error medio cuadrático menor que IDW, además de mostrar una media estandarizada cercana a 0 y error medio cuadrático estandarizado cercano 1, teniendo así un mejor ajuste espacial de las precipitaciones en diferentes períodos de retorno.

Figura 22: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 10 años



Fuente: elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)

Figura 23: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 25 años



Fuente: Elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)



PERÚ

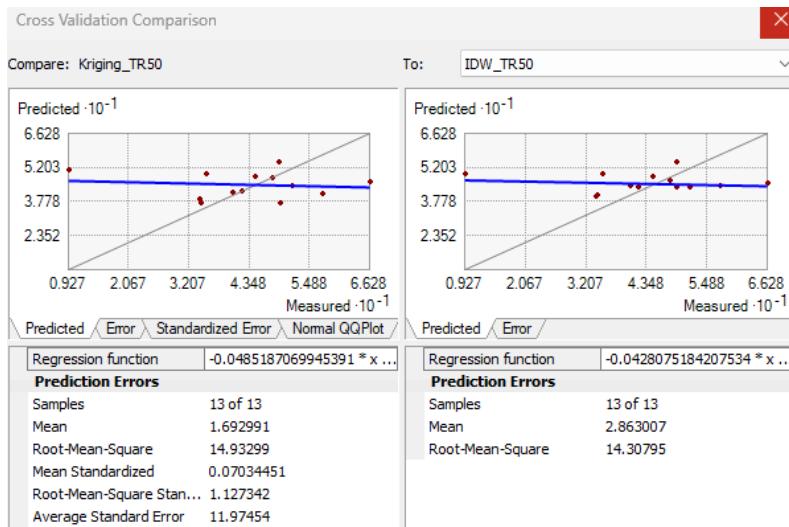
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

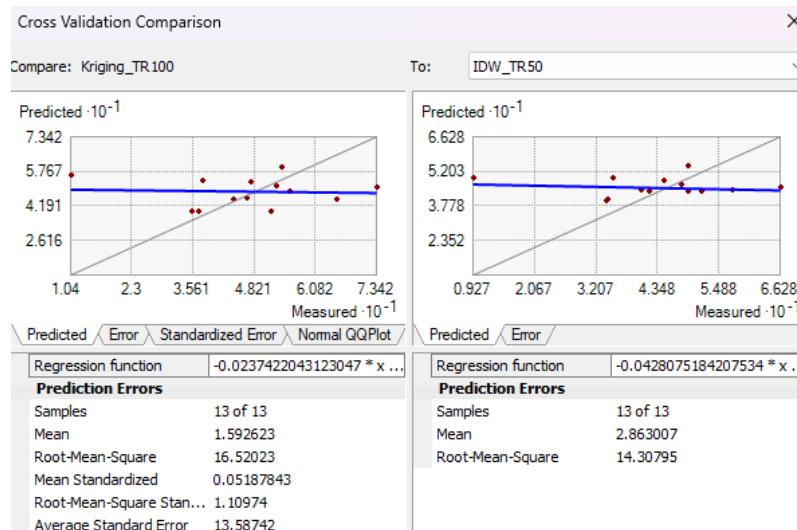
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 24: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 50 años



Fuente: elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)

Figura 25: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 100 años



Fuente: elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)



PERÚ

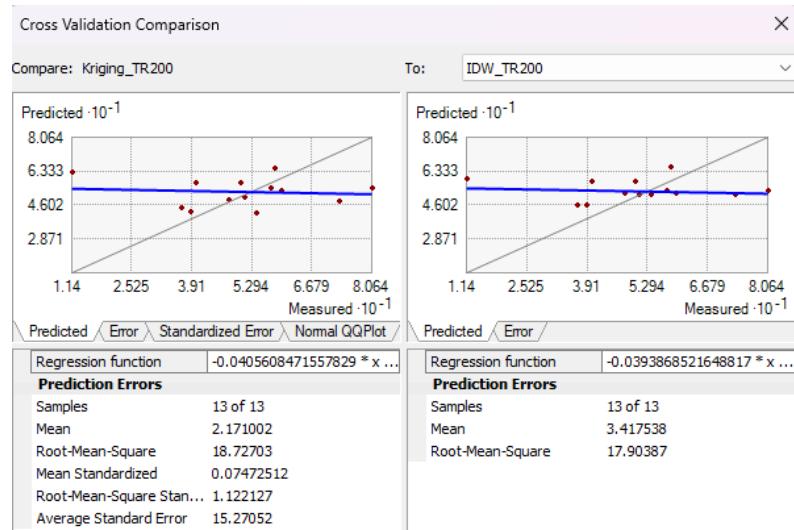
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

ANA
Autoridad Nacional del Agua

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

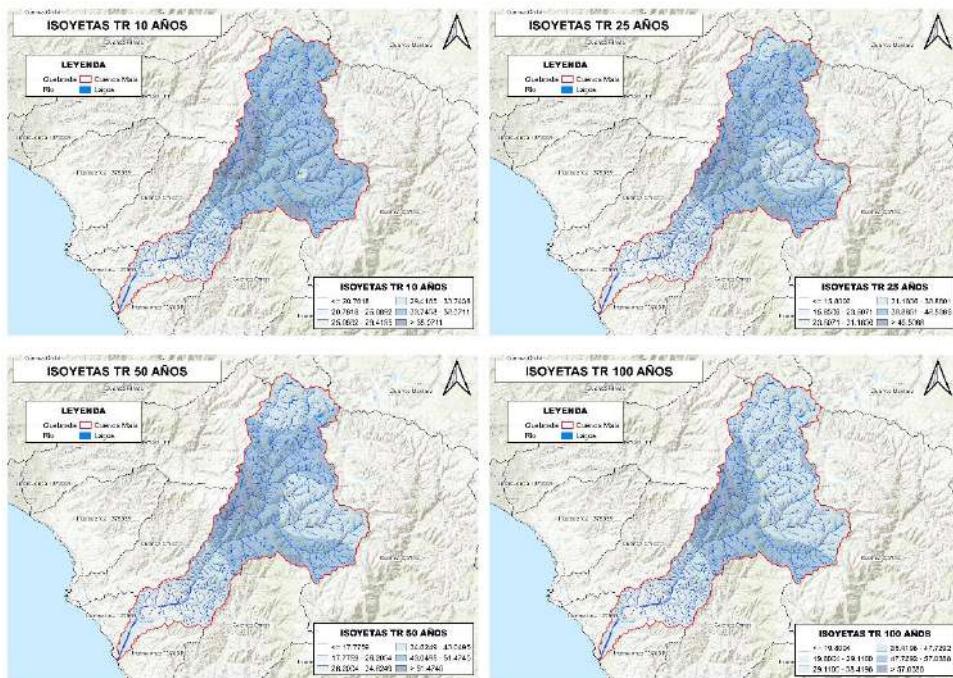
Figura 26: Validación Cruzada IDW vs Kriging – TR 200 años



Fuente: elaboración propia (Resultados software ArcGIS 10.8.2)

Hecho el análisis de validación cruzada, en la figura 27 se muestra la representación de las precipitaciones máximas en diferentes períodos para la cuenca Mala.

Figura 27: Isoyetas de Precipitación Máxima en 24 Horas para diferentes períodos de retorno

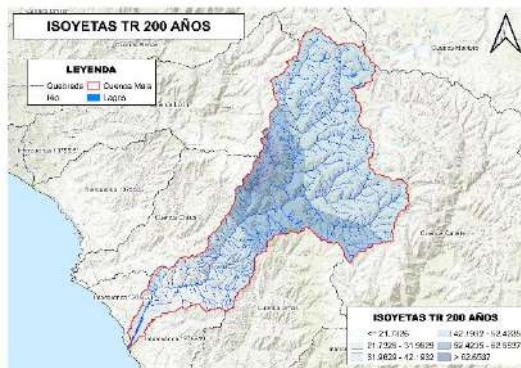




PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”



Fuente: elaboración propia

Luego de definir la interpolación de mejor distribución espacial, se determina la precipitación máxima para cada periodo de retorno para la quebrada Achique Sur.

Tabla 15: Precipitaciones máximas para la quebrada Achique Sur

Quebrada	TR10	TR25	TR50	TR100	TR200
Achique Sur	30,00	35,00	38,60	42,10	45,70

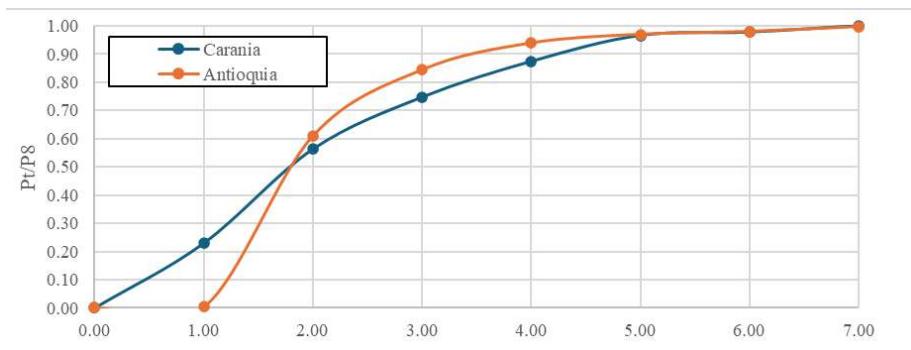
Fuente: Elaboración propia

2.4.11. Análisis temporal de las tormentas

El estudio base de hidrología – Entrega de las defensas ribereñas del río Mala (Paquete R-09) detalla que no se dispone de estaciones automáticas en la cuenca del río Mala. Sin embargo, se cuenta con alguna serie de datos en las cuencas adyacentes y que para evaluar la distribución temporal de la tormenta se tuvieron en cuenta los registros de las estaciones automáticas de Antioquía y Caranía, específicamente para los eventos máximos producidos durante el YAKU 2023, debido a que dichas estaciones no se encontraban en operación durante el FEN 2017.

En base al evento registrado el 14 de marzo del 2023, la duración de la tormenta tiene un rango de duración de 8 horas, siendo la segunda y tercera hora donde se producen las altas intensidades (Figura 28).

Figura 28: Precipitación acumulada en % para el Yaku 2023 (14 de marzo)



Fuente: Elaboración Propia

En base al evento registrado el 14 de marzo del 2023 en las estaciones meteorológicas mencionadas, se observa que cerca del 50% de la lámina



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

de agua precipitada se presentó durante las tres primeras horas, y el 50% restante durante las siguientes cuatro horas; esta información se ha asumido como representativa en el ámbito de estudio y ha permitido obtener la distribución de una tormenta de precipitación tipo, la misma que servirá de base para diseñar los hietogramas para la precipitación diaria.

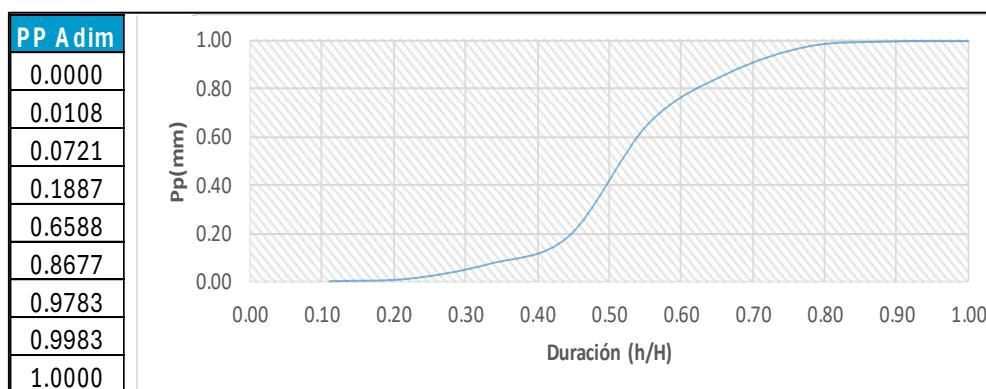
2.4.12. Hietograma de diseño

Las precipitaciones usadas en el presente estudio corresponden a las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno obtenidas en el ítem 2.4.10

Una alternativa de modelación meteorológica es asumir comportamientos de la tormenta, esto lo diseñó el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos (NRCS), antiguo Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y propone cuatro patrones adimensionales de lluvia acumulada o curva masa, para un periodo de 24 horas (Tipo I, Tipo IA, Tipo II y Tipo III), otra alternativa es asumir que la duración de la tormenta es similar al tiempo de concentración de la cuenca en análisis, sin embargo, lo recomendable es contar con información del comportamiento de tormentas en el ámbito de estudio, logrando resultados más confiables y reduciendo la incertidumbre de los resultados.

Con el fin de dar solidez a los resultados hidrológicos, se ha optado por determinar el comportamiento de las tormentas en base a información histórica existente en el ámbito de estudio. Por lo tanto, los hietogramas de diseño se construyeron promediando los registros horarios de las estaciones Carania y Antioquía, identificado en el evento extraordinario ocurrido el 14 de marzo de 2023 para una duración de 8 horas.

Figura 29: Distribución de la Precipitación máxima de diseño

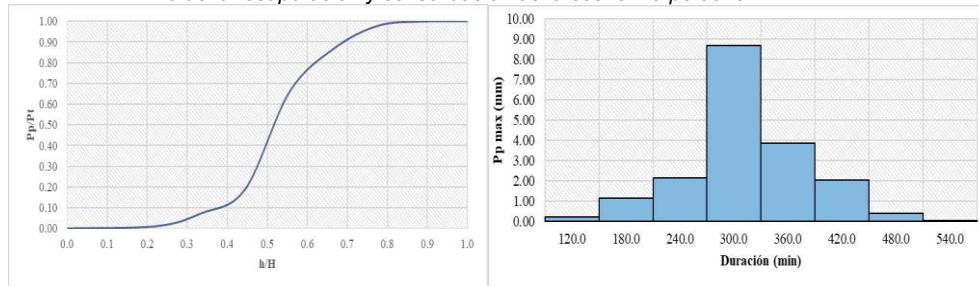


Fuente: Elaboración Propia

Definido el proceso de obtención de los hietogramas de diseño se generó los hietogramas para cada subcuenca a analizar.

Figura 30: Hietograma quebrada Achique Sur – TR100 años

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”



Fuente: Elaboración Propia

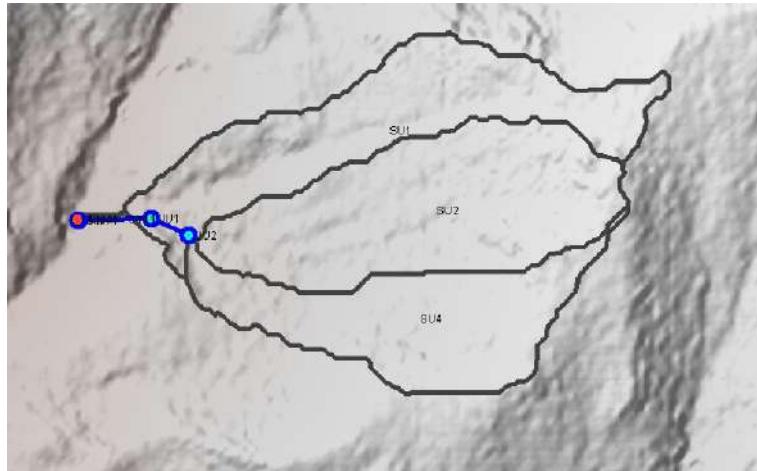
2.4.13. Modelo Precipitación - Escorrentía

U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System es un software diseñado para simular procesos de precipitación - escorrentía en sistemas hidrológicos. El programa prosee un completo entorno de trabajo integrado: base de datos, utilidades de entrada de datos, simulación y herramientas interactivas de consulta de resultados.

Esquema del modelo hidrológico

Utilizando las herramientas de desarrollo de HEC-HMS se ha trabajado en 3 subcuenca, que sería el área total de la quebrada Achique Sur. La discretización se realiza partiendo del Modelo Digital de Elevación Landviewer de 5 m.

Figura 31: Esquema del modelo hidrológico – Quebrada Achique Sur



Fuente: Elaboración propia

Modelo de transformación:

Dentro de los métodos que contempla el programa para transformar la lluvia en escurrimiento, se describen a continuación los más abordados por la literatura y aplicables a la información disponible y las dimensiones de la cuenca:

- Hidrograma Unitario (HU) de Clark.
- Hidrograma Unitario de Snyder.
- Hidrograma Unitario (HU) del SCS.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

El presente estudio ha usado el método de hidrograma unitario SCS, debido a que de acuerdo con el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones dicho método es aplicable para cuencas menores a 30 km².

a) Transformación de hidrograma unitario SCS: El método del hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) define un hidrograma unitario curvilíneo al establecer primero el porcentaje de la escorrentía unitaria que ocurre antes del caudal máximo. Entonces se puede ajustar un hidrograma unitario triangular al hidrograma unitario curvilíneo para que se pueda calcular la base de tiempo total del hidrograma unitario. Los parámetros que inciden en la transformación hidrograma unitario SCS son los siguientes:

- **Factor de tasa pico (PRF):** es un factor aplicado a las ordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS que altera la forma del hidrograma mientras mantiene el volumen total de escorrentía. Esta definición corresponde a un factor de tasa pico de 484 que incorpora el porcentaje de escorrentía unitaria antes del pico, la base de tiempo total calculada y las conversiones de unidades al aplicar las ecuaciones dentro del sistema de unidades habitual de EE. UU. Al cambiar el porcentaje de escorrentía unitaria antes del pico, se pueden calcular hidrogramas unitarios alternos para cuencas hidrográficas con topografía variable y otras condiciones que afectan la escorrentía. Se ha encontrado que las cuencas hidrográficas planas generalmente tienen una PRF más baja que puede ser tan pequeña como 100. Las cuencas hidrográficas más empinadas tienen una PRF más grande que puede llegar hasta 600. Para la modelación hidrológica en la cuenca Lurín tomaremos el valor predeterminado PRF de 484
- **Tiempo de retardo:** Este tiempo es un parámetro que describe el tiempo de respuesta hidrológica de la cuenca, representando el tiempo en que se presenta el pico de caudal ante un evento de duración determinada. Este parámetro se obtiene usualmente a través de la calibración de la cuenca. Sin embargo, para cuencas no instrumentadas se pueden usar relaciones en función del tiempo de concentración de la cuenca.

$$TLag = 0.60 * Tc$$

Donde:

$TLag$ = Tiempo de retardo en minutos

Tc = Tiempo de concentración en minutos

En la siguiente tabla se muestra el método de transformación para cada una de las subcuenca

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Tabla 16. Método de transformación de cada Subunidad – Qda. Achique Sur

Subunidad	Área (km ²)	Long. corriente máxima (km)	Tc (hr)	Tc (minutos)	Tipo de hietograma	Tlag SCS
SU2	1,78	3,23	0,45	27,26	SCS	16,35
SU4	1,23	3,44	0,47	27,92	SCS	16,75
SU1	1,47	4,15	0,52	31,26	SCS	18,76

Fuente: Elaboración propia

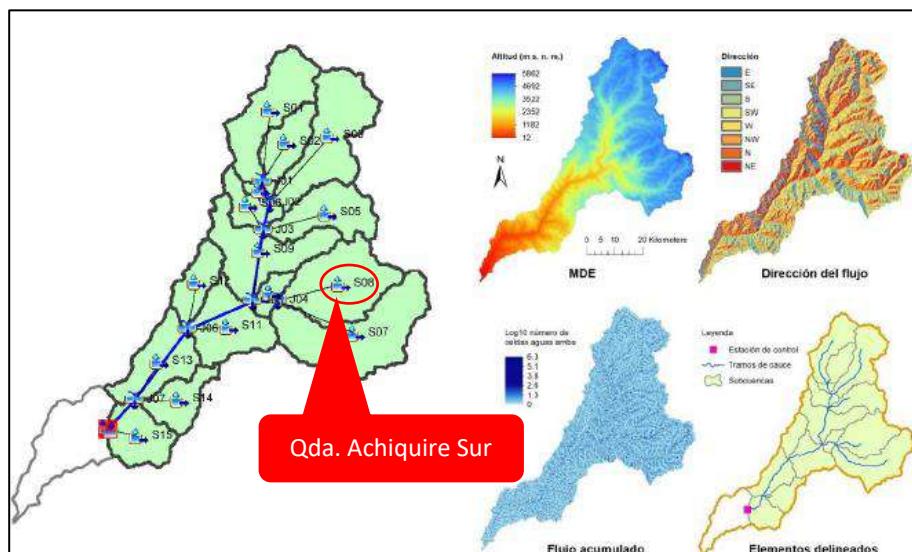
Modelo de perdidas

Dentro de los métodos posibles que presenta el programa para determinar las pérdidas por infiltración los más utilizados internacionalmente y que la bibliografía aborda con mayor claridad, posibilitando obtener sus parámetros de manera aproximada, se describen a continuación:

- Método de déficit y tasa constante.
- Método de Green y Ampt.
- Método de perdida inicial y tasa constante.
- Método número de curva del SCS.

En el estudio denominado: «Disponibilidad Hídrica en las Unidades Hidrográficas Mala y Omas» realizado por la Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos detalla que el número de curva fue obtenido del mapa elaborado por la ANA (Aurtua & Zelada 2016), para la quebrada Achique Sur, esta se encuentra en la subcuenca 08 R. Quinches, siendo sus valores las que se muestran en la siguiente tabla:

Figura 32: Esquema del modelo hidrológico – Cuenca Mala



Fuente: Disponibilidad Hídrica en las Unidades Hidrográficas Mala y Omas



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Tabla 17. Curva número calibrado

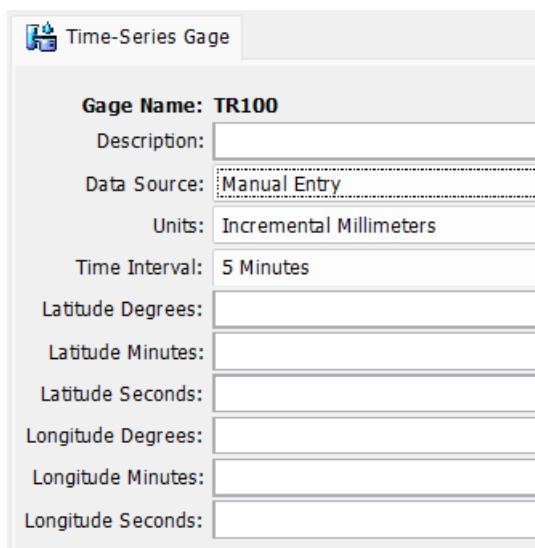
Subunidad	Curva Número	S	la
08 R. Quinches	74,8	85,7	17,1

Fuente: Disponibilidad Hídrica en las Unidades Hidrográficas Mala y Omas

Modelo meteorológico

Son uno de los componentes principales de un proyecto. El propósito principal es preparar las condiciones meteorológicas de contorno para las subcuencas. Se puede utilizar con muchos modelos de cuenca diferentes, sin embargo, los resultados calculados por el Modelo meteorológico se compararán con las subcuencas en los Modelos de cuencas utilizando el nombre de la subcuenca. Si las subcuencas en diferentes modelos de cuenca tienen el mismo nombre, ambas recibirán las mismas condiciones de contorno del modelo meteorológico. Es necesario nombrar cuidadosamente las subcuencas para que se calculen las condiciones de contorno correctas para cada una.

Figura 33: Modelo Meteorológico



Fuente: Software HEC-HMS

Modelo de control

Se define el inicio y final de simulación, y el intervalo de tiempo en la cual se obtendrá resultados, en el presente estudio se considera un tiempo de simulación de 8 horas, este valor se asume en función a la duración de la tormenta y la duración del flujo se rezago en la cuenca y cauces. Para nuestro caso hacer una simulación durante 24 horas es suficiente para ver los hidrogramas completos en los cauces y cuencas. La configuración que se hizo en el HEC-HMS se muestra en la figura siguiente:



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Figura 34: Especificaciones de control

Fuente: Software HEC-HMS

2.4.14. Caudales asociados a diferentes períodos de retorno

Los caudales han sido determinados empleando el modelamiento precipitación-escorrentía con HEC-HMS. Bajo este concepto se han determinado [1] caudales para el modelo integral que comprenden también en los aportantes las quebradas a intervenir, con un escenario de tormenta general sobre la quebrada Achique Sur y [2] caudales para los puntos de interés en las quebradas a intervenir. A continuación, se muestra los caudales para los diferentes períodos de retorno para la quebrada Achique Sur.

Tabla 18. Caudales líquidos máximos para distintos períodos de retorno

Quebrada	Área (km ²)	Caudales máximos para diferentes períodos de retorno (m ³ /s)				
		10	25	50	100	200
SU2	1,78	1,8	2,9	3,8	4,8	5,8
SU4	1,23	1,2	1,9	2,6	3,2	3,9
JU2	3,01	3,0	4,8	6,4	8,0	9,7
RE2	3,01	3,0	4,8	6,4	8,0	9,7
JU1	3,01	3,0	4,8	6,4	8,0	9,7
RE1	3,01	3,0	4,8	6,4	8,0	9,7
SU1	1,47	1,3	2,2	2,9	3,5	4,3
Sink-1	4,48	4,3	6,9	9,2	11,4	13,9

Fuente: Elaboración propia

2.4.15. Selección y sustento de período de retorno y caudal de diseño

De la evaluación hidrológica realizada en la quebrada Achique Sur, se han obtenido caudales para distintos períodos de retorno (10, 25, 50, 100, y 200 años). Para el propósito final del presente estudio, que es la delimitación de fajas marginales. Consultada la normativa vigente, como es la Resolución Jefatural N° 332-2016-ANA, que aprueba el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales. Se tiene que: *"La determinación de los caudales máximos se establece de acuerdo con los siguientes criterios:*

En cauces naturales de agua colindantes a terrenos agrícolas: período de retorno de 50 años.

En cauces naturales de agua colindantes a asentamientos poblacionales: período de retorno de 100 años."



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

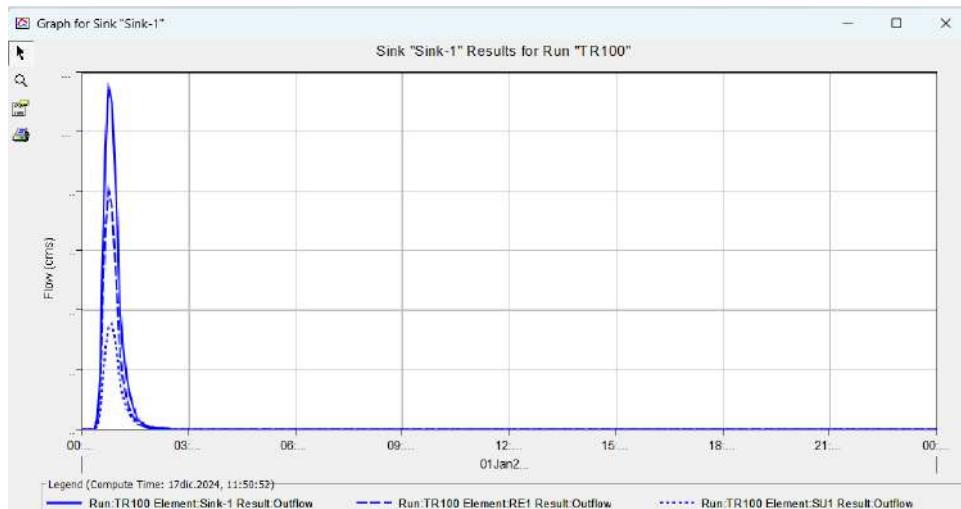
Bajo las disposiciones establecidas en la normativa vigente en materia de delimitación de fajas marginales y efectuado el estudio hidrológico de máximas avenidas se recomienda considerar los caudales determinados para un periodo de retorno de 100 años, porque existen viviendas y/o poblaciones asentadas próximas y en los mismos cauces de las quebradas en estudio.

Tabla 19. Caudales máximos recomendados para delimitación de fajas marginales

CUENCA	Caudales máximos para periodo de retorno de 100 años
SU2	1,78 m ³ /s
SU4	1,23 m ³ /s
JU2	3,01 m ³ /s
RE2	3,01 m ³ /s
JU1	3,01 m ³ /s
RE1	3,01 m ³ /s
SU1	1,47 m ³ /s
Sink-1	4,48 m ³ /s

Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Hidrograma para el periodo de retorno de 100 años



Fuente: Elaboración propia

2.5. Topografía.

2.5.1. Red Geodésica

Se ha recopilado la información topográfica del estudio denominado: «Informe de Red Geodésica y Nivelación – Río Mala» proporcionada por la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN), dentro del cual se detalla la verificación de los hitos de la red primaria y secundaria.

Dentro de la red primaria está compuesta de tres puntos geodésicos de orden «C», los cuales han sido certificado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) con el nombre «Horizon South America SA.C» en el mayo de 2019.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 36: Punto de control de orden “C”.

LIM05221



LIM05222



LIM07082



Fuente: Informe de Red Geodésica y Nivelación – Río Mala

Tabla 20. Puntos de control certificado.

PUNTO	ESTE	NORTE	HAE [m]	Cota EGM20
LIM05221	324 234,8	8 605 884	116,47	90,43
LIM05222	342 757,2	8 620 249	661,50	631,96
LIM07082	368 036,2	8 657 255	2 716,1	2 684,39

Fuente: Informe de Red Geodésica y Nivelación – Río Mala

2.5.2. Modelo Digital de Terreno

De acuerdo con el estudio: «Informe de estudio base de modelo hidráulico base del río Mala» proporcionada por la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN) la topografía base ha sido entregada por la Autoridad para la Reconstrucción con Cambios (Actualmente ANIN) en formato de nivel de puntos, esto como parte de los estudios básicos realizados en los PIP. Esta información fue actualizada y completada a fin de representar adecuadamente las condiciones actuales del terreno tanto para la zona del río Mala y las principales quebradas identificadas.

Esta topografía fue generada en formato ráster en del tipo TIF para luego ser cargado al programa HEC-RAS a una resolución de píxel de 0,5 m x 0,5 m.

Para el presente estudio tomaremos solamente el tramo correspondiente a la quebrada Achique Sur para realizar la modelación hidráulica respectiva, que servirá para la delimitación de la faja marginal.



PERÚ

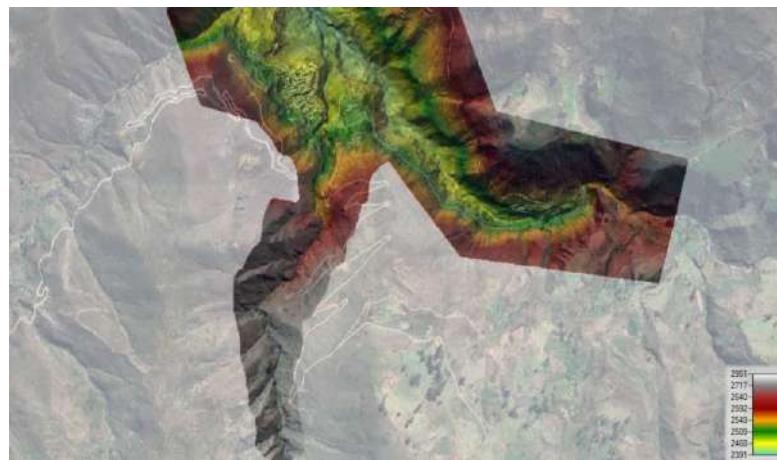
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 37: Modelo Digital de Elevación de la quebrada Achique Sur



Fuente: Informe de estudio de Modelo Hidráulico Base Paquete R-09 Río Mala

2.5.3. Eje del cauce

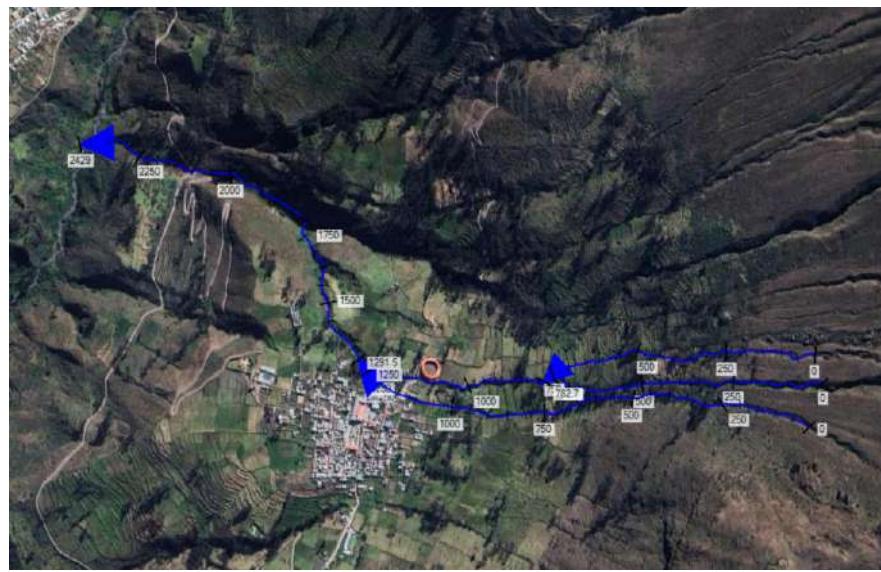
La conformación del eje de la quebrada Achique Sur se ha determinado a partir de la red topográfica de curvas de nivel, convertida en modelo digital de elevación. El tramo trazado principal comprende la siguiente longitud:

Tabla 21. Longitud de cauce

Eje	Longitud (Km)
Principal	2,43

Fuente: Elaboración propia

Figura 38: Eje de cauce



Fuente: Elaboración propia

2.5.4. Pendiente del cauce

Es una de las variables principales que determina la respuesta morfológica del cauce que actúa directamente en la dinámica propia del lecho del torrente. La forma del perfil longitudinal del cauce es el resultado de un número de factores



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

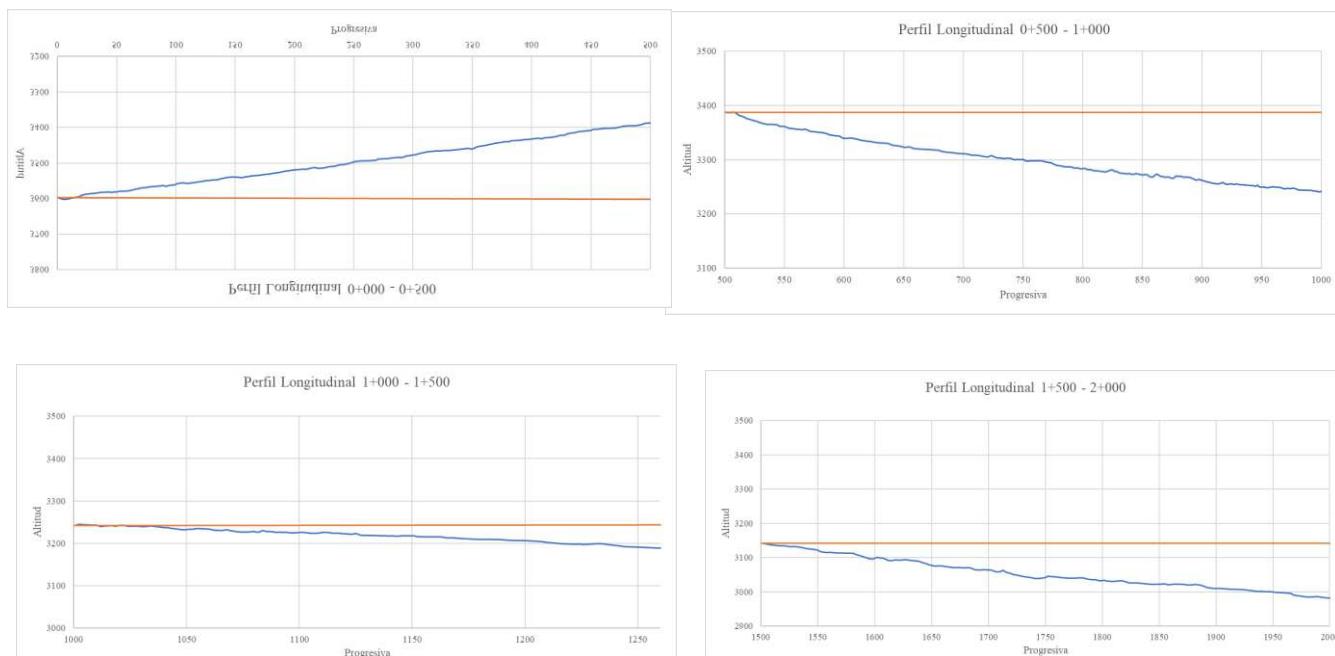
actuantes e independientes, los cuales representan un balance entre la capacidad de transporte del cauce y el tamaño y cantidad de sedimentos disponibles y existentes para finalmente ser transportados a diferentes localizaciones que por esta condición el lecho está en constante cambio.

Tabla 22. Pendiente cauce – Qda. Achique Sur

Quebrada Achique Sur				
TRAMO 1	DIST.	ELEV. DIFF	SLOPE	
0+000 – 0+500	500,289	5,37	0,61°	1,07%
0+500 – 1+000	499,789	0,00	0,00°	0,00%
1+000 – 1+500	499,730	3,028	0,35°	0,61%
1+500 – 2+000	499,636	0,00	0,00°	0,00%
2+000 – 2+429	428,531	1,119	0,15°	0,26%

Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Perfiles longitudinales del cauce





PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
 “Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”



Fuente: Elaboración propia

2.5.5. Zonas críticas

De acuerdo con la página de SIGRID de CENEPRED no existe un estudio de zonas críticas para la zona de estudio

2.6. Simulación Hidráulica 2D.

2.6.1. Descripción del modelo.

El modelo hidráulico fue realizado con el programa HEC-RAS, que consta de un módulo hidrodinámico que permite la simulación bidimensional del cauce, asignando las condiciones de contorno, frontera, propiedades como el coeficiente de rugosidad y la malla no estructurada en la zona del cauce del río, siendo esta discretización del modelo generado a partir de la geometría.

2.6.2. Configuración del modelo.

El informe denominado “Estudio de Modelo Hidráulico Base Paquete R-09 Río Mala” detalla que la representación del dominio computacional, líneas de rotura (Breaklines) y zonas de refinamiento para el modelamiento numérico se determinaron bajo condiciones que permitan establecer una estabilidad del modelo y tomando buenas prácticas sugeridas en los Manuales de HEC-RAS y Guías de ARCC-UKDT, considerando que para ríos con comportamiento anastomosado y quebradas de fuerte pendiente se tendrán otros criterios para asegurar un modelo detallado.

Para garantizar la estabilidad del modelo y optimizar el proceso iterativo para el cálculo computacional se requiere contar que las celdas sean perpendiculares al flujo de agua principal, para tratar de llevar a cabo ello se ha optado por definir líneas de rotura que incluyan un numero de repeticiones adecuado a fin de cubrir el cauce principal del tramo a modelar.

Tabla 23. Tamaños de malla en el modelo de quebradas.

ELEMENTO	Tamaño de Malla en Quebradas [m]	Área de la celda seleccionada [m ²]	Área según nota técnica [m ²]
Zona Urbana	2,0	4,0	2 a 5
Cauce de quebrada	5,0	25,0	2 a 30

Fuente: Informe de estudio de Modelo Hidráulico Base Paquete R-09 Río Mala



PERÚ

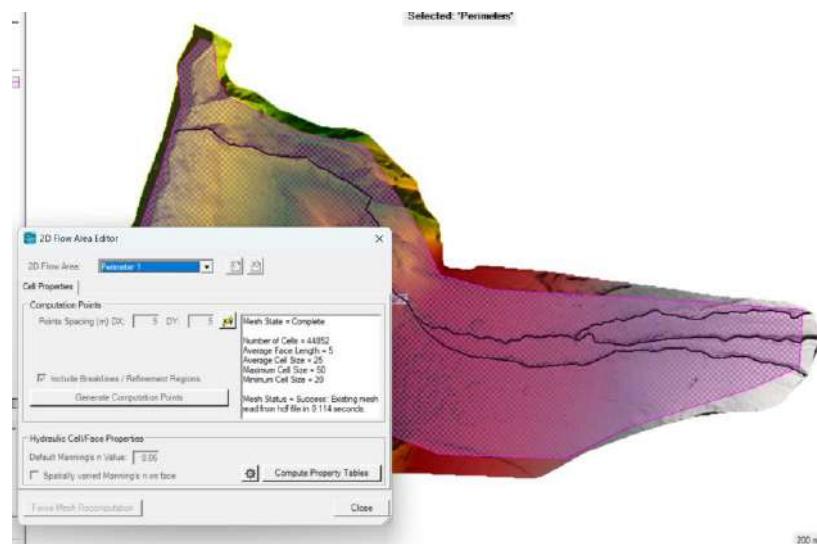
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 40: Tamaño de malla quebrada Achiquire Sur



Fuente: Elaboración propia

2.6.3. Coeficiente de rugosidad.

De acuerdo con el Informe de estudio de Modelo Hidráulico Base Paquete R-09 Río Mala, los parámetros adoptados para el uso de suelo, conocidos como el Coeficiente rugosidad de Manning, parámetro de fricción o de resistencia al movimiento del flujo, a continuación, en la siguiente tabla se presenta los coeficientes que se emplearon para el modelo de la quebrada Achiquire Sur en el uso de suelo.

Tabla 24. Coeficientes de rugosidad de Manning empleado en la simulación hidráulica de quebradas.

Descripción	Manning
TERRENO DESNUDO	0,025
CARRETERA	0,022
VEGETACION DENSIDAD BAJA	0,035
CAUCE	0,06
CASCO URBANO	0,1

Fuente: Informe de estudio de Modelo Hidráulico Base Paquete R-09 Río Mala



PERÚ

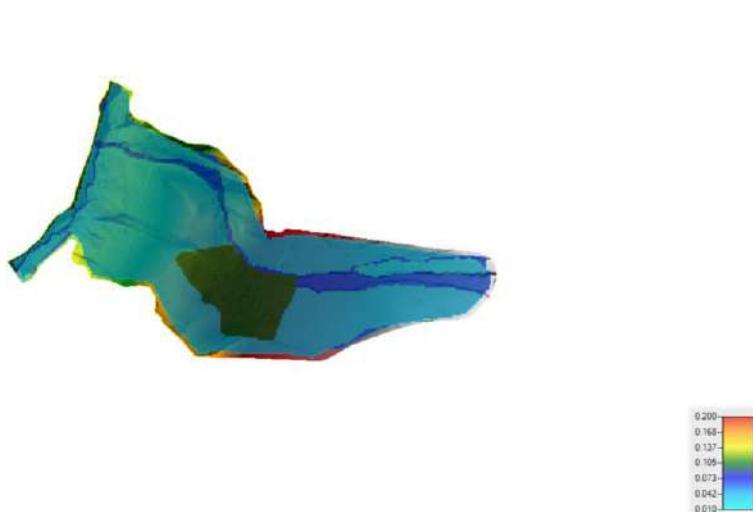
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 41: Rugosidades en el modelo hidráulico



Fuente: Elaboración propia.

2.6.4. Condiciones de frontera externa

Se entiende por condiciones de contorno aquellas que definen el comportamiento de un modelo en sus límites.

En la condición de borde (Boundary Conditions) tanto para el modelamiento en HECRAS, para las condiciones de ingreso se empleó la condición de “Flow Hydrograph” debido a que es ideal para para el ingreso de un flujo no permanente en donde se presentan cambios de caudal en función del tiempo, se ha empleado tres condiciones de entrada para el caudal aportante de la quebrada Achique Sur en análisis para ello se asignó el hidrograma que fue elaborado por el área de hidrología para el periodo de retorno de 100 años.

Para finalizar, para la condición de salida se estableció el tipo “Normal Depth” o pendiente de fondo del cauce a la salida, en donde a partir de la pendiente el modelo calculará las pérdidas a la salida.

Cabe mencionar que, las pendientes de fondo tanto para la condición de ingreso y salida de los modelos hidráulicos, que según la base teórica es paralela a la pendiente de energía, se ingresaron de manera manual utilizando la herramienta de Ras Mapper. Además, independientemente del valor de la pendiente ingresada, el software estabiliza los resultados de las aproximaciones numéricas considerando las condiciones topográficas, caudal y coeficiente de rugosidad de Manning, obteniendo así los mismos resultados en los sectores de interés a pesar de variar el valor de las pendientes.

Para el caso de la propuesta de la faja marginal en la quebrada Achique Sur, solo nos enfocaremos en la condición de la quebrada en sí, ya que desea de conocer el comportamiento de esta además de conocer cuáles serían las zonas afectadas; así mismo la condición de salida será aguas abajo del río Quinches, con el objetivo de conocer si el flujo que aporta esta quebrada desemboca en el río en mención.



PERÚ

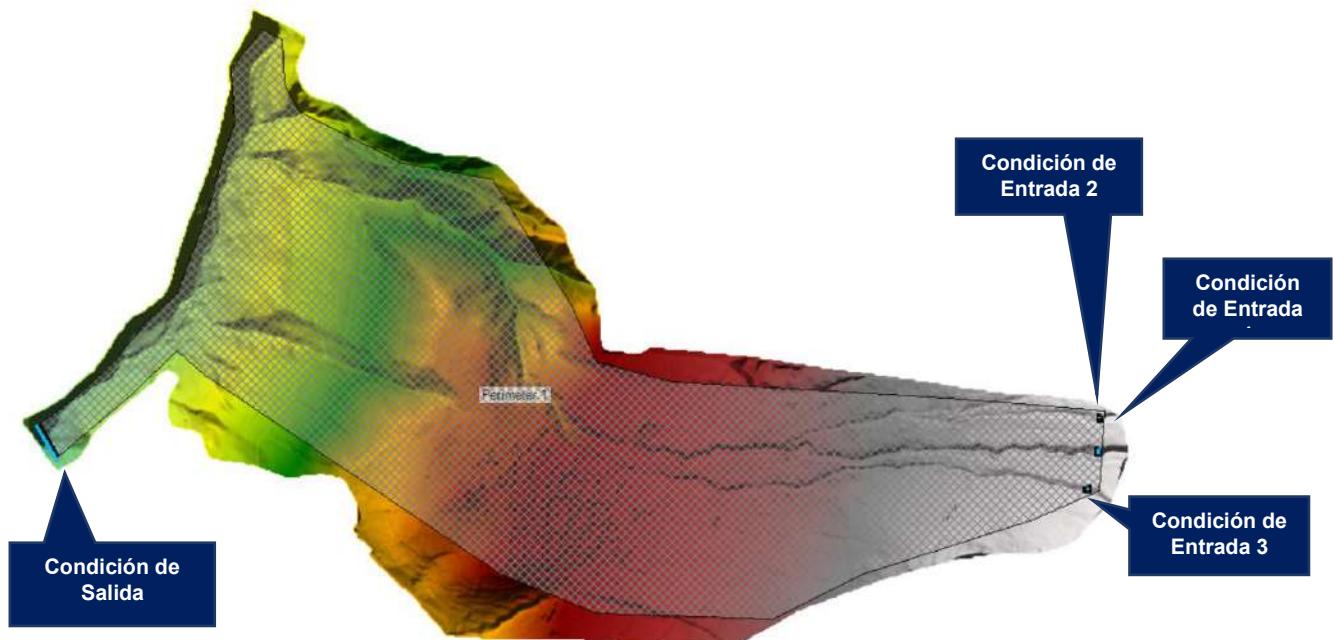
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

ANA
Autoridad Nacional del Agua

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

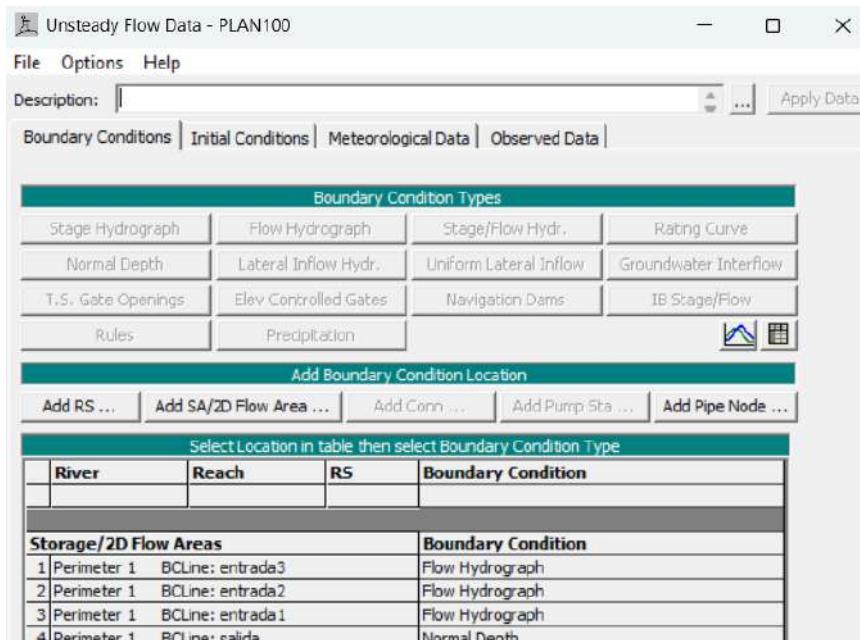
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Figura 42: Ingreso de las condiciones de contorno



Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Ingreso del flujo no permanente



Fuente: Elaboración propia

Presentamos un hidrograma que es un parámetro necesario para las condiciones de contorno de ingreso en el modelo HEC-RAS:



PERÚ

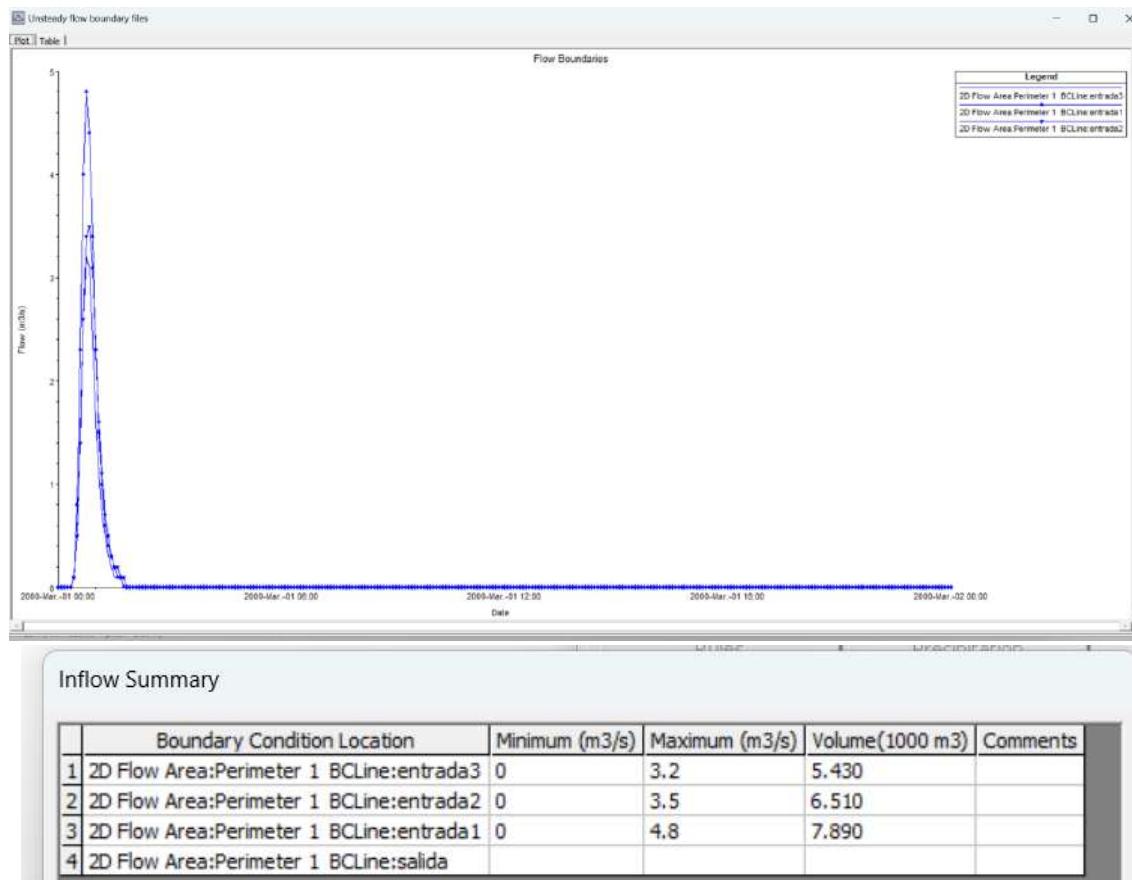
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 44: Hidrogramas de entrada ingresados en el software HEC-RAS – TR 100 años



Fuente: Elaboración propia

2.6.5. Módulo Reológico

La versión actual de HEC-RAS incluye cuatro modelos reológicos: (1) caracterización reológica de las muestras de suelo de las quebradas bajo el modelo de O'Brien. Estas muestras se obtuvieron mediante la elaboración de calicatas, mismas que se ubicaron en las zonas potenciales de deposición de cada quebrada.

De cada muestra, se obtuvo la denominada «Muestra Matriz de Flujo de Lodos», para las cuales se realizaron las siguientes pruebas:

Ensayo de humedad

Ensayo de distribución granulométrica por hidrómetro

Ensayo de gravedad específica del sólido.

Ensayo de reología para seis concentraciones volumétricas.

Para la quebrada Achique Sur y de acuerdo con las condiciones de la zona, esta no cuenta con la presencia de flujo de detritos, debido a la presencia de cobertura vegetal tanto en el cauce como en sus márgenes



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

2.6.6. Tiempo de cómputo

Se ha definido como tiempo de simulación 24 horas conforme el tiempo de los hidrogramas ingresados en las condiciones de contorno. Se ha establecido las fechas de inicio y fin de la simulación de manera hipotética tal como se aprecia en la siguiente ilustración. Se ha establecido una fecha hipotética.

Figura 45: Tiempo de simulación

Simulation Time Window	
Starting Date:	01MAR2000
Ending Date:	02MAR2000
Starting Time:	0000
Ending Time:	0000

Fuente: Elaboración propia (Extraído del software HEC-RAS)

Se definió el intervalo de tiempo salida de mapeo, intervalo de salida del hidrograma e intervalo de salida detallada, dicho paso de tiempo solo nos servirá para mostrar los resultados obtenidos y se tomó en función del paso de tiempo del hidrograma.

Figura 46: Tiempo de simulación

Computation Settings	
Computation Interval:	0.2 Second
Mapping Output Interval:	1 Minute
Hydrograph Output Interval:	5 Minute
Detailed Output Interval:	5 Minute
Project DSS Filename:	d:\Achiquire_Sur\Modelo\Modelo_achiquire\Modelo_Achiquir.dss

Fuente: Elaboración propia (Extraído del software HEC-RAS)

2.6.7. Resultados Generales.

Identificación de tirantes

En la parte alta de la quebrada Achiquire Sur se observa que el caudal de entrada es de 4,7 m³/s, con tirantes de hasta 0,95 m en la zona alta, para el periodo de retorno de 100 años. Así mismo en la zona baja alcanza un tirante de 2,66 m, con un caudal de salida de 10,23 m³/s, ubicado cerca al centro poblado.



PERÚ

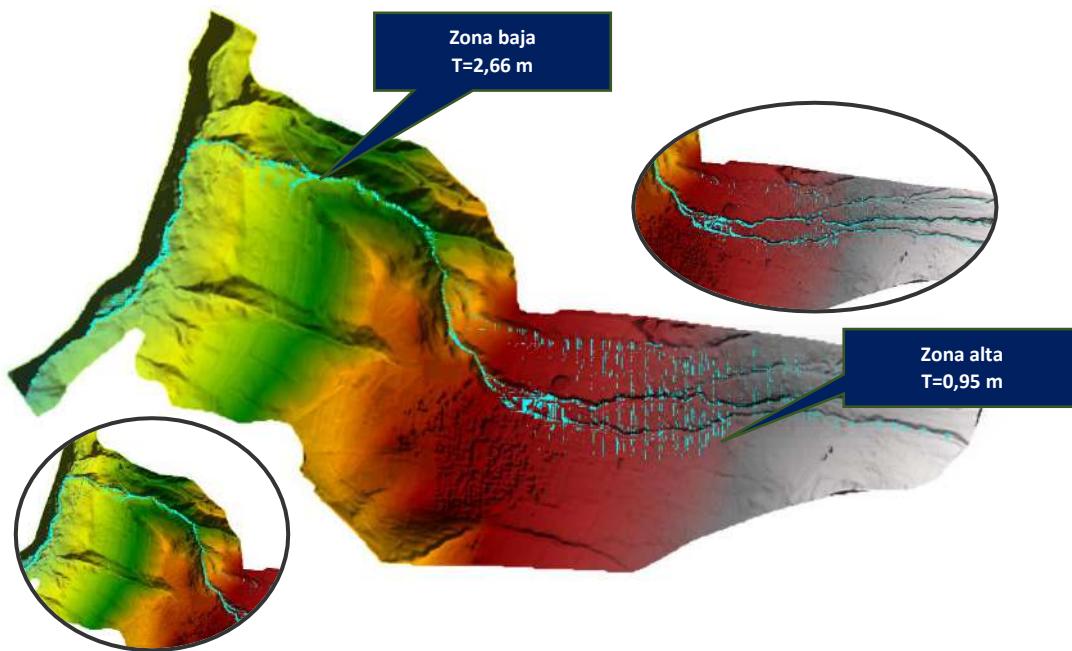
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Figura 47: Tirantes máximos para el TR 100 años

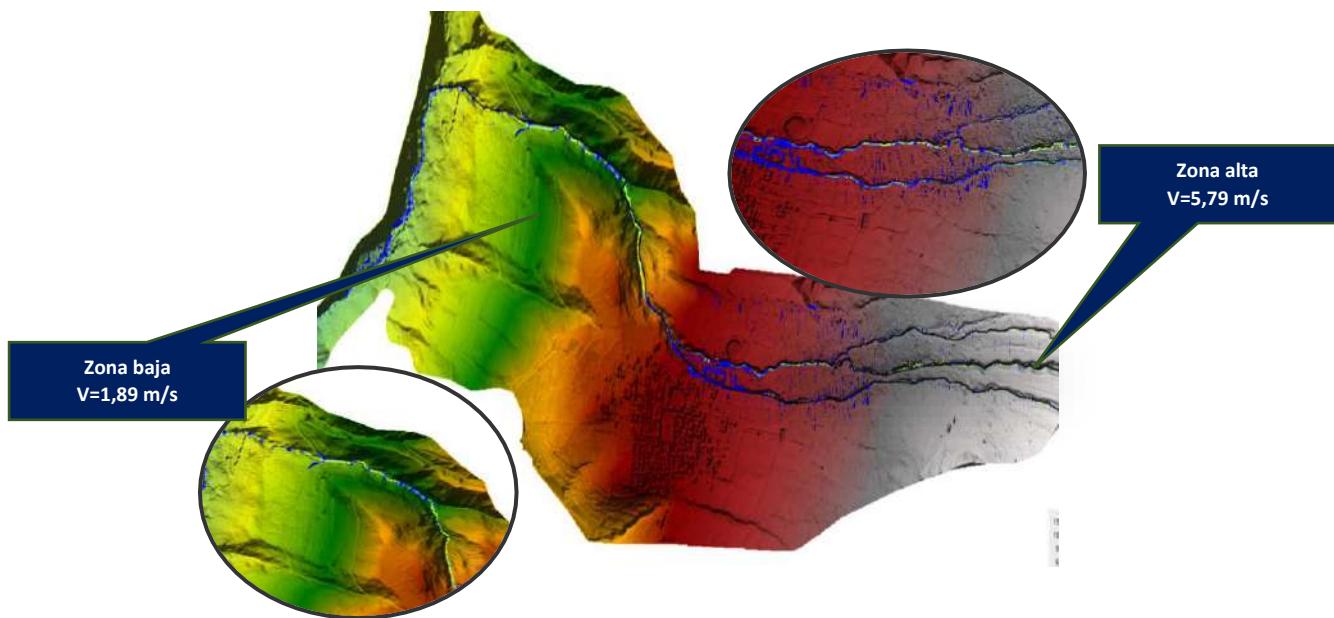


Fuente: Elaboración propia (Extraído del software HEC-RAS)

Identificación de velocidades

En la zona alta de la quebrada Achique Sur se muestran velocidades de hasta 5,79 m/s, debido a las altas pendientes que se originan, mientras que, en la zona baja, donde se encuentra el centro poblado, se tiene velocidades de hasta 1,89 m/s, ante una posible activación de la quebrada para el periodo de retorno de 100 años.

Figura 48: Velocidades máximas para el TR 100 años



Fuente: Elaboración propia (Extraído del software HEC-RAS)



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

2.7. Alternativa de tratamiento y encauzamiento del cauce.

Las pautas metodológicas para la incorporación del análisis del riesgo de desastres en los Proyectos de Inversión Pública indica algunas medidas estructurales para mitigar el impacto negativo del peligro, que se describirán a continuación:

a) Reforestación: Para proteger la cuenca receptora, una de las acciones a realizar es la reforestación. Según García Najera afirma «La vegetación abarca el bosque propiamente dicho, es la más eficaz protección del suelo, ya que ésta afecta a toda la considerable profundidad a que alcanzan las raíces de los árboles»...«Además, a la protección debida a los árboles suele sumarse la de las hierbas y matorral que pueden crecer bajo aquellos; y cuando se trata de especies que no permiten el desarrollo de un subpiso, ello es debido a la abundancia de raíces ya que estas especies forman una cubierta muy tupida y espesa factores ambos que ofrecen una protección eficacísima. Para poder establecer la reforestación se requieren obras como terrazas, bancales, drenajes, albaradas, palizadas, fajinas y barreras vivas

b) Limpieza y descolmatación

Canalizar y limpiar periódicamente el cauce de las quebradas, desquinche, construcción de bancales, andenes o terrazas. En los conos deyectivos, encauzar el curso mediante estructuras transversales, marginales, paralelas y diseñar debidamente los puentes, alcantarillas, cruces de quebradas para el paso normal del huayco.



Fuente: Diario Los Andes - Riobamba



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

c) Programas de renovación urbana

Ejecutar programas de renovación urbana, de mejoramiento y reforzamiento de viviendas y estructuras vulnerables en zonas de riesgos, minimizando los efectos de posibles desastres.

3. DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL

3.1. Dimensionamiento de la faja marginal.

La faja marginal se realizará donde sea necesario y de acuerdo con los resultados de la modelación hidráulica, los tramos correspondientes, de acuerdo con los criterios siguientes:

- El reglamento de fajas marginales de la ANA determina que, una vez determinado el límite superior de la ribera, se establece el ancho mínimo de la faja marginal de acuerdo con lo señalado en el artículo 12, por tanto, se propone un ancho mínimo de 3.0 metros para cada margen, a partir del límite de la ribera, debido a que la pendiente del tramo de la quebrada Achique Sur y sus aportantes, su tipo de fuente es quebrada y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonado de material rocoso.

Tabla 25. Ancho mínimo de la faja marginal de acuerdo con el tipo de fuente

Tipo de fuente	Ancho mínimo (m)
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonados de material rocoso	3
Tramo de ríos con pendiente media (1 – 2%)	4
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y presencia de defensas vivas	6
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y riberas desprotegidas	10
Tramos de ríos con estructuras de defensas ribereñas (Gaviones, diques, enrocados, muros, etc)	4 ¹
Tramos de río de selva con baja pendiente (menores a 1%)	25
Lagos y lagunas	10

¹ Medidos a partir del pie de talud externo

Fuente: Resolución Jefatural N° 332- 2016-ANA

Cabe aclarar de acuerdo al Artículo N° 114 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, se determinan los criterios para la delimitación de las riberas y faja marginal respectivamente como b) Espacio necesario para la construcción, conservación y protección de las defensas ribereñas de los cauces y c) El espacio necesario para los usos públicos que se requieran.

- En la zona alta y media y baja de la quebrada Achique Sur, la propuesta de faja marginal se realizará a partir del modelo hidráulico obtenido en condiciones naturales.

3.2. Verificación Técnica de Campo

Mediante Memorando N°4731-2024-ANA-AAA.CF de fecha 2024-12-20, se solicita a la Administración Local del Agua (ALA) Mala Omas Cañete que realice la verificación técnica de campo, por lo que mediante Oficio Múltiple N ° 0005-2025-ANA-AAA.CF-ALA.MOC la ALA Mala Omas Cañete notifica a la Municipalidad



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Distrital de Huañec, y a la Autoridad Nacional de Infraestructura a fin de que participen de la verificación técnica de campo programada para el día Viernes 07 de marzo de 2025 a las 08:30 am, teniendo como punto de encuentro la Plaza de Armas del distrito de Huañec.

Mediante Informe Técnico N° 0021-2025-ANA-AAA.CF-ALA.MOC/JJP, del 2025-04-23 la ALA Mala Omas Cañete verificó en campo la ubicación de los hitos de la quebrada Achiquiri Sur constatando lo siguiente:

- En el punto de coordenadas UTM (WGS-84): 377073mE – 8640747mN, ubicados muy cerca a ambas quebradas, se realiza el recorrido aguas debajo de estas, iniciando dicho recorrido desde el hito N° 16 en la margen derecha y el hito N° 12 en la margen izquierda; ambos hitos de la quebrada fluente; y desde el hito N° 24 en ambas márgenes de la quebrada Achiquire Sur; observándose en ambas márgenes que los referidos hitos se ubican en ladera de montaña cubierta de vegetación; asimismo, se pudo observar aguas arriba que todos los hitos en ambas márgenes de ambas quebradas; es decir desde el hito N° 21 al hito N° 16 en la margen derecha de la quebrada afluente y desde el hito N° 16 al hito N° 12 en la margen izquierda de la misma, y desde el hito N° 28 al hito N° 24 en la margen derecha de la quebrada Achiquire Sur así como desde el hito N° 29 al hito N° 24 en la margen izquierda de la misma, se ubican en ladera de montaña cubierta de vegetación. Luego, se continuó aguas abajo de ambas quebradas hasta llegar al punto de coordenadas UTM (WGS-84): 376788mE – 8640743mN, es decir que, en la quebrada afluente, en la margen derecha, se recorrió desde el hito N° 16 al hito N° 12 y en la margen izquierda, desde el hito N° 12 al hito N° 09 y en la quebrada Achiquire Sur, en ambas márgenes, se recorrió desde el hito N° 24 al hito N° 22, observándose en todo el recorrido que todos los hitos en ambas márgenes de ambas quebradas, se ubican en ladera de montaña cubierta de vegetación. Por último, se debe de indicar que en la quebrada afluente discurría un caudal aproximado de 15,00 l/s y el cauce tenía un ancho aproximado de 3,00 m. a 5,00 m. y que en la quebrada Achiquire Sur discurría un caudal aproximado de 25,00 l/s y su cauce tenía un ancho aproximado de 5,00 m. a 8,00 m.
- Luego nos trasladamos al punto de coordenadas UTM (WGS-84): 376495mE – 8640733mN, aguas abajo; es decir que, en la quebrada afluente, en ambas márgenes, se recorrió hasta el hito N° 02 (en la margen derecha desde el hito N°12 hasta el hito N° 02 y en la margen izquierda desde el hito N° 09 al hito N° 02) y en la quebrada Achiquire Sur, en ambas márgenes, se recorrió desde el hito N° 22 al hito N° 16, observándose en todo el recorrido que todos los hitos en ambas márgenes de ambas quebradas, se ubican en ladera de montaña cubierta de vegetación se ubican en ladera de montaña cubierta de vegetación y que entre ambas quebradas, se observa predios agrícolas. Asimismo, se debe de indicar que, en la quebrada afluente, discurría un caudal aproximado de 15,00 l/s. y el cauce tenía un ancho aproximado de 5,00



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

m. y que en la quebrada Achiquire Sur discurría un caudal aproximado de 25,00 l/s. y su cauce tenía un ancho aproximado de 10,00 m.

- Después se continuó aguas abajo hasta el punto de coordenadas UTM (WGS84): 376159mE – 8640861mN, punto de confluencia de las dos quebradas donde desemboca la quebrada afluente en la quebrada Achiquire Sur, observándose en todo el recorrido que la quebrada afluente continua su curso natural con un ancho aproximado de cauce de 2,00 ml. y un caudal de 15,00 l/s.; asimismo, se debe de indicar que a la altura del punto de coordenadas UTM (WGS-84): 376428mE – 8640739mN, no se observa ninguna confluencia con la quebrada Achiquire Sur. Por último, se debe de indicar también que se hizo el recorrido aguas debajo de la quebrada Achiquire Sur desde el hito N° 16 al hito N° 12 en la margen derecha y desde el hito N° 16 al hito N° 11 en la margen izquierda, es decir hasta el punto de confluencia, observándose en todo el recorrido que todos los hitos se ubican en predios agrícolas; que el hito N° 14 en la derecha y el hito N° 13 en la margen izquierda, se ubican en un camino carrozable que cruza el cauce de dicha quebrada, que el ancho aproximado del cauce es de 3,00 ml. y que el caudal aproximado es de 25,00 l/s.
- Finalmente, en el punto de coordenadas UTM (WGS-84): 376140mE – 8640873mN, cerca al punto de confluencia, se tuvo que detener el recorrido de la quebrada Achiquire Sur debido a las condiciones climáticas, así como por el caudal discurriendo de 50,00 l/s aproximadamente; sin embargo, por lo poco que se pudo observar es que los hitos en ambas márgenes se ubican en áreas verdes con vegetación y que el ancho del cauce es de aproximadamente 5,00 m
- En conclusión respecto a la propuesta de delimitación de faja marginal de la quebrada afluente a la Quebrada Achiquire Sur y de esta última, se constató que la mayoría de los hitos se ubican en ladera de montaña cubierta de vegetación; que la quebrada afluente, en la margen derecha desde el hito N°12 hasta el hito N° 02 y en la margen izquierda desde el hito N° 09 al hito N° 02 y en ambas márgenes de la quebrada Achiquire Sur, se observa que entre ambas quebradas, hay predios agrícolas; que en la quebrada Achiquire Sur desde el hito N° 16 al hito N° 12 en la margen derecha y desde el hito N° 16 al hito N° 11 en la margen izquierda, es decir hasta el punto de confluencia, los hitos se ubican en predios agrícolas; que en la misma quebrada el hito N° 14 en la derecha y el hito N° 13 en la margen izquierda, se ubican en un camino carrozable y que el referido punto de confluencia de las dos quebradas donde desemboca la quebrada afluente en la quebrada Achiquire Sur, se ubica en el punto de coordenadas UTM (WGS-84): 376159mE – 8640861mN
- Así mismo indican que conforme al estudio de “Delimitación de Faja Marginal de la Quebrada Ceniza tributario del río Mala – margen derecha”, se constató que a la altura del punto de coordenadas UTM



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

(WGS-84): 376428mE – 8640739mN, no se observó ninguna confluencia con la quebrada Achique Sur.

En ese sentido se plantea la reubicación de seis hitos, de los cuales tres corresponde a la margen izquierda del cauce principal, mientras que un hito corresponde a un hito de la margen izquierda del aportante y los otros dos hitos corresponde a la margen derecha del aportante, por lo que para un mejor entendimiento se muestra las siguientes tablas

Tabla 26. Reubicación de hitos

Modificación de Hitos de la margen izquierda del cauce principal					
Hitos anteriores			Hitos actualizados - ALA		
HI-12	376294	8640765	HI-12	376220	8640740
HI-13	376411	8640740	HI-13	376327	8640714
HI-14	376438	8640736	HI-14	376386	8640749

Modificación de Hitos de la margen izquierda del aportante					
Hitos anteriores			Hitos actualizados - ALA		
HI-AP01-1	376431	8640699	HI-AP01-1	376334	8640718

Modificación de Hitos de la margen dereccho del aportante					
Hitos anteriores			Hitos actualizados - ALA		
HD-AP01-1	376438	8640732	HD-AP01-1	376371	8640740
HD-AP01-2	376450	8640716	HD-AP01-2	376406	8640721

3.3. Límites de la faja marginal de la quebrada Achique Sur

La Ubicación de hitos de la faja marginal para la quebrada Achique Sur se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 27. Ubicación de Hitos de la faja marginal

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUE SUR (CAUCE PRINCIPAL)- MARGEN DERECHA					
PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HD-01	375 486	8 641 442	HD-15	376 400	8 640 785
HD-02	375 561	8 641 411	HD-16	376 449	8 640 769
HD-03	375 625	8 641 387	HD-17	376 508	8 640 791
HD-04	375 712	8 641 365	HD-18	376 585	8 640 788
HD-05	375 769	8 641 346	HD-19	376 673	8 640 792
HD-06	375 845	8 641 358	HD-20	376 710	8 640 799
HD-07	375 994	8 641 276	HD-21	376 750	8 640 781
HD-08	376 078	8 641 214	HD-22	376 817	8 640 774
HD-09	376 087	8 641 112	HD-23	376 937	8 640 784
HD-10	376 127	8 640 937	HD-24	377 070	8 640 796
HD-11	376 179	8 640 889	HD-25	377 251	8 640 795
HD-12	376 224	8 640 839	HD-26	377 444	8 640 795
HD-13	376 317	8 640 796	HD-27	377 595	8 640 804
HD-14	376 369	8 640 782	HD-28	377 738	8 640 772

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUE SUR (CAUCE PRINCIPAL)- MARGEN IZQUIERDA					
PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

HI-01	375 474	8 641 398
HI-02	375 526	8 641 402
HI-03	375 574	8 641 358
HI-04	375 711	8 641 321
HI-05	375 819	8 641 293
HI-06	375 936	8 641 222
HI-07	376 008	8 641 164
HI-08	376 038	8 641 072
HI-09	376 073	8 640 908
HI-10	376 128	8 640 869
HI-11	376 163	8 640 820
HI-12	376 220	8 640 740
HI-13	376 327	8 640 714
HI-14	376 386	8 640 749
HI-15	376 469	8 640 737

HI-16	376 489	8 640 745
HI-17	376 530	8 640 764
HI-18	376 585	8 640 759
HI-19	376 633	8 640 758
HI-20	376 677	8 640 748
HI-21	376 752	8 640 751
HI-22	376 858	8 640 745
HI-23	376 935	8 640 753
HI-24	377 012	8 640 762
HI-25	377 111	8 640 759
HI-26	377 199	8 640 755
HI-27	377 310	8 640 745
HI-28	377 535	8 640 736
HI-29	377 677	8 640 677

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUIRE SUR APORANTE 1- MARGEN DERECHA

PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HD-AP01-1	376 371	8 640 740	HD-AP01-12	376 802	8 640 737
HD-AP01-2	376 406	8 640 721	HD-AP01-13	376 859	8 640 739
HD-AP01-3	376 470	8 640 717	HD-AP01-14	376 935	8 640 745
HD-AP01-4	376 502	8 640 707	HD-AP01-15	377 006	8 640 753
HD-AP01-5	376 527	8 640 693	HD-AP01-16	377 075	8 640 744
HD-AP01-6	376 566	8 640 702	HD-AP01-17	377 148	8 640 740
HD-AP01-7	376 603	8 640 694	HD-AP01-18	377 222	8 640 727
HD-AP01-8	376 622	8 640 706	HD-AP01-19	377 352	8 640 703
HD-AP01-9	376 670	8 640 704	HD-AP01-20	377 469	8 640 629
HD-AP01-10	376 730	8 640 709	HD-AP01-21	377 599	8 640 548
HD-AP01-11	376 758	8 640 721			

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUIRE SUR APORANTE 1- MARGEN IZQUIERDA

PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HI-AP01-1	376 334	8 640 718	HI-AP01-9	376 828	8 640 717
HI-AP01-2	376 480	8 640 695	HI-AP01-10	376 912	8 640 719
HI-AP01-3	376 522	8 640 669	HI-AP01-11	376 991	8 640 723
HI-AP01-4	376 611	8 640 679	HI-AP01-12	377 069	8 640 705
HI-AP01-5	376 633	8 640 689	HI-AP01-13	377 183	8 640 703
HI-AP01-6	376 673	8 640 684	HI-AP01-14	377 316	8 640 660
HI-AP01-7	376 723	8 640 686	HI-AP01-15	377 434	8 640 599
HI-AP01-8	376 774	8 640 708	HI-AP01-16	377 564	8 640 506

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES. Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones

- La faja marginal se ha conformado en base a los resultados hidráulicos de inundaciones, en función a los caudales estimados en HEC-HMS, seleccionando el hidrograma de la quebrada Achique Sur para el periodo de retorno de 100 años aplicado los criterios del «Reglamento para la



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Delimitación y Mantenimiento de las Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos Naturales y Artificiales».

Cuenca	Caudales máximos para periodo de retorno de 100 años
SU2	1,78 m ³ /s
SU4	1,23 m ³ /s
JU2	3,01 m ³ /s
RE2	3,01 m ³ /s
JU1	3,01 m ³ /s
RE1	3,01 m ³ /s
SU1	1,47 m ³ /s
Sink-1	4,48 m ³ /s

- De acuerdo con la información topográfica, esta ha sido entregada por la Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN), dentro de ella, se cuenta con una red geodésica primaria compuesta de tres puntos geodésicos de orden "C" los cuales han sido certificado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) con el nombre "Horizon South America SA.C" en el mayo de 2019.

PUNTO	ESTE	NORTE	HAE [m]	Cota EGM20
LIM05221	324 234,8	8 605 884	116,47	90,43
LIM05222	342 757,2	8 620 249	661,50	631,96
LIM07082	368 036,2	8 657 255	2 716,1	2 684,39

- Respecto a los coeficientes de rugosidad de Manning, estos fueron utilizados de acuerdo con el "Informe de estudio de Modelo Hidráulico Base Paquete R-09 Río Mala" proporcionado por la ANIN. Obteniéndose lo siguiente:

Descripción	Manning
Terreno Desnudo	0,025
Carretera	0,022
Vegetación Densidad Baja	0,035
Cauce	0,06
Casco Urbano	0,1

- Se ha realizado la configuración del modelo estableciendo mallas zonificadas de acuerdo tomando las buenas prácticas sugeridas en los manuales de HEC-RAS y Guías de ARCC-UKDT, considerando que para ríos con comportamiento anastomosado y quebradas de fuerte pendiente se tendrán otros criterios para asegurar un modelo detallado.

Elemento	Tamaño de Malla en Quebradas [m]	Área de la celda Seleccionada [m ²]	Área según nota técnica [m ²]
Zona Urbana	2,0	4,0	2,0 a 5,0
Cauce de quebrada	5,0	25,0	2,0 a 30,0

- Se ha realizado numéricamente el paso del flujo en la quebrada Achique Sur, obteniendo los resultados en la parte alta, media y baja del área en cuestión

Periodo de Retorno	Zona	Caudal (m ³ /s)	Velocidades (m/s)	Tirante (m)
TR 100	Alta	4,7	5,79	0,95
	Baja	10,23	1,89	2,66



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

- De acuerdo con la Verificación Técnica se constató que a la altura del punto de coordenadas UTM (WGS-84): 376428mE – 8640739mN, no se observó ninguna confluencia con la quebrada Achique Sur, por lo que fue necesario modificar la propuesta de la ubicación de seis hitos, de los cuales tres corresponde a la margen izquierda del cauce principal, mientras que un hito corresponde a un hito de la margen izquierda del aportante y los otros dos hitos corresponde a la margen derecha del aportante, por lo que para un mejor entendimiento se muestra las siguientes tablas

Modificación de Hitos de la margen izquierda del cauce principal

Hitos anteriores			Hitos actualizados - ALA		
HI-12	376294	8640765	HI-12	376220	8640740
HI-13	376411	8640740	HI-13	376327	8640714
HI-14	376438	8640736	HI-14	376386	8640749

Modificación de Hitos de la margen izquierda del aportante

Hitos anteriores			Hitos actualizados - ALA		
HI-AP01-1	376431	8640699	HI-AP01-1	376334	8640718

Modificación de Hitos de la margen dereccho del aportante

Hitos anteriores			Hitos actualizados - ALA		
HD-AP01-1	376438	8640732	HD-AP01-1	376371	8640740
HD-AP01-2	376450	8640716	HD-AP01-2	376406	8640721

- Establecer la delimitación de la Faja Marginal de la quebrada Achique Sur en ambas márgenes en el cauce principal (2,43 km) y su aportante (1,30 Km), de acuerdo a la metodología de modelamiento hidráulico, el cauce principal cuenta con un total de cincuenta y siete (57) hitos georreferenciadas y validados en coordenadas UTM WGS 84, de los cuales 28 hitos corresponden a la margen derecha y 29 hitos a la margen Izquierda; el Aportante 01 cuenta con un total de treinta y siete (37) hitos georreferenciadas y validados en coordenadas UTM WGS 84, de los cuales 21 hitos corresponden a la margen derecha y 16 hitos a la margen Izquierda, ubicado en la hidrográficamente en la cuenca del río Mala y políticamente en los distritos de San Joaquin y Huañec, provincia de Yauyos y región Lima.

Ubicación del tramo de estudio - Quebrada Achique Sur (Cauce Principal) - Longitud 2,43 km

Cuerpo de Agua	Sector	Inicio		Final		Longitud (km)
		Este	Norte	Este	Norte	
Quebrada	Achique Sur	377 703	8 640 729	375 476	8 641 417	2,43
Nº HITOS		57	Hitos Margen Derecha		Hitos Margen Izquierda	
			28		29	

Ubicación del tramo de estudio - Quebrada Achique Sur- Aportante - Longitud 1,30 km

Cuerpo de Agua	Sector	Inicio		Final		Longitud (km)
		Este	Norte	Este	Norte	
Quebrada	Aportante 01	377 583	8 640 529	376 351	8 640 728	1,30
Nº HITOS		37	Hitos Margen Derecha		Hitos Margen Izquierda	
			21		16	

**PERÚ**

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

- Para de la delimitación de la faja marginal se ha considerado lo establecido en el artículo 12 de la RJ 332-2016-ANA.

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUIRE SUR (CAUCE PRINCIPAL)- MARGEN DERECHA

PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HD-01	375 486	8 641 442	HD-15	376 400	8 640 785
HD-02	375 561	8 641 411	HD-16	376 449	8 640 769
HD-03	375 625	8 641 387	HD-17	376 508	8 640 791
HD-04	375 712	8 641 365	HD-18	376 585	8 640 788
HD-05	375 769	8 641 346	HD-19	376 673	8 640 792
HD-06	375 845	8 641 358	HD-20	376 710	8 640 799
HD-07	375 994	8 641 276	HD-21	376 750	8 640 781
HD-08	376 078	8 641 214	HD-22	376 817	8 640 774
HD-09	376 087	8 641 112	HD-23	376 937	8 640 784
HD-10	376 127	8 640 937	HD-24	377 070	8 640 796
HD-11	376 179	8 640 889	HD-25	377 251	8 640 795
HD-12	376 224	8 640 839	HD-26	377 444	8 640 795
HD-13	376 317	8 640 796	HD-27	377 595	8 640 804
HD-14	376 369	8 640 782	HD-28	377 738	8 640 772

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUIRE SUR (CAUCE PRINCIPAL)- MARGEN IZQUIERDA

PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HI-01	375 474	8 641 398	HI-16	376 489	8 640 745
HI-02	375 526	8 641 402	HI-17	376 530	8 640 764
HI-03	375 574	8 641 358	HI-18	376 585	8 640 759
HI-04	375 711	8 641 321	HI-19	376 633	8 640 758
HI-05	375 819	8 641 293	HI-20	376 677	8 640 748
HI-06	375 936	8 641 222	HI-21	376 752	8 640 751
HI-07	376 008	8 641 164	HI-22	376 858	8 640 745
HI-08	376 038	8 641 072	HI-23	376 935	8 640 753
HI-09	376 073	8 640 908	HI-24	377 012	8 640 762
HI-10	376 128	8 640 869	HI-25	377 111	8 640 759
HI-11	376 163	8 640 820	HI-26	377 199	8 640 755
HI-12	376 220	8 640 740	HI-27	377 310	8 640 745
HI-13	376 327	8 640 714	HI-28	377 535	8 640 736
HI-14	376 386	8 640 749	HI-29	377 677	8 640 677
HI-15	376 469	8 640 737			

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUIRE SUR APORANTE 1- MARGEN DERECHA

PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HD-AP01-1	376 371	8 640 740	HD-AP01-12	376 802	8 640 737
HD-AP01-2	376 406	8 640 721	HD-AP01-13	376 859	8 640 739
HD-AP01-3	376 470	8 640 717	HD-AP01-14	376 935	8 640 745
HD-AP01-4	376 502	8 640 707	HD-AP01-15	377 006	8 640 753
HD-AP01-5	376 527	8 640 693	HD-AP01-16	377 075	8 640 744
HD-AP01-6	376 566	8 640 702	HD-AP01-17	377 148	8 640 740
HD-AP01-7	376 603	8 640 694	HD-AP01-18	377 222	8 640 727
HD-AP01-8	376 622	8 640 706	HD-AP01-19	377 352	8 640 703
HD-AP01-9	376 670	8 640 704	HD-AP01-20	377 469	8 640 629



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

HD-AP01-10	376 730	8 640 709	HD-AP01-21	377 599	8 640 548
HD-AP01-11	376 758	8 640 721			

FAJA MARGINAL - QUEBRADA ACHIQUIRE SUR APORANTE 1- MARGEN IZQUIERDA

PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)	PUNTO	ESTE (m)	NORTE (m)
HI-AP01-1	376 334	8 640 718	HI-AP01-9	376 828	8 640 717
HI-AP01-2	376 480	8 640 695	HI-AP01-10	376 912	8 640 719
HI-AP01-3	376 522	8 640 669	HI-AP01-11	376 991	8 640 723
HI-AP01-4	376 611	8 640 679	HI-AP01-12	377 069	8 640 705
HI-AP01-5	376 633	8 640 689	HI-AP01-13	377 183	8 640 703
HI-AP01-6	376 673	8 640 684	HI-AP01-14	377 316	8 640 660
HI-AP01-7	376 723	8 640 686	HI-AP01-15	377 434	8 640 599
HI-AP01-8	376 774	8 640 708	HI-AP01-16	377 564	8 640 506

4.2. Recomendaciones

- La delimitación de la faja marginal se ha realizado de acuerdo con la normativa vigente. En consecuencia, se recomienda implementar un programa de sensibilización y educación y la necesidad de respetarla, en conformidad con lo establecido en el artículo 120 del reglamento de la ley de Recursos Hídricos, lo cual deberá ser coordinado con la Municipalidad Distrital de San Joaquin y Municipalidad Distrital de Huañec, cumpliendo su autoridad fiscalizadora, y dirigido para los diferentes actores de la cuenca.
- Realizar actividades de mantenimiento del cauce antes y después de la ocurrencia de eventos de máximas avenidas.
- El gobierno local debe proponer planes a mediano y largo plazo para el ordenamiento territorial, que conlleva a desarrollar actividades de reubicación de la población ubicada en zonas de riesgo, dado que los proyectos estructurales tienen un tiempo de vida útil determinado.
- La delimitación de faja marginal de la quebrada Achique Sur fue tomando el estudio de topografía (considerando las condiciones actuales de la zona), hidrología y modelación hidráulica para el periodo de retorno de 100 años, sin embargo, si se plantea la modificación de los hitos, las condiciones de la zona en estudio deben mejorarse, mostrándose obras de protección que permita que las condiciones sean favorables y siendo demostrado técnicamente con la metodología realizada en el presente estudio.
- Se recomienda a la Municipalidad Distrital de San Joaquin, Municipalidad Distrital de Huañec, Municipalidad Provincial de Yauyos, Gobierno Regional de Lima, tener en cuenta el Decreto Supremo N° 094-2018-PCM (TUO de la ley 30556), que en su Quinta disposición complementaria establece (...) declarase como zonas intangibles los cauces de las riberas, las fajas marginales y las fajas de terreno que conforman el derecho de vía de la red vial del Sistema Nacional de Carreteras; y prohíbase expresamente la transferencia o cesión para fines de vivienda, comercio, agrícolas y otros, sean estas para posesiones informales, habilitaciones urbanas, programas de vivienda o cualquier otra modalidad de



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ocupación poblacional, asimismo también se establece que las zonas declaradas de riesgo no mitigable, quedan bajo administración y custodia del Gobierno Regional de la jurisdicción, el que preserva su intangibilidad, bajo responsabilidad del titular del Gobierno Regional y de aquella autoridad que se designe. El Gobierno Regional, con opinión del Gobierno Local correspondiente, se encuentra facultado a disponer la desocupación y/o demolición de toda edificación, pudiendo inclusive utilizar el mecanismo de la recuperación extrajudicial prevista en los artículos 65 al 67 de la Ley N.º 30230.

- Comunicar al Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Municipalidad Distrital de San Joaquin, Municipalidad Distrital de Huañec, Municipalidad Provincial de Yauyos, Gobierno Regional de Lima, Organismos de Formalización de la Propiedad Informal – COFOPRI, Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres – CENEPRED, Oficina Registral de Lima - SUNARP, Instituto Nacional de Defensa Civil, Superintendencia de Bienes Nacionales, a fin de realizar las acciones pertinentes para preservar este espacio como bien de dominio público hidráulico. Remitir copia a la Administración Local de Agua Mala Omas Cañete, conforme a ley