



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Evaluación hidrológica e hidráulica del drenaje y
subdrenaje vial considerando el incremento del cambio
climático para sostenibilidad del tramo Pampas –
Consuzo en el departamento de Ancash - 2022**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Jhonatan Alexander MOGOLLÓN ULLOA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Mogollón, J. (2022). *Evaluación hidrológica e hidráulica del drenaje y subdrenaje vial considerando el incremento del cambio climático para sostenibilidad del tramo Pampas – Consuzo en el departamento de Ancash - 2022*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jhonatan Alexander Mogollon Ulloa.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72381493
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8445-7531
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07136313
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARÍSTIDES RAMÓN SERRUTO COLQUE
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01284486
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07209368

Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.2. Recursos Hídricos
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Ancash Provincia: Pallasca Distrito: Pampas Latitud: -8° 10' 39.01" Longitud: -77° 50' 23.29"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022
URL de disciplinas OCDE	Oceanografía, Hidrología, Recursos hídricos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.11



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del PERÚ, Decana de América)
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE LA MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE
TITULACIÓN M-3 – POR SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Siendo las 14:00 horas del día martes 4 de octubre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Dr. Ing. DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA y con la asistencia de los miembros Dr. Ing. ARÍSTIDES RAMÓN SERRUTO COLQUE y el Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

JHONATAN ALEXANDER MOGOLLÓN ULLOA

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller JHONATAN ALEXANDER MOGOLLÓN ULLOA, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada “EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS – CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH - 2022”.

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Se procedió a promediar la nota final del curso de actualización y la nota de la sustentación para obtener la calificación final.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

.... Dieciséis.....16.....

El Presidente del Jurado Dr. Ing. DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller JHONATAN ALEXANDER MOGOLLÓN ULLOA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 15:20 horas, del mismo día, se levantó la sesión.

Dr. Ing. DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA
PRESIDENTE DEL JURADO

Dr. Ing. ARÍSTIDES RAMÓN SERRUTO COLQUE
MIEMBRO DEL JURADO

Ing. GUIDO AMÉRICO ROZAS OLIVERA
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.10.2022 17:43:51 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/84513014676?pwd=eUMvcDBUQmR1WGZGM2IBVEI0dk1uQT09>

ID: ID de reunión: 845 1301 4676

Código de acceso: 957617

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1TiP8dgkt39VjJkYc6ma6YRjnx7_Rt5Ri/view?usp=sharing

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

A mis padres (Wilfredo Mogollón Olaya y Senobia Ulloa Mallqui)
Que fueron quienes me guiaron a seguir mis metas y me demostraron que aún
con lo poco que uno pueda tener puede hacer muchas cosas si se lo propone, también
Por sus consejos y él confiar siempre en Dios.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Agradecimientos

A Dios por ser mi proveedor y sustento, para sostener mi mano cuando pensé que el camino estaba llegando a su fin, y para proporcionar la fuerza necesaria cuando estoy escaso de energía.

Gracias a mis padres (Wilfredo Andres Mogollon Olaya y Senobia Ulloa Mallqui)

Gracias a mi novia Katterin Porras De la Vega por darme todo su apoyo

Para poder superarme día tras día.

A mis maestros por su gran labor y dirección para poder desarrollarme profesionalmente.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Resumen

Las vías de acceso terrestre (camino, autopista, carretera u otra vía de acceso comunicación) significa el crecimiento de una población de importancia económica y social, es por ello; que debe contar con un buen diseño de drenaje vial (obras de arte) que constituye de elementos estructurales con la capacidad de captura y eliminación del agua , Así, se está llevando a cabo el estudio actual del sistema de drenaje de la carretera Pampas - Consuzo en el departamento de Ancash, con una longitud de 4,16 kilómetros, localizada en la provincia de Pallasca. La presente monografía se enfocará en dos aspectos: (1) Un análisis hidrológico de la zona del proyecto basado en datos históricos de las estaciones meteorológicas cercanas, considerando el incremento afectado por el cambio climático. (2) Se realiza un análisis hidrológico para averiguar las dimensiones necesarias para garantizar el correcto desplazamiento del flujo circulante. El cálculo se basa en los métodos racionales y manning, que se complementan con las herramientas informáticas disponibles. Por último, la consistencia de dentro de las limitaciones de las normas existentes y de los parámetros de diseño, los resultados obtenidos, como el drenaje realizado por las tuberías y drenajes.

Palabras clave: evaluación hidrológica, drenaje vial, evaluación hidráulica, diseño hidráulico, obras de arte.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Abstract

Land access routes (road, highway, highway or other communication access route) mean the growth of a population of economic and social importance, that is why; that it must have a good design of road drainage (works of art) that constitutes structural elements with the capacity to capture and eliminate water, thus, the current study of the drainage system of the Pampas - Consuzo highway is being carried out in the department of Ancash, with a length of 4.16 kilometers, located in the province of Pallasca. This monograph will focus on two aspects: (1) Based on historical data from neighboring weather stations, a hydrological study of the project region was conducted considering the increase affected by climate change. (2) A hydrological study is carried out in order to determine the dimensions that are required in order to ensure the right displacement of the circulating flow. The calculation is based on the rational and manning methods, which are complemented by the available computer tools. Finally, consistent outcomes attained within the constraints of standards and design requirements, such as the drainage provided by pipes and drains

Keywords: hydrological evaluation, drainage on the road, hydraulic evaluation, hydraulic design, works of art.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Tabla de Contenidos

CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES.....	11
1.1. Introducción	11
1.2. Tema de Estudio	12
1.3. Problemática y problema a solucionar	12
1.4. Objetivos de la monografía.....	14
1.4.1. Objetivo General	14
1.4.2. Objetivos específicos.....	14
1.5. Limitaciones del tema	14
1.6. Antecedentes	16
1.6.1. Antecedentes Nacionales.....	16
CAPÍTULO 2 –MARCO TEÓRICO.....	18
1.7. Hidrología	18
1.7.1. Periodo de retorno	18
1.7.2. Prueba de datos dudosos	18
1.7.3. Análisis de frecuencia y prueba de la bondad del ajuste.....	20
1.7.4. Intensidad de diseño.....	20
1.7.5. Hietograma de precipitación	21
1.7.6. Tiempo de concentración	22
1.7.7. Método racional.....	24
1.7.8. Método racional modificado	25
1.8. Cambio Climático	26
1.8.1. Reducción de escala:	27
1.8.2. Incertidumbre:	27
1.9. Drenaje vial de la carretera	28
1.9.1. Drenaje longitudinal.....	32
1.9.2. Drenaje Transversal.....	33
1.10. Subdrenaje vial de la carretera.....	35
1.10.1. Caudal de diseño	36
1.10.2. Capacidad de conducción del subdren	38
CAPÍTULO 3 – DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	40
2.1. Ubicación	40
2.1.1. Fenómeno del Niño	43
2.2. Estudio hidrológico.....	44
2.2.1. Objetivo.....	44
2.2.2. Cuencas de interés.....	44
2.2.3. Parámetros fisiográficos.....	44
2.2.4. Análisis de información	45
2.2.5. Registro de precipitación máxima.....	45
2.2.6. Periodo de retorno a evaluar.....	47
2.2.7. Caudales - Método Racional para las cuencas C2-01 hasta C2-13 ..	47
2.2.8. Caudales – Método Racional Modificado para la cuenca C2-14.....	64

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

2.3.	Efecto del Cambio Climático.....	67
2.3.1.	Modelo de Circulación General (MCGs) del World Meteorological Organization (WMO).....	67
2.4.	Diseño del Drenaje Vial.....	6
2.4.1.	Drenaje Longitudinal.....	6
2.4.2.	Drenaje Transversal.....	14
2.5.	Subdrenaje Vial.....	19
2.5.1.	Caudal de diseño	19
2.5.2.	Dimensionado de la sección del Subdren.....	21
2.5.3.	Diseño de la tubería colectora	22
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN		24
3.1.	Hidrología	24
3.1.1.	Resultado de caudales del estudio hidrológico	24
3.2.	Cambio climático	24
3.2.1.	Resultado de Caudales con cambio climático	24
3.3.	Drenaje Vial.....	28
3.3.1.	Drenaje longitudinal.....	28
3.3.2.	Drenaje Transversal.....	28
3.4.	Subdrenaje vial.....	31
CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		32
CAPITULO 6 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		34

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Periodos de retorno y vida útil para cada tipo de estructura.....</i>	18
<i>Tabla 2: Valores Kn para ponerlo a prueba de datos con un alto grado de incertidumbre</i>	19
<i>Tabla 3: Para la fórmula racional, coeficientes de flujo.....</i>	25
<i>Tabla 4: Valores del Coeficiente de rugosidad de Manning</i>	31
<i>Tabla 5: Recomendación de dimensionamiento mínimo</i>	32
<i>Tabla 6: Velocidades máximas admisibles</i>	32
<i>Tabla 7: Valores de Cowan</i>	34
<i>Tabla 8: Factores de infiltración.....</i>	37
<i>Tabla 9: Factores de Retención de la base.....</i>	37
<i>Tabla 10: Variación Pendiente - Velocidad</i>	38
<i>Tabla 11: Información sobre ubicación del proyecto.....</i>	40
<i>Tabla 12: Cuencas aportantes – Drenaje Transversal.....</i>	44
<i>Tabla 13: Parámetros fisiográficos de las cuencas identificadas</i>	44
<i>Tabla 14: Estaciones pluviométricas e influencia sobre el Eje del tramo</i>	45
<i>Tabla 15: Estación Mollepatá</i>	46
<i>Tabla 16: Máximas precipitaciones en 24 horas de la estación Mollepatá</i>	47
<i>Tabla 17: Valores de Kn para prueba de data sesgada</i>	49
<i>Tabla 18: Distribución de Frecuencias por los diferentes métodos.....</i>	51
<i>Tabla 19: Comparación de frecuencias.....</i>	52

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

<i>Tabla 20: Máxima precipitación de 24 horas correcta desde la estación de Mollepata .</i>	54
<i>Tabla 21: Precipitación total por el método de Dick y Peschke (1991).....</i>	55
<i>Tabla 22: Intensidad – duración – Frecuencia</i>	56
<i>Tabla 23: Intensidades del tramo para cunetas y subdrenes</i>	57
<i>Tabla 24: Intensidad – Precipitación Tr 100 años</i>	58
<i>Tabla 25: Resumen de Tiempo de concentración (Tc)</i>	59
<i>Tabla 26: Resumen de Intensidades de diseño</i>	60
<i>Tabla 27: Coeficiente de escorrentía.....</i>	62
<i>Tabla 28: Pendiente - Coeficiente de Escorrentía.....</i>	62
<i>Tabla 29: Resumen de caudales – Método Racional.....</i>	63
<i>Tabla 30: Clasificación de clases antecedentes de humedad (amc).....</i>	66
<i>Tabla 31: Data histórica y futura – Modelo ACCESS1-0 – Escenario RCP4.5.....</i>	70
<i>Tabla 32: Data histórica y futura – Modelo bcc-csm1-1 – Escenario RCP4.5.....</i>	5
<i>Tabla 33: Data Histórica en orden creciente del modelo ACCESS1-0, del año 1985-2018 - Escenario RCP4.5.</i>	4
<i>Tabla 34: Data Futura en orden creciente del modelo bcc-csm1-1, del año 2032-2065 - Escenario RCP4.5.....</i>	1
<i>Tabla 35: Precipitación histórica del año 1985-2018 por cada modelo del Escenario RCP4.5.....</i>	2
<i>Tabla 36: Precipitación futura del año 2032-2065 por cada modelo del Escenario RCP4.5.</i>	2
<i>Tabla 37: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2032-2065</i>	2
<i>Tabla 38: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2067-2100</i>	3
<i>Tabla 39: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2032-2065</i>	4
<i>Tabla 40: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2032-2065</i>	5
<i>Tabla 41: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2067-2100</i>	5
<i>Tabla 42: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2067-2100</i>	6
<i>Tabla 43: Data histórica y futura – Modelo ACCESS1-0 – Escenario RCP8.5.....</i>	7
<i>Tabla 44: Data histórica y futura – Modelo bcc-csm1-1 – Escenario RCP8.5.....</i>	4
<i>Tabla 45: Data Histórica en orden creciente del modelo ACCESS1-0, del año 1985-2018 - Escenario RCP8.5.</i>	5
<i>Tabla 46: Data Futura en orden creciente del modelo bcc-csm1-1, del año 2032-2065 - Escenario RCP8.5.....</i>	1
<i>Tabla 47: Precipitación histórica del año 1985-2018 por cada modelo del Escenario RCP8.5.....</i>	2
<i>Tabla 48: Precipitación histórica del año 2032-2065 por cada modelo del Escenario RCP8.5.....</i>	2
<i>Tabla 49: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2032-2065</i>	2
<i>Tabla 50: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2067-2100</i>	2
<i>Tabla 51: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2032-2065</i>	3

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

<i>Tabla 52: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2025-2065</i>	5
<i>Tabla 53: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2067-2100</i>	5
<i>Tabla 54: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2060-2100</i>	6
<i>Tabla 55: Coeficientes de escorrentía método racional.....</i>	6
<i>Tabla 56: Datos de entrada considerados para el diseño</i>	7
<i>Tabla 57: Ancho de Impluvium (20m-110m) y pendientes</i>	10
<i>Tabla 58: Ancho de Impluvium (130m – 220m) y pendientes</i>	11
<i>Tabla 59: Velocidades vs Diámetros, para pendiente 1%.....</i>	21
<i>Tabla 60: Velocidades vs Diámetros, para pendiente 5%.....</i>	21
<i>Tabla 61: Resumen de caudales – Método Racional y Método Racional Modificado</i>	24
<i>Tabla 62: Caudales con Cambio Climático – Escenario RCP8.5.....</i>	26
<i>Tabla 63: Características alcantarillas a proyectarse.....</i>	31

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Reporte de daños en las vías del CC.PP. Consuzo.	13
Ilustración 2: Hietograma de diseño.	22
Ilustración 3: Sección típica Subdren.....	36
Ilustración 4: Comparativo Pendiente (S) vs Velocidad (V).....	39
Ilustración 5: Ubicación Regional del tramo analizado en la monografía	41
Ilustración 6: Ubicación de la vía del tramo analizado en la monografía	42
Ilustración 7: Información del tramo durante el fenómeno del niño	43
Ilustración 8: Valores de las precipitaciones dentro del Umbral	50
Ilustración 9: Distribución ajustada de la precipitación máxima anual	55
Ilustración 10: Grafica de Curva – Duración – Frecuencia de la estación Mollepata	57
Ilustración 11: Hietograma de precipitación de diseño.....	59
Ilustración 12: Grafica del coeficiente de escorrentía	63
Ilustración 13: Portal World Meteorological Organization (WMO) – Climate Data Catalogue.....	69
Ilustración 14: Extracción de datos del Portal World Meteorological Organization (WMO)	70
Ilustración 15: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico de la cuneta	7
Ilustración 16: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico del canal.....	12
Ilustración 17: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico del baden	15
Ilustración 18: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico de las aguas residuales..	17
Ilustración 19: Determinación sector areal para una alcantarilla TMC.	18
Ilustración 20: Determinación sector areal para una tubería colectora	22
Ilustración 21: Variación de Cambio delta para el escenario RCP 4.5.....	25
Ilustración 22: Variación de Cambio delta para el escenario RCP 8.5.....	25
Ilustración 23: Detalle de cuneta propuesta para el Tramo.....	28

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Ilustración 24: Gráfico comparativo para una TMC de 36''	30
Ilustración 25: Gráfico comparativo para una TMC de 48''	30

CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES

1.1. Introducción

El sistema de drenaje de la carretera se compone de obras de arte en secciones transversales y longitudinales nos permiten dirigir de manera adecuada e inteligente las aguas provenientes de quebradas, ríos o pluviales, las cuales generan descargas máximas de agua, que deben ser recogidas o conducidas fuera del acceso a ser drenado evitando así el colapso(carreteras), inundación e inaccesibilidad a las zonas agrícolas, rurales o urbanizadas. Como característica principal El drenaje puede definirse como el proceso que permite desviar o reducir la cantidad máxima de agua de las carreteras. (Romero Vanegas, Ronchaquira Sabogal, & Gomez Pachon, 2017, pág. 8)

Para el estudio de drenaje vial es necesario la correcta aplicación de la hidrología como subcampo de La mecánica de fluidos es una rama de la mecánica que se ocupa de del estudio del comportamiento del flujo, estructuras hidráulicas, desde su planteamiento, planificación y proyección, se entiende que estás cumplirán las funciones de captar, conducir, regular y proteger los efectos del paso del agua.

Un proyecto hidráulico es una obra cuyas características y dimensiones han sido establecidas atendiendo principalmente a normas y criterios hidráulicos e hidrológicos. Los estudios hidrobiológicos son críticos en la creación de este tipo de trabajo hidráulico, debido a que los modelos matemáticos que proporcionan una solución al problema planificado principalmente se utilizan con frecuencia en estos estudios.

El drenaje de carreteras es un factor crítico cuando se trata de diseño y construcción de carreteras. Si todos los demás aspectos del diseño y la construcción de la carretera se hacen bien, pero el drenaje no, la carretera fallará rápidamente en el uso debido a la entrada de agua en el pavimento y su base. (Adam Mikail, 2020, pág. 1)

Un sistema de superficie libre se diseña y construye en función sobre su profundidad del flujo a lo largo de la longitud del canal se mide en pies. el cual estudiaremos y determinaremos para estimar los niveles, problemas posibles y así determinar las dimensiones de la estructura.

El propósito de esta investigación es hacer una recomendación de diseño describiendo un sistema de drenaje para el CC.PP. de Consuzo, en el distrito de las Pampas. En el desarrollo de este, Hay un análisis de la condición actual de la carretera, el proceso de calcular los parámetros necesarios para el desarrollo de una propuesta de solución para la rehabilitación adecuada de las carreteras.

1.2. Tema de Estudio

En la presente monografía corresponde al capítulo de Hidrología e Hidráulica de “Evaluación del drenaje y subdrenaje vial considerando el incremento del cambio climático para la sostenibilidad del tramo Pampas - Consuzo en el departamento de Ancash”, de acuerdo con el planteamiento abordado por la presente monografía.

1.3. Problemática y problema a solucionar

El desarrollo de una región (económico y social) se encuentra directamente relacionado con la condición o el estado de las carreteras. Cada región crece en los ámbitos cultural, social y económico, dada la necesidad de interactuarse, trasladarse y comunicarse incrementa la posibilidad en la medida en que esto exista. En numerosas ocasiones, el deterioro de las infraestructuras no se debe a malas prácticas de diseño o construcción, sino que, es el resultado de años de uso y daños. La carretera se deteriora gradualmente debido a una variedad de factores, entre ellos los siguientes: variaciones en el clima, drenaje, condiciones del suelo, tránsito de camiones, etcétera. Como se mencionó anteriormente el fenómeno del Niño Costero fue un factor significativo en el deterioro, por ello, se debe proveer la rehabilitación de la infraestructura del transporte, colocar una mayor prima en la conservación de las carreteras, evitando el daño en las infraestructuras de las vías terrestres enfatizando en el adecuado estudio hidráulico para los drenajes transversales y longitudinales, poder así conservar mejor las vías del Perú, que son ramas de la ingeniería Mecánica de Fluidos con el cual se podrá abordar los diferentes fenómenos producidos por la fuerza y transcurso del agua sobre estas vías.

Beneficiando directamente al pueblo de Consuzo de manera directa y de manera indirecta a los pueblos aledaños, integrándolos a la provincia de Pallasca que permita una verdadera comunicación de sus pobladores, cuyos habitantes se dedican por completo a la agricultura y la ganadería criando los animales como: vacunos y animales menores, contribuyendo de Contribuir de forma significativa al desarrollo y la expansión de la economía, La vida social y cultural de las personas que viven allí.

La tecnología empleada es de naturaleza básica (tradicional), ser su principal fuente de sustento, que las clasifica como una economía primaria naciente, resultando en importantes movimientos migratorios a otras regiones del país como a la ciudad de Chimbote y Nuevo Chimbote, La ejecución del proyecto permitirá el marketing de los productos en ambas direcciones, así como la aplicación de acciones de desarrollo. Justificación fundamental para la ejecución del proyecto, el mismo que servirá de base para la autosuficiencia rural. La zona donde se emplazará este proyecto no puede ser más acertada y propicia pues permitirá una rápida y eficiente movilización del transporte vehicular.

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

A continuación, mostramos un reporte de los daños a la vía en este tramo en el año 2018

Ilustración 1: Reporte de daños en las vías del CC.PP. Consuzo.

Áncash: derrumbes aíslan cinco distritos en la provincia de Pallasca

EMAIL FACEBOOK TWITTER GOOGLE+ PINTEREST

Domingo, 24 Febrero 2019 - 11:00pm



Huaraz en Línea. – Dos derrumbes han aislado a cinco distritos de la provincia de Pallasca, en Áncash; así como también han quedado incomunicados dos distritos de la provincia Santiago de Chuco, en La Libertad.

Las lluvias torrenciales han ocasionado deslizamientos de piedras y lodo en el caserío de Sacaicacha, en el distrito de Bolognesi.

Los distritos de Pallasca, Huacachuque, Lacabamba, Pampas y Conchucos están aislados desde la tarde del sábado, así como también Mollepata y Mollebamba de Santiago de Chuco, debido a que la carretera está intransitable.

El alcalde provincial de Pallasca, Marcial Valerio Chávez, pidió apoyo de la Dirección Regional de Transportes en Áncash para que envíe maquinaria pesada que ayude a rehabilitar la vía y restablecer el tránsito.

“Los pallasquinos pretenden tomar una ruta alterna más larga por Cabana para poder salir a la costa. Estamos solicitando el apoyo urgente de la Dirección Regional de Transporte de Áncash para que nos ayude con maquinaria pesada”, indicó.

Cabe indicar que en la provincia de Pallasca los distritos declarados en emergencia son Conchucos, Cabana, Pampas, Pallasca, Tauca, Llapo y Lacabamba, actualmente cuatro de ellos resultaron afectados con estos deslizamientos. (Redacción Central)

Fuente: (Huarazlinea, 2019)

Los habitantes del pueblo de Consuzo, en el distrito de Pampas de la provincia de Ancash de Pallasca, pidieron ayuda al Gobierno Regional de Ancash y al Gobierno Central para enviar equipos pesados para rehabilitar la carretera y restablecer el flujo de tráfico, que se había detenido debido a la caída de piedras y arena causada por la lluvia intensa.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Los agentes de policía de la estación de policía de Pallasca informaron de que El tráfico se ha detenido debido a la caída de piedras y arena en la carretera a Pampas; también es imposible pasear por la ciudad a pie. “Dos camiones y un tráiler de camiones fueron atrapados en la sección afectada, y no pueden volver a la región de Pampas.”, precisaron.

“A medida que las tormentas de viento siguen cayendo, Para limpiar la carretera que conecta el distrito, necesitaremos la ayuda de la maquinaria pesada en el distrito de Pampas con el resto del país. Para el momento, sólo se permite pasar el aire.”, indicaron en la comisaría de Pallasca. (Ancash al día, 2018)

1.4. Objetivos de la monografía

Los conceptos de mecánica de fluidos deben aplicarse al diseño de sistemas de drenaje de carreteras para la rehabilitación del tramo Pampas – Consuzo en el departamento de Ancash.

1.4.1. Objetivo General

El objetivo general de esta monografía es proporcionar la evaluación del drenaje y subdrenaje vial considerando el incremento del cambio climático para sostenibilidad del tramo Pampas – Consuzo en el departamento de Ancash.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las cuencas de las vías más importantes comprometidas en el desarrollo de la vía del tramo de estudio.
- Determinar los caudales de avenidas máximas de diseño, para los períodos de retorno respectivos considerando cambio climático para la vida útil de las estructuras proyectadas.
- Determinar a partir del diseño hidráulico las dimensiones permisibles de las estructuras del drenaje vial longitudinal y transversal.
- Determinar a partir del diseño hidráulico la proyección del subdrenaje vial.

1.5. Limitaciones del tema

- La monografía técnica permite estudiar conocimientos sobre análisis hidrológico y capacidades hidráulicas de alcantarillas, no se va a realizar análisis estructural, costos, impacto ambiental, entre otros.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

- La cartografía utilizada para la presente monografía es obtenida de las cartas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000 y la información pluviométrica fue extraída de la página de la Autoridad nacional del Agua (ANA) y de la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

1.6. Antecedentes

Una síntesis de una revisión de los estudios y la investigación que se han realizado en la zona, así como del sistema de drenaje, revela los siguientes trabajos de investigación.

También como complemento, se presentan estudios en vías de otros trabajos de investigación asociados a nuestro ámbito de estudio.

1.6.1. Antecedentes Nacionales

Estudio realizado en el 2016 como parte de monografía técnica “Se están evaluando sistemas alternativos de drenaje del tramo carretero Tres Cruces – Yuracmarca desde km 19+700 hasta km 22+150, provincia de Huaylas, departamento de Ancash”

El propósito de esta investigación era averiguar el mejor sistema de drenaje alternativo para la sección de la carretera para garantizar la correcta funcionalidad de la carretera, que se encuentra actualmente en peligro debido a la ausencia de un sistema de drenaje adecuado, que se agrava durante las temporadas de lluvias. Para la sección en estudio, se eligió los siguientes sistemas de drenaje: drenaje de superficie transversal, drenaje de paso y drenaje de alivio; drenaje de superficie longitudinal, alcantarillas; y, por último, un subdrenaje convencional para el drenaje de la superficie subterránea. Por último, se realizó un análisis hidráulico en cada uno de los sistemas seleccionados para determinar qué sección hidráulica era la más eficiente. (Ramos Del Castillo & Casamayor Moreno, 2016, pág. 22)

URL: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3152>

Otro estudio realizado en el 2016 como parte de monografía técnica “Diseño hidrológico e hidráulico del sistema de drenaje del camino acceso principal tramo II desvío Moquegua-Papujune”.

La Monografía actual propone estructuras de drenaje transversal y longitudinal que pueden implementarse teniendo en cuenta la situación actual del tramo Moquegua – Papujune Camino Principal Tramo II, la cual consta de 27+259.80 km y ubicado en el Departamento de Moquegua, Distrito de Moquegua a 27.1 km.

Las características hidrológicas y geomorfológicas fueron evaluadas por los investigadores de las principales cuencas que atraviesan la ruta propuesta. Se establecieron las zonas de inundación máximas de las carreteras de las principales cuencas que cruzaban el desvío de Moquegua-Papujune a través de la ruta de acceso principal tramo II. Desarrollar diseño del sistema de drenaje para la sección principal de acceso de la carretera, incluyendo su hidráulica II Moquegua-Papujune.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Se consideró borde libre con holgura para evitar obstrucciones en el ingreso de la estructura que la especificada en el manual a la hora de diseñar las secciones hidráulicas que se instalarían en las presas (La altura total de la estructura es el 25% de su altura total), podemos evitar los problemas de las aguas residuales bloqueados a través del transporte de material de carga de acuerdo con sus recomendaciones el Manual de Hidrología e Hidráulica 2011, para las estructuras más grandes, diseñadas para todo el Camino Acceso Principal Tramo II Desvío Moquegua-Papujune. (Neciosup Reluz, 2016).

URL: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/12775>

CAPÍTULO 2 –MARCO TEÓRICO

Como estudio fundamental para el drenaje en carreteras, es el estudio hidrológico en el cual determinaremos el máximo caudal con el cual diseñaremos los elementos de drenaje vial.

1.7.Hidrología

1.7.1. Periodo de retorno

“Se define como el número medio de años que transcurren en una situación o contexto situacional determinado que se pasan en una situación determinada entre las ocurrencias de un evento hidrológico particular (lluvia, flujo, etc.)” (Guzman Arias D. , 2012, pág. 9)

El riesgo de fallo admisible de cada estructura y la vida útil del servicio fueron obtenidos del manual de carreteras - hidrología, hidráulica y drenaje (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011, pág. 23). Según la *Tabla 1*, el período de retorno esperado para cada tipo de estructura es:

Tabla 1: Períodos de retorno y vida útil para cada tipo de estructura.

Tipo de estructura	Riesgo admisible (%)	Vida útil (años)	Periodo de retorno (años)
Puentes	25	40	140
Alcantarillas y Badenes	30	25	71
Alcantarillas de Alivio	35	15	35
Cunetas	40	15	30
Defensas Ribereñas	25	40	140
Sub-drenes	40	15	30

Fuente: (Manual del MTC, 2011, pág. 25)

1.7.2. Prueba de datos dudosos

Este examen se llevó a cabo para determinar datos potencialmente dudosos(outliers). Estos son los puntos que difieren significativamente de la tendencia establecida por los datos restantes. El método se utilizó en la prueba del Water Resources Council (V. Chow, Hidrología Aplicada, 1994, pág. 410). Este método consiste en verificar que los datos históricos estén dentro de los umbrales de dato alto y bajo.

Para identificar datos altamente dudosos, se pueden utilizar las siguientes técnicas ecuación de frecuencia:

$$y_H = \bar{y} + K_n S_y \quad (2. 1)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Donde:

y_H : En unidades logarítmicas, se requiere un alto umbral para los datos dudosos.

\bar{y} : La media de los logaritmos de las cantidades de lluvia registradas

K_n : Para un tamaño de muestra de n , Se han obtenido los resultados de la Tabla 2.

S_y : La desviación estándar de los logaritmos se define como de la mayor cantidad de precipitaciones registradas.

Para detectar los datos dudosos bajos puede usarse una ecuación similar:

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y \quad (2.2)$$

Donde:

y_L : En unidades logarítmicas, se establece un bajo umbral para los datos dudosos.

Tabla 2: Valores K_n para ponerlo a prueba de datos con un alto grado de incertidumbre

n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: (V. Chow, Hidrología Aplicada, 1994, pág. 416)

1.7.3. Análisis de frecuencia y prueba de la bondad del ajuste

El término "análisis de frecuencia" se refiere al proceso de aplicación de distribuciones de frecuencia a una serie de valores máximos de las precipitaciones, este análisis se desarrolló mediante hojas de cálculo y el software Hydrognomon para las siguientes distribuciones:

- Normal
- Log normal
- Pearson III
- Log Pearson III
- Gumbel.

La prueba de valores máximos absolutos para el ajustamiento utilizado es la prueba de Kolmogorov – Smirnov, cuando se trata de datos de precipitaciones históricas, es necesario determinar la distribución de frecuencia más adecuada.

1.7.4. Intensidad de diseño.

No hay registros disponibles de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio, por lo que es imposible determinar las intensidades máximas basadas en estos registros. Sin embargo, pueden calcularse utilizando la cantidad de precipitación más significativa, que puede realizarse utilizando uno de los métodos enumerados en la siguiente sección.

- IILA-SENAMHI-UNI (1983)
- Bell (1969)
- Grunsky
- Dick y Peschke (1991)

a) Método de Dick y Peschke

Para las tormentas que duren menos de una hora, estas pueden ser calculadas mediante la metodología presentada en el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011, pág. 30) de Dick Peschke que expresa la relación entre la duración de la tormenta y la cantidad de lluvia que se puede esperar en 24 horas son las siguientes:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (2.3)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Donde:

P_d : precipitación total (mm)

d : duración en minutos

P_{24h} : precipitación máxima en 24 horas (mm)

Las curvas de intensidad, duración y frecuencia se han calculado de manera indirecta, comenzando por la siguiente relación como principio de orientación:

$$I = \frac{10^k T^m}{t^m} \quad (2.4)$$

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = Los factores específicos del campo de estudio

T = la duración del retorno en años

t = La duración de la precipitación es igual al tiempo que se pasó en la concentración.
(min)

1.7.5. Hietograma de precipitación

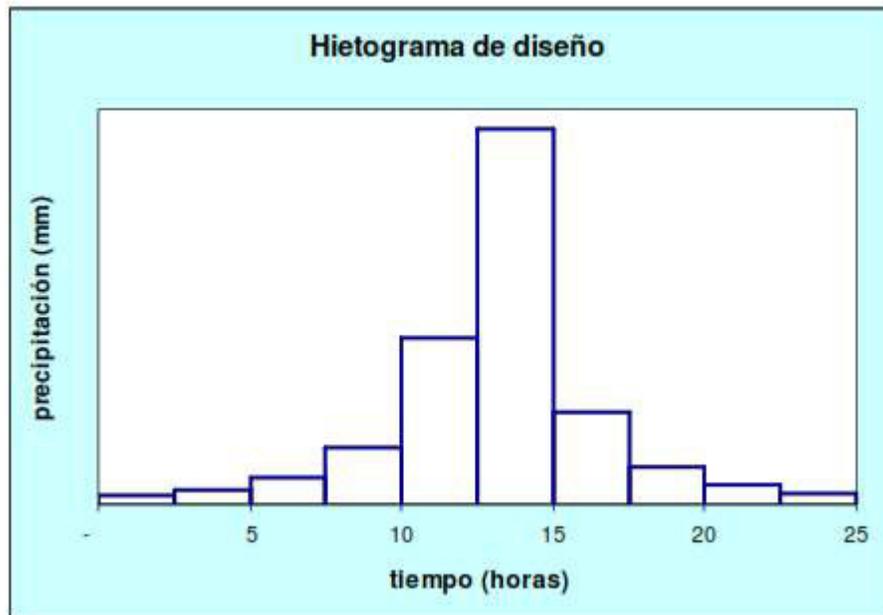
El hietograma de precipitación representa la distribución temporal de las precipitaciones y es uno de los parámetros necesarios en el análisis de lluvia-escorrentía.

Sin embargo, no sólo los métodos hidrológicos modernos exigen el uso de valores de precipitación o intensidades de diseño, sino que también exigen el uso de la distribución temporal (tormenta), que se define como la investigación de la distribución de las tormentas

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

meteorológicas que se han observado durante un periodo de tiempo prolongado.
(Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011, pág. 34)

Ilustración 2: Hietograma de diseño.



Fuente: (Manual del MTC, 2011, pág. 41)

1.7.6. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración puede determinarse experimentalmente o estimarse empíricamente, Se utilizaron las siguientes ecuaciones para estimar los resultados de este estudio:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

- Kirpich (1940) Presentado en el manual de Hidrología e Hidráulica del MTC
- Bransby – Williams (1922) Presentado en el Libro de Hidrología Aplicada, Ven Te Chow
- Temez (1991) Análisis Morfométrico de Cuencas. Instituto Nacional de Ecología de España

a) Kirpich

La metodología que se utilizará será la que da lugar a una representación más precisa del flujo observado durante la inspección del campo. Para pendientes entre 3.0 % a 10.0 %

$$T_c = 0.01947L^{0.77} S^{-0.385} \quad (2.5)$$

Donde:

L = La longitud del canal, medido desde la borde del agua hasta el punto en el que sale, se expresa en metros.

S = La pendiente media de la cuenca se muestra en el diagrama se describe como, m/m

b) Bransby – Williams

Para cuencas grandes.

$$t_c = 14.6 \times L \times A^{-0.1} \times S^{-0.2} \quad (2.6)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Donde

t_c = tiempo de concentración (min)

L = longitud del cauce (Km)

A = área de la cuenca (Km²)

S = pendiente del cauce (m/m)

c) Temez

El método se desarrolló en España. Su aplicación es válida para las siguientes condiciones: cuando la cubeta tiene una superficie superficial mayor a 1 Km² y menores a 3000 Km² como durante periodos de concentración que oscilan entre 15 minutos y 24 horas.

$$t_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (2.7)$$

Donde

t_c = tiempo de concentración (hr)

L = longitud del cauce (Km)

S = pendiente del cauce (m/m)

1.7.7. Método racional

Este es el método más utilizado para calcular los caudales para cuencas pequeñas (menores a 25 km²). Su aplicación particular es para drenaje urbano, Se emplea en el diseño de pozos y otras pequeñas estructuras de drenaje, entre otras cosas, donde se utiliza para calcular la tasa de flujo máxima. De acuerdo con el enfoque racional, Se supone que la inundación máxima causada por una lluvia se produce cuando la duración de la lluvia es igual a la cantidad de tiempo que se necesita para que la concentración de agua se acumule en el suelo. Es necesario utilizar la siguiente expresión: para determinar la tasa máxima de flujo:

$$Q = 0.278CIA \quad (2.8)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Dónde:

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de precipitación máxima horaria, en mm/h

A: Área de la cuenca, en Km²

El coeficiente es un numero de flujo se determina utilizando tablas basadas en la cubierta vegetal, el tipo de suelo que existe, la capacidad de infiltración y la inclinación del suelo observada en el campo. Esta *Tabla 3* resume los valores del coeficiente de flujo en términos de una serie de variables.

Tabla 3: Para la fórmula racional, coeficientes de flujo

Cubierto por un manto de vegetación	Suelo de distinto tipo	Pendiente de terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		>50%	>20%	>5%	>1%	<1%
Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.60
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, Grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque Densa Vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: (Manual del MTC, 2011, pág. 50)

1.7.8. Método racional modificado

De acuerdo con la formulación que se ha propuesto, este es el método racional por Témez (1987, 1991) adaptable en respuesta a las condiciones ambientales de España, Además, permite hacer hipótesis educadas en las cuencas de los puntos individuales dentro del drenaje natural con zonas más pequeñas de 770 km² como fue el caso durante los

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

periodos de concentración (T_c) de entre 0.25 y 24 horas, Como recordatorio, Como recordatorio, la fórmula es la siguiente:

$$Q = 0.278 CIAK \quad (2.9)$$

Donde:

Q: Debe planificarse la carga máxima (m^3/s)

C: El coeficiente de flujo para el intervalo en el que aparece la letra I.

I: En su máximo, la intensidad de las precipitaciones horarias alcanzó su máximo.
(mm/h)

A: Área de la cuenca (Km^2)

K: El coeficiente se define como uniformidad

Las fórmulas que definen los factores de la fórmula general son de acuerdo con el Manual de Hidrología, hidráulica y Drenaje del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011, pág. 42)

1.8.Cambio Climático

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC), El cambio en el sistema climático causado por la actividad humana, ya sea directa o indirectamente, se define como un cambio que altera la composición de la atmósfera global, al tiempo que contribuye a la variabilidad climática a largo plazo. Por eso, también hay que tener en cuenta las fuerzas climáticas en el contexto de un conjunto de escenarios clave para tomar decisiones a largo plazo.

Los modelos climáticos globales (GCM) del Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (AR5) en la Quinta Fase del Proyecto de Inter comparación de Modelos Climáticos (CMIP5) tienen los siguientes objetivos: (Taylor, 2012):

- Se pone especial énfasis en la adaptación al cambio climático y la mitigación son dos cosas diferentes.
- El bucle de retroalimentación del ciclo del carbono: Modelos del Sistema Terrestre
- Improvisación en la evaluación de los aspectos ciertos e inciertos del cambio climático

- Hacer más fácil comparar las predicciones del modelo con las observaciones reales para determinar la precisión de las predicciones del modelo.

1.8.1. Reducción de escala:

Dependiendo de la fuente de datos, puede ser necesario el uso de la reducción de escala estadística (statistical downscaling), por ejemplo, cuando se trabaja con MCG de resolución mensual, dada la resolución gruesa de estos modelos. La reducción de escala estadística se utiliza aquí para referirse a todas las técnicas estadísticas utilizadas en la literatura para: reducir la escala espacial de los resultados de los modelos climáticos mediante la perturbación de las series de precipitación observadas.

El método utilizado para la reducción de escala es el “método Delta” que es un Factor de ajuste a partir de los datos simulados, se aplica a las series de datos observados. (Anandhi & Frei, 2011)

$$\alpha_{jk}^{add} = \overline{X_{N,j,k}^{Futuro}} - \overline{X_{N,j,k}^{Base}} \text{ (Factor Adictivo) (2. 10)}$$

$$\alpha_{jk}^{mul} = \frac{\overline{X_{N,j,k}^{Futuro}}}{\overline{X_{N,j,k}^{Base}}} \text{ (Factor Multiplicativo) (2. 11)}$$

A partir de obtener el coeficiente se usa en los siguientes casos:

$$X_{k,j,m}^{Fut} = X_{i,j}^{Obs} + \alpha_{jk}^{add} \text{ (Para el caso del Factor Adictivo por ejemplo en parámetros de Temperatura) (2. 12)}$$

$$X_{k,j,m}^{Fut} = X_{i,j}^{Obs} \times \alpha_{jk}^{add} \text{ (Para el caso del Factor Multiplicativo por ejemplo en parámetros de Precipitación) (2. 13)}$$

Se amplía el uso de reducción de escala y percentiles en metodologías de los factores de cambio para la evaluación del impacto del cambio climático en la siguiente url: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010WR009104>

1.8.2. Incertidumbre:

Los datos de proyección del cambio climático son inherentemente inciertos. Por lo tanto, se recomienda estimar los márgenes de cambio climático que representan estimaciones centrales, bajas y altas que cubren la incertidumbre del modelo.

Estimaciones bajas y altas: Para todos los valores en todos los puntos de la cuadrícula y todas las estimaciones de los modelos, esto podría definirse como el percentil 10 y el percentil 90 (como se utiliza a menudo en las mejores prácticas internacionales y por la

comunidad del cambio climático) para representar las estimaciones bajas y altas del cambio climático. Los percentiles se calculan incluyendo cantidades de precipitación cero, y las simulaciones tienen un espaciado de cuadrícula horizontal de 500 m. (O'Gorman, 2015)

Url: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40641-015-0009-3>

$$P_x = O_{\frac{n*x}{100}} \quad (2.14)$$

Donde,

X: Es la cantidad de percentil que se quiere hallar.

Px: Es el percentil de x.

n: Es la cantidad de datos utilizados

$O_{\frac{n*x}{100}}$: Es el orden en que se encuentra el Percentil (Px)

1.9.Drenaje vial de la carretera

Se debe desarrollar un sistema para canalizar y evacuar el agua que fluye a través de la superficie de la plataforma, ya sea que proviene de la carretera o de las colinas más altas circundantes, para que el agua no dañe la carretera o reduzca su permeabilidad.

Para minimizar el impacto negativo del agua en la estabilidad, la durabilidad y la transitabilidad de la carretera, la siguiente sección discute los diversos tipos de trabajo que deben realizarse para capturar y eliminar el agua que se acumula en la plataforma de la carretera como consecuencia de las precipitaciones y/o la tierra adyacente.

Los siguientes son los factores a tener en cuenta a la hora de diseñar sistemas hidráulicos:

Se utilizará el estudio hidrológico para determinar la intensidad del diseño, que será la intensidad correspondiente a un período de retorno de 30 años y un tiempo de concentración de 10 minutos.

Según la siguiente formulación, la determinación del flujo de diseño corresponderá a los flujos que contribuyen al flujo de diseño.

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (2.15)$$

Donde:

Q1 = El flujo de diseño se determinará de acuerdo con los flujos que proporcionan el flujo de diseño, según la siguiente formulación, (m³/s).

Q2 = La superficie de la plataforma sirve de causal, (m³/s).

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Para obtener estos caudales (Q1, Q2) se empleará caudal hidrológico:

$$Q_{Hidrológico} = 2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times A_{Tributaria} = 2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times (B \times L) \quad (2.16)$$

Donde:

Q = La carga del diseño, (m³/s).

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad, (mm/h).

A = Área del área de aporte, (km²).

B = Ancho de Impluvium, (m).

L = Longitud de la cuneta, (m).

Para calcular el flujo, el coeficiente de flujo a utilizar se obtuvo de la Tabla 3 del apartado 2.1.7, que puede encontrarse aquí.

La determinación del caudal hidráulico o de La fórmula de Manning se utilizará para determinar la capacidad del cono.

$$Q_d = Q_{HD} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (2.17)$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

Pm = Perímetro mojado (m)

V = Velocidad moderada (m/s)

A_H = Área Hidráulica (m²)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

R_H =Radio hidráulico (m).

S = Canal inclinado(mm).

n = El coeficiente de rugosidad de Manning, obtenido de la Tabla 4.

Para la verificación de la capacidad de la cuneta se compara el caudal hidráulico con el caudal hidrológico y debe cumplirse la condición.

$$Q_d > Q_h \quad (2.18)$$

Donde:

Q_h : Previsión de carga máxima, (m³/s) (Previsión de carga máxima).

Q_d : Descargue el diseño del trabajo (Descargue el diseño del trabajo) (m³/s).

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Tabla 4: Valores del Coeficiente de rugosidad de Manning

TIPO DE CANAL			MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido b. Acero soldado con remaches c. Metal corrugado sub - dren dren para aguas lluvias	0.009 0.010 0.013 0.017 0.021	0.010 0.012 0.016 0.019 0.024	0.013 0.014 0.017 0.021 0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto tubo recto y libre de basuras tubo con curvas, conexiones afinado tubo de alcantarillado con cámaras, entradas. Tubo con moldaje de acero. Tubo de moldaje madera cepillada Tubo con moldaje madera en bruto b. Madera duelas laminada y tratada c. Albañilería de piedra.	0.010 0.011 0.011 0.013 0.012 0.012 0.015 0.010 0.015 0.018	0.011 0.013 0.012 0.015 0.013 0.014 0.017 0.012 0.017 0.025	0.013 0.014 0.014 0.017 0.014 0.016 0.020 0.014 0.020 0.030
B. CANALES REVESTIDOS	B.1 METAL	a. Acero liso sin pintar pintado b. Corrugado	0.011 0.012 0.021	0.012 0.013 0.025	0.014 0.017 0.030
	B.2 NO METÁLICO	a. Madera Sin tratamiento Tratada Planchas b. Concreto afinado con plana afinado con fondo de grava sin afinar excavado en roca de buena calidad excavado en roca descompuesta c. Albañilería piedra con mortero piedra sola	0.010 0.011 0.012 0.011 0.015 0.014 0.017 0.022 0.017 0.023	0.012 0.012 0.015 0.013 0.017 0.017 0.020 0.027 0.025 0.032	0.014 0.015 0.018 0.015 0.020 0.020 0.020 0.030 0.035
C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme nuevo grava con algo de vegetación b. Tierra, sinuoso sin vegetación con malezas y pasto maleza tupida, plantas fondo pedregoso - malezas. c. Roca suave y uniforme irregular d. Canales sin mantención maleza tupida Fondo limpio, bordes con vegetación	0.016 0.022 0.022 0.023 0.025 0.030 0.025 0.025 0.035 0.050 0.040	0.018 0.025 0.027 0.025 0.030 0.035 0.035 0.035 0.040 0.080 0.050	0.020 0.030 0.033 0.030 0.033 0.040 0.040 0.040 0.050 0.120 0.080

Fuente: (V. Chow, Hidráulica de canales abiertos, 1983, pág. 107)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

1.9.1. Drenaje longitudinal

La escorrentía superficial que fluye a través de la superficie giratoria y las inclinaciones cortadas está controlada por cunetas que dirigen el flujo a la sección transversal, la cuenca o el suelo natural.

a) Cuneta

El dimensionamiento de la cuneta se ha efectuado considerando que esta deberá conducir el caudal de diseño estimado para un área determinada en función del ancho de impluvium y la longitud crítica la cual viene dada por el espaciamiento entre alcantarillas.

De acuerdo con el (Manual del MTC, 2011) Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje recomienda unas dimensiones mínimas para cunetas de las condiciones pluviales, que se enumeran en la siguiente tabla:

Tabla 5: Recomendación de dimensionamiento mínimo

REGIÓN	PROFUNDIDAD (D) (M)	ANCHO (A) (M)
Seca (<400 mm/año)	0.20	0.50
Lluviosa (De 400 a <1600 mm/año)	0.30	0.75
Muy lluviosa (De 1600 a <3000 mm/año)	0.40	1.20
Muy lluviosa (>3000 mm/año)	0.30*	1.20

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011, pág. 177)

Los cortadores son agujeros realizados a ambos lados de una carretera, carretera o camino para recoger y distribuir las aguas pluviales de las carreteras.

Tabla 6: Velocidades máximas admisibles

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

TIPO DE SUPERFICIE	MÁXIMA VELOCIDAD ADMISIBLE (m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 – 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 – 0.90
Terreno parcialmente cubierta de vegetación	0.60 – 1.20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50
Hierba	1.20 – 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 – 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 – 4.50 *
Concreto	4.50 – 6.00 *

(*) para flujos de corta duración.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011, pág. 171)

b) Canales de riego

El sistema de drenaje superficial de una carretera bien diseñado debe interponer eficazmente todo el flujo directo de la superficie y el flujo de la cuenca, para transportarlo a través de canales y minas que están diseñados adecuadamente para que se vierte en cursos de agua naturales.

Los canales pueden estar contruidos con hormigón de tierra o hormigón prefabricado. (Manual del MTC, 2011)

1.9.2. Drenaje Transversal

El drenaje transversal está compuesto por todas las estructuras que captan, conductor y evacuar los flujos de las grietas, ríos y cursos de agua.

En este tramo se han encontrado, alcantarillas especiales, alcantarillas de cruce de canales, alcantarillas para el drenaje menor y drenes de sección transversal para el drenaje menor.

a) Método de Cowan

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (2. 19)$$

Donde:

n_0 = coeficiente n básico.

n_1 = coeficiente por irregularidades del cauce.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

n2 = coeficiente por variaciones en la forma y tamaño del cauce.

n3 = coeficiente por obstrucciones.

n4 = coeficiente por vegetación y condiciones de flujo.

m = coeficiente por cantidad de meandros en el cauce

Se utilizará la tabla 7 para determinar los valores de n y m:

Tabla 7: Valores de Cowan

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010 – 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010 – 0.015
	Apreciable		0.020 – 0.030
	Severo		0.040 – 0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005 – 0.010
	Media		0.010 – 0.025
	Alta		0.025 – 0.050
	Muy alta		0.050 – 0.100
Grado de efectos por meandro	Menor	m	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: (Rocha Felices, pág. 273)

b) Alcantarillas

El drenaje se define como una estructura con una luz de menos de 6 metros cuyo propósito es drenar la escorrentía superficial de los cursos naturales o artificiales que cruzan la carretera.

En nuestro país, los tipos de tuberías de alcantarillado más utilizados son los marcos de hormigón, las tuberías de metal corrugado, las tuberías de hormigón y las tuberías de polietileno de alta densidad.

c) Badenes

Las estructuras de Baden son eficaces cuando el nivel de drenaje de la carretera coincide con el fondo de la cuenca del curso natural que Inter corre su alineación, porque permiten el paso de sólidos esporádicos que ocurren más frecuentemente durante los periodos lluviosos y donde no es posible proyectar una tubería de aguas residuales o un puente.

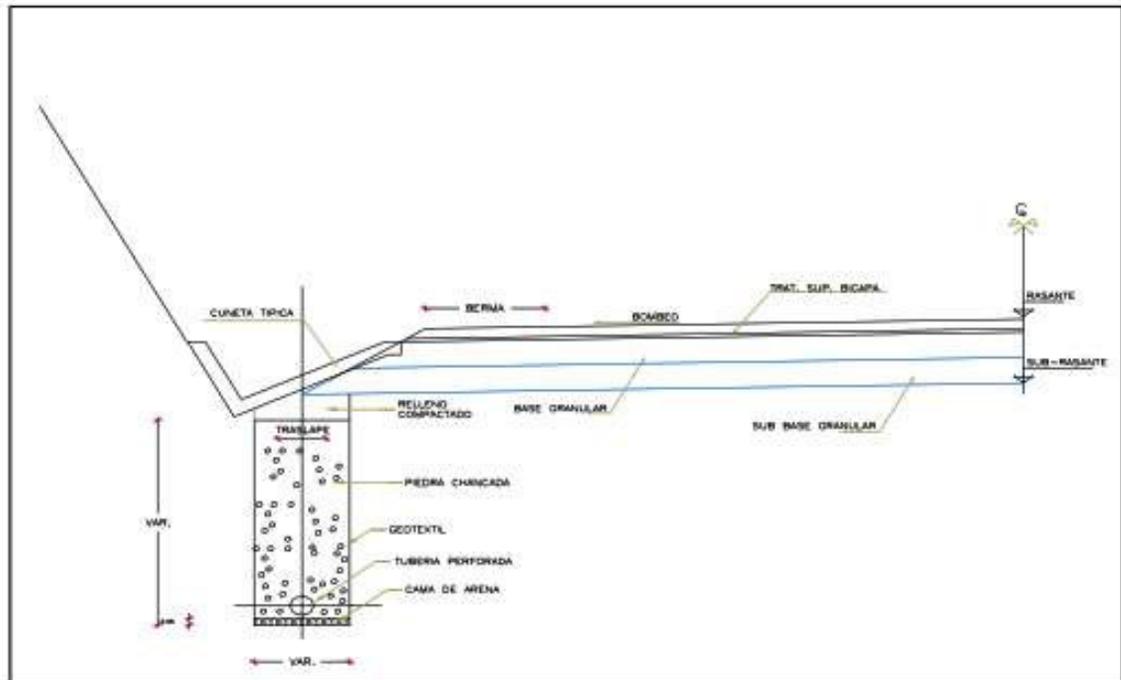
La pendiente transversal tiene que evitar dificultades al pasó de los vehículos y la pendiente transversal se recomienda entre 2 y 3%. También optar por un borde libre de 0.30 a 0.50m. (Manual del MTC, 2011, pág. 85)

1.10. Subdrenaje vial de la carretera

“Las técnicas de subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten. A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor”. (Suarez, Jaime, 2021, pág. 61)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Ilustración 3: Sección típica Subdren



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011, pág. 177)

1.10.1. Caudal de diseño

$$Q_d = Q_i + Q_s + Q_h \quad (2.20)$$

Donde:

- Q_d: Caudal de diseño.
- Q_i: Caudal por infiltración.
- Q_h: Caudal debido a filtraciones puntuales, estimado en campo.
- Q_s: Caudal sub superficial.

a) Caudal por infiltración Directa

$$Q_i = I_R \times B \times L \times F_i \times F_r \quad (2.21)$$

Donde:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

- Qi: Caudal por infiltración, cm³/s.
- IR: Intensidad de lluvia anual, para un Tr = 30 años, y tiempo de concentración de 0.5 a 2 horas, cm/s
- B: Ancho de infiltración (perpendicular al flujo del subdren), cm.
- L: Longitud del subdren, cm.
- Fi: Factor de infiltración. (Ver *Tabla 8* Factores de infiltración).
- Fr: Factor de retención de la base (Ver *Tabla 9* Factores de Retención de la Base).

Tabla 8: Factores de infiltración

Tipo de carpeta	Fi
Carpetas de asfalto en excelente estado	0.30
Normalmente, las alfombras de asfalto se conservan.	0.40
Carpetas de asfalto en mal estado	0.50
Pisos de cemento y hormigón Portland	0.67

Fuente: (Orozco Rivadeneira, 2007, pág. 88)

Tabla 9: Factores de Retención de la base

Tipo de Base	Fr
Bases en buen estado que han estado en servicio durante al menos cinco años.	1/4
Bases en buen estado que han estado en servicio durante menos de cinco años	1/3
Bases con malos grados que han estado en servicio durante cinco o más años	1/3
Bases con malos grados que han estado en servicio menos de cinco años.	1/2

Fuente: (Orozco Rivadeneira, 2007, pág. 88)

b) Caudal Sub – superficial

Para flujo sub - superficial, emplearemos la ecuación de Darcy

$$Q_s = K \times i \times A \quad (2. 22)$$

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad del suelo vecino, cm/s.

i: Gradiente hidráulico.

A: Área eficaz en caso de agotamiento atmosférico, cm².

$$i = \frac{\Delta h}{x} \quad (2. 23)$$

Donde:

Δh : Pérdida de carga hidráulica, m

x: Distancia en la dirección del flujo, m.

1.10.2. Capacidad de conducción del subdren

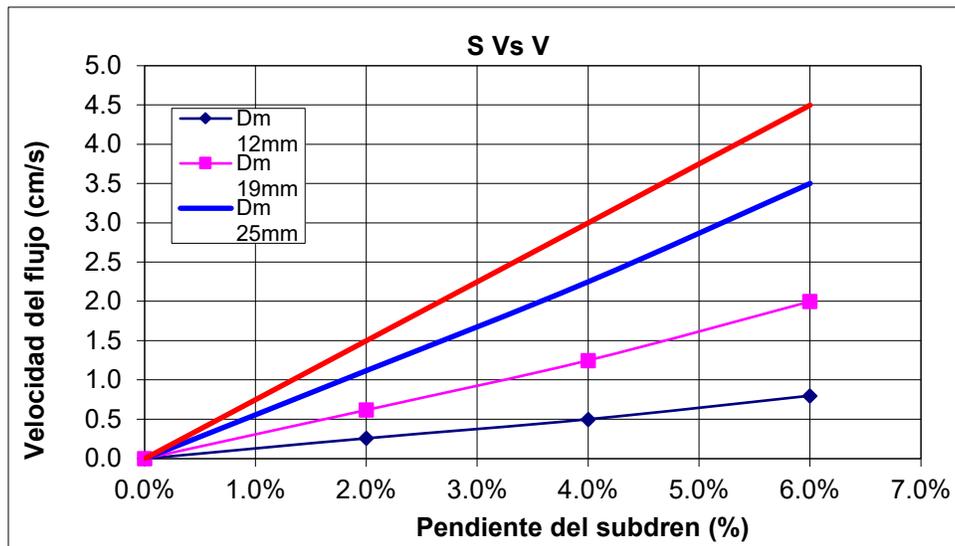
Tabla 10: Variación Pendiente - Velocidad

Pendiente (S%)	Velocidad (cm/s)			
	Dm 12mm	Dm 19mm	Dm 25mm	Dm 50mm
0%	0.00	0.00	0.00	0.00
2%	0.26	0.62	1.12	1.50
4%	0.50	1.25	2.25	3.00
6%	0.80	2.00	3.50	4.50

Fuente: (Orozco Rivadeneira, 2007, pág. 115)

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

Ilustración 4: Comparativo Pendiente (S) vs Velocidad (V)



Donde: S = Pendiente del subdren

Fuente: (Orozco Rivadeneira, 2007, pág. 115)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

CAPÍTULO 3 – DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

2.1.Ubicación

El tramo de vía en estudio de la presente monografía se encuentra en la provincia de Pallasca, Distrito de Pampas, Áncash, cuyo punto de inicio se encuentra en el Km. 59+000.00 y su punto final en el Km. 63+160.00.

En el sistema de coordenadas geográficas, en Datum, sus coordenadas UTM son WGS84 zona 18.

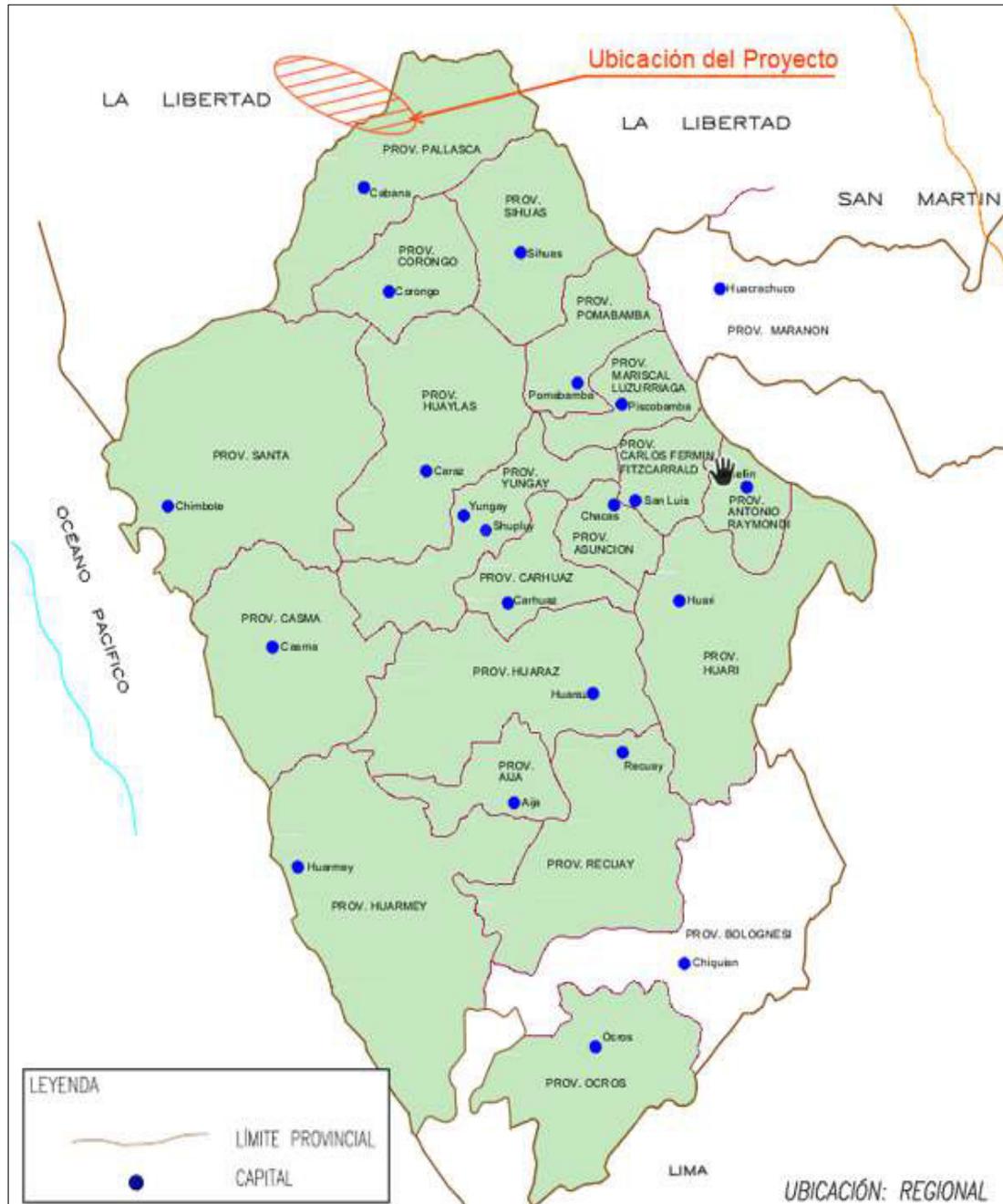
Tabla 11: Información sobre ubicación del proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN			
Departamento	Ancash			
Provincia	Pallasca			
Distrito(s)	Pampas			
Localidades en la vía	Pampas - Consuzo			
Zona	Datum: WGS-84			
Región Natural	Sierra			
Altitud	Mínima 3455 m.s.n.m. - Máxima 3741 m.s.n.m.			
Ubicación Geográfica (UTM)	PROGRESIVA	ESTE	NORTE	CUADRICULA
	59+000	187069	9094975	18L
	63+160	184057	9095270	18L

Fuente:Elaboración Propia.

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

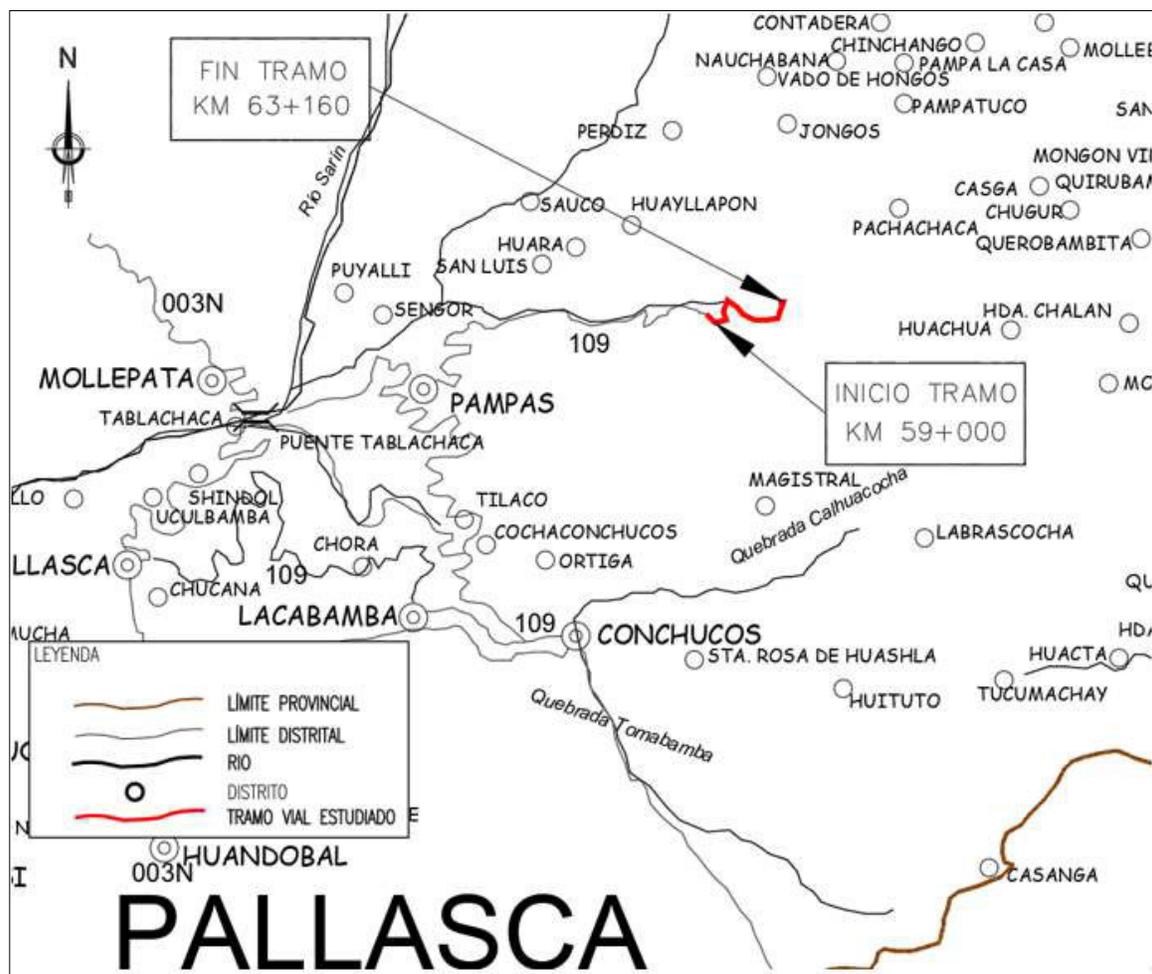
Ilustración 5: Ubicación Regional del tramo analizado en la monografía



Fuente: Elaboración propia utilizando los datos del MINAM-IGN.

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

Ilustración 6: Ubicación de la vía del tramo analizado en la monografía



Fuente: Elaboración propia utilizando los datos del MINAM-IGN

El tramo de estudio de la monografía empieza en el km 59+000.00 a 3455 msnm, la vía se encuentra a media ladera cruzando quebradas que se activan en las temporadas lluviosas de octubre a mayo, la mayoría de las quebradas tienen estructuras de cruce elaborados con materiales artesanales. La carpeta de rodadura contiene sectores donde el ancho de la vía es menor de 3.80 m. La vegetación está conformada por arbustos y árboles de mediana altura, esto se aprecia hasta el km 63+160.00 donde la vía empieza a ascender con pendientes mayores a 0.05 m/m.

2.1.1. Fenómeno del Niño

La evaluación realizada en el tramo se da con la finalidad de recuperar, Aumentar y garantizar la transitabilidad adecuada de los bienes y pasajeros dentro de las zonas afectadas por el Fenómeno del Niño Costero (FEN 2017).

El último evento por lluvias extraordinarias, en el sector Lacramarca se dio el martes 14 de marzo de 2017, presenta desbordes de las aguas fluviales recogidas por el río Lacramarca y Lupahuari en los extremos superiores de la cuenca hidrográfica Lacramarca hacia la Quebrada Cascajal. A continuación, se muestran los reportes de las últimas lluvias producidas en el tramo de estudio y que han originado problemas de transitabilidad en el sector.

Ilustración 7: Información del tramo durante el fenómeno del niño



Fuente: (Revista Ancash Al Día, 2018, pág. 1)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

2.2. Estudio hidrológico

2.2.1. Objetivo

Determinar las cuencas comprometidas con el desarrollo de carreteras, así como los parámetros necesarios para la dimensión hidráulica de las principales y menores obras de arte.

2.2.2. Cuencas de interés

La cuenca se delimitó utilizando datos topográficos (curvas de nivel cada 20 m) y datos hidrológicos. La zona de estudio se encuentra dentro de la unidad hidrográfica 137 del Santa, donde se han identifica puntos de cruce importantes (ríos y presas) en la sección de carreteras; las localizaciones de los cruces se enumeran en la *Tabla 12*.

Tabla 12: Cuencas aportantes – Drenaje Transversal

Código de la cuenca	Progresiva Km	Nombre de la quebrada	Área Km2
C2-01	59+067.30	S/N	0.085
C2-02	59+273.90	S/N	0.114
C2-03	59+444.60	S/N	0.199
C2-04	59+828.30	S/N	0.265
C2-05	60+108.60	S/N	0.502
C2-06	60+353.50	S/N	0.023
C2-07	60+677.80	S/N	0.164
C2-08	61+675.30	S/N	0.246
C2-09	62+108.20	S/N	0.453
C2-10	62+227.20	S/N	0.006
C2-11	62+335.50	S/N	0.014
C2-12	62+429.80	S/N	0.383
C2-13	63+000.00	S/N	1.123
C2-14	63+160.00	Q pelagatos	45.323

Fuente: Instituto Geográfico del Perú

2.2.3. Parámetros fisiográficos

Se determinaron las características fisiográficas de 14 cuencas identificadas, incluyendo la superficie, la longitud y la inclinación de la cuenca. Los parámetros determinados se enumeran en la *Tabla 13*.

Tabla 13: Parámetros fisiográficos de las cuencas identificadas

CUENCAS DRENAJE TRANSVERSAL						
N°	Código de cuenca	Progresiva	Área (Km2)	Longitud de cauce (Km)	Pendiente (m/m)	Clasificación cuenca (*)
1	C2-01	59+067.30	0.085	0.68	0.777	Menor
2	C2-02	59+273.90	0.114	0.67	0.816	Menor

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

CUENCAS DRENAJE TRANSVERSAL						
N°	Código de cuenca	Progresiva	Área (Km2)	Longitud de cauce (Km)	Pendiente (m/m)	Clasificación cuenca (*)
3	C2-03	59+444.60	0.199	0.75	0.784	Menor
4	C2-04	59+828.30	0.265	1.18	0.582	Menor
5	C2-05	60+108.60	0.502	1.36	0.588	Menor
6	C2-06	60+353.50	0.023	0.30	0.696	Menor
7	C2-07	60+677.80	0.164	0.80	0.589	Menor
8	C2-08	61+675.30	0.246	1.13	0.608	Menor
9	C2-09	62+108.20	0.453	1.21	0.573	Menor
10	C2-10	62+227.20	0.006	0.18	0.919	Menor
11	C2-11	62+335.50	0.014	0.24	0.768	Menor
12	C2-12	62+429.80	0.383	1.52	0.534	Menor
13	C2-13	63+000.00	1.123	2.16	0.366	Menor
14	C2-14	63+160.00	45.323	11.02	0.102	Mayor

(*) La clasificación de la cuenca se consideró para área < 5 Km2 se le denominó Menor y para área > 5 Km2 se le denomina Mayor.

Fuente: Instituto Geográfico del Perú

2.2.4. Análisis de información

Debido a que no se dispone de registros de caudales en el área de investigación, se usará los métodos Precipitación – Escorrentía para determinar los caudales de diseño, considerando la precipitación máxima en 24 horas para cada estación que influya sobre la carretera. De acuerdo con el análisis de Thiessen desarrollado, la influencia sobre toda la carretera corresponde a la estación Mollepata. En la *Tabla 14* se muestra el periodo de registro de la estación.

Tabla 14: Estaciones pluviométricas e influencia sobre el Eje del tramo

N°	Nombre	Zona de influencia sobre el eje		Altitud (msnm)	Periodo de registro	Número de años de información
		Progresiva	Progresiva			
		inicio	Fin			
01	MOLLEPATA	59+000	63+500.00	4190.50	1985 - 2018	34 años

Fuente: SENAMHI

2.2.5. Registro de precipitación máxima

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Antes de proceder con examen estadístico de los datos, se realizó una inspección general de los datos. La *Tabla 15*, muestra las precipitaciones anuales máximas de 24 horas registradas en la estación Mollepatá. A partir de ellos se puede indicar lo siguiente:

- Estación Mollepatá: dentro de los 34 años de información de la estación Mollepatá, se tienen datos faltantes en algunos meses.

Tabla 15: Estación Mollepatá

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁX.
1985	7.0	9.3	14.2	9.8	4.2	0.0	0.0	0.0	6.0	10.2	0.0	12.0	14.2
1986	17.1	9.9	19.1	17.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	14.0	19.1
1987	10.0	10.5	12.2	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	9.5	12.2
1988	18.0	16.0	13.0	S/D	18.0								
1989	20.0	18.5	17.5	10.5	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	S/D	S/D	S/D	20.0
1990	14.7	12.0	0.0	11.4	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7
1991	0.0	0.0	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	34.7	34.7
1992	0.0	0.0	0.0	7.0	2.0	0.6	0.7	0.8	0.0	0.6	3.4	5.5	7.0
1993	40.3	34.0	37.1	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	16.0	16.1	9.3	40.3
1994	13.1	19.2	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	19.2
1995	17.4	15.2	11.8	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	25.3	14.7	17.0	25.3
1996	26.0	25.8	22.5	19.7	2.4	5.3	0.0	0.0	1.6	13.2	10.3	5.1	26.0
1997	51.2	11.0	12.0	10.5	3.9	3.0	0.0	0.0	7.7	5.5	9.5	16.5	51.2
1998	26.9	34.1	33.4	8.1	3.0	3.6	0.0	1.2	1.5	12.5	21.2	9.8	34.1
1999	15.2	47.1	14.0	10.7	9.4	2.3	2.8	0.0	5.7	3.9	6.8	17.8	47.1
2000	20.6	24.0	17.6	10.0	8.7	4.1	0.0	3.3	4.9	4.5	8.3	20.5	24.0
2001	24.9	30.5	41.3	12.3	4.1	0.0	0.0	0.0	5.5	14.2	17.0	15.1	41.3
2002	11.3	15.7	24.0	14.2	4.5	1.8	0.6	0.0	3.1	8.6	28.6	9.4	28.6
2003	7.5	15.0	13.6	11.1	4.6	4.7	1.8	0.0	6.9	11.4	13.3	29.6	29.6
2004	14.3	10.7	11.5	21.6	3.3	3.1	4	0.0	7.4	19.2	10.6	14.2	21.6
2005	9.9	26.7	24.0	5.8	3.8	0.0	0.0	1.1	0.4	8.6	4.4	15.0	26.7
2006	24.0	16.8	18.4	19.0	7.0	3.2	0.0	0.0	2.2	6.7	6.1	14.0	24.0
2007	9.2	10.4	15.3	19.5	5.8	0.0	0.6	0.0	0.9	15.8	9.4	11.4	19.5
2008	18.5	15.3	26.5	17.5	3.7	5.0	0.0	1.2	6.2	9.8	8.6	18.9	26.5
2009	18.2	23.2	27.1	10.3	3.3	0.0	2.4	0.0	1.1	10.5	12.9	35.2	35.2
2010	11.5	20.7	14.9	14.9	14.6	1.1	0.9	0.0	3.1	7.8	11.5	15.8	20.7
2011	9.9	5.7	16.1	21.2	0.0	3.6	2.6	0.0	7.8	8.1	7.7	19.5	21.2
2012	19.3	20.8	19.9	20	2.5	2	0.0	0.0	3.4	14	6.8	9.3	20.8
2013	18.1	13.1	37.7	10.9	6.3	1.5	2.3	4.1	S/D	S/D	5.3	15.7	37.7
2014	17.4	32.5	19.1	9.5	7.3	0.0	0.0	2.0	5.2	9.5	5.3	19.5	32.5
2015	15.4	10.7	21.1	28.7	14.1	1.6	1.9	0.2	1.2	2.7	8.2	16.4	28.7
2016	12.8	23.6	24.3	9.1	0.9	1.2	0.1	0.5	2.7	6.6	2.3	12.5	24.3

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁX.
2017	14.0	22.0	19.7	6.8	9.7	0.8	0.0	1.0	3.2	16.7	7.2	15.9	22.0
2018	8.2	21.4	19.5	26.8	5.4	1.1	2.5	1.6	7.3	12.2	2.3	18.1	26.8

Fuente: SENAMHI y ANA

2.2.6. Periodo de retorno a evaluar

En la presente monografía el tiempo de retorno a evaluar será de 71, 100, 140, 175 años.

2.2.7. Caudales - Método Racional para las cuencas C2-01 hasta C2-13

Aplicando la ecuación del método racional para todas las cuencas con un área menor a 5 Km² se estimó el caudal pico considerando lo siguiente.

La fórmula de la intensidad de lluvia fue considerada en base al área de influencia de la estación Mollepata.

a) Prueba de datos dudosos

Tabla 16: Máximas precipitaciones en 24 horas de la estación Mollepata

Nº	AÑO	P24	log(P24)
1	1985	14.20	1.1523
2	1986	19.10	1.2810
3	1987	12.20	1.0864
4	1988	18.00	1.2553
5	1989	20.00	1.3010
6	1990	14.70	1.1673
7	1991	34.70	1.5403
8	1992	7.00	0.8451
9	1993	40.30	1.6053
10	1994	19.20	1.2833
11	1995	25.30	1.4031
12	1996	26.00	1.4150
13	1997	51.20	1.7093
14	1998	34.10	1.5328
15	1999	47.10	1.6730
16	2000	24.00	1.3802
17	2001	41.30	1.6160
18	2002	28.60	1.4564
19	2003	29.60	1.4713

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Nº	AÑO	P24	log(P24)
20	2004	21.60	1.3345
21	2005	26.70	1.4265
22	2006	24.00	1.3802
23	2007	19.50	1.2900
24	2008	26.50	1.4232
25	2009	35.20	1.5465
26	2010	20.70	1.3160
27	2011	21.20	1.3263
28	2012	20.80	1.3181
29	2013	37.70	1.5763
30	2014	32.50	1.5119
31	2015	28.70	1.4579
32	2016	24.30	1.3856
33	2017	22.00	1.3424
34	2018	26.80	1.4281

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de SENAMHI y ANA

Media (mm):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.1)$$

Donde: n= Cantidad de datos
X_i = Valor del dato

$$\bar{X} = \frac{1}{34} \times (1.1523 + 1.2810 + 1.0864 + 1.2553 + \dots + 1.4281) = \frac{47.2379}{34} = 1.39$$

Desviación Estándar (mm):

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

$$s = \left\{ \frac{1}{34-1} \times [(1.1523 - 1.39)^2 + (1.2810 - 1.39)^2 + \dots + (1.4281 - 1.39)^2] \right\}^{1/2}$$

$$= \left(\frac{0.99}{33} \right)^{1/2} = 0.1732$$

Coficiente de asimetría

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (3.3)$$

$$C_s = \frac{34 \times [(1.1523 - 1.39)^3 + (1.2810 - 1.39)^3 + \dots + (1.4281 - 1.39)^3]}{(34 - 1) \times (34 - 2) \times 0.1732^3} = \frac{-0.1624}{5.487} = -0.0296$$

Método Water Resources Council – Datos dudosos

n =	34
Kn =	2.616 *
Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)	

Tabla 17: Valores de Kn para prueba de data sesgada

Valores K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n							
n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: (V. Chow, Hidrología Aplicada, 1994, pág. 416)

- Una barra alta para datos dudosos (X_H : unidades logarítmicas)

$$X_H = \bar{X} + Kn \times s \quad (3.4)$$

$$X_H = 1.39 + 2.616 \times 0.1732 = 1.843 \text{ mm}$$

$$PH = 10^{X_H} \quad (3.5)$$

$$PH = 10^{1.843} = 69.7 \text{ mm}$$

- Umbral de datos dudosos altos (X_L : unidades logarítmicas)

$$X_L = \bar{X} - Kn \times s \quad (3.6)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$X_L = 1.39 - 2.616 \times 0.1732 = 0.9369 \text{ mm}$$

$$PL = 10^{X_L} \quad (3.7)$$

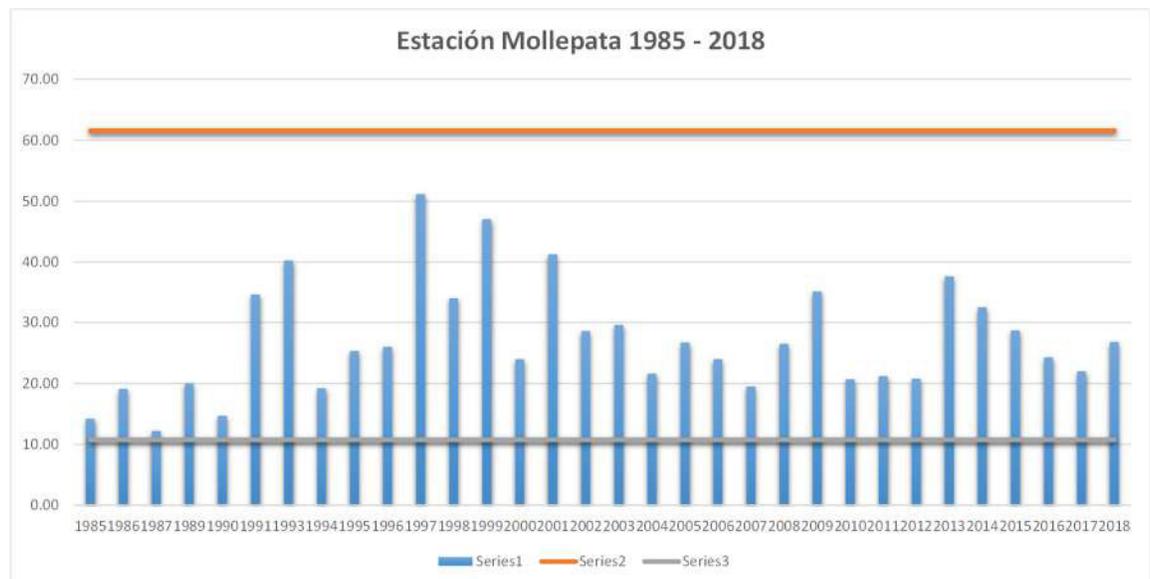
$$PL = 10^{0.9369} = 8.6 \text{ mm}$$

Se observa que hay un valor dudoso en el año 1992. Este dato se retirará y se analizará los datos nuevamente.

El año 1988 no fue usado por tener más del 30% de información faltante

Realizando el mismo procedimiento con $n=32$, tenemos como valores umbrales $PH=61.6 \text{ mm}$ y $PL=10.8 \text{ mm}$, observándose que todos los valores “P24” están dentro de los parámetros establecidos por PH y PL, es que no hay discrepancias en los datos.

Ilustración 8: Valores de las precipitaciones dentro del Umbral



Fuente. Elaboración Propia.

b) Análisis de frecuencias (K_t)

Distribución de Gumbel

$$K_t = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] \right\} \quad (3.8)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Tr= Periodo de retorno
Para Tr=100

$$K_t = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{100}{100-1} \right) \right] \right\} = 3.14$$

Para Tr=2

$$K_t = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{2}{2-1} \right) \right] \right\} = -0.16$$

Calculamos para las diferentes distribuciones para ajustar la tendencia estadística de las precipitaciones.

Tabla 18: Distribución de Frecuencias por los diferentes métodos

N	T	P(X≤xT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K _T	esperado								
1	33.00	3.03%	51.2	1.7093	1.8764	44.6	2.2642	48.2	1.8764	48.4	2.1856	47.4	1.8639	48.2
2	16.50	6.06%	47.1	1.6730	1.5497	41.5	1.7115	43.0	1.5497	43.4	1.7033	43.0	1.5427	43.3
3	11.00	9.09%	41.3	1.6160	1.3352	39.6	1.3827	40.0	1.3352	40.3	1.4055	40.2	1.3313	40.3
4	8.25	12.12%	40.3	1.6053	1.1689	38.0	1.1455	37.8	1.1689	38.2	1.1848	38.2	1.1671	38.1
5	6.60	15.15%	37.7	1.5763	1.0300	36.7	0.9581	36.1	1.0300	36.4	1.0069	36.5	1.0296	36.4
6	5.50	18.18%	35.2	1.5465	0.9085	35.6	0.8022	34.6	0.9085	34.9	0.8562	35.1	0.9093	35.0
7	4.71	21.21%	34.7	1.5403	0.7991	34.6	0.6679	33.4	0.7991	33.7	0.7244	33.9	0.8008	33.7
8	4.13	24.24%	34.1	1.5328	0.6985	33.7	0.5491	32.3	0.6985	32.6	0.6064	32.8	0.7010	32.6
9	3.67	27.27%	32.5	1.5119	0.6046	32.8	0.4421	31.3	0.6046	31.5	0.4987	31.8	0.6077	31.6
10	3.30	30.30%	29.6	1.4713	0.5157	32.0	0.3443	30.4	0.5157	30.6	0.3993	30.9	0.5193	30.7
11	3.00	33.33%	28.7	1.4579	0.4307	31.2	0.2538	29.5	0.4307	29.8	0.3063	30.0	0.4347	29.8
12	2.75	36.36%	28.6	1.4564	0.3488	30.4	0.1691	28.7	0.3488	28.9	0.2186	29.2	0.3531	29.0
13	2.54	39.39%	26.8	1.4281	0.2691	29.7	0.0892	28.0	0.2691	28.2	0.1351	28.4	0.2736	28.2
14	2.36	42.42%	26.7	1.4265	0.1911	29.0	0.0132	27.3	0.1911	27.4	0.0551	27.7	0.1958	27.5
15	2.20	45.45%	26.5	1.4232	0.1142	28.2	-0.0597	26.6	0.1142	26.7	-0.0221	27.0	0.1191	26.8
16	2.06	48.48%	26.0	1.4150	0.0380	27.5	-0.1299	26.0	0.0380	26.1	-0.0971	26.3	0.0429	26.1
17	1.94	51.52%	25.3	1.4031	-0.0380	26.8	-0.1981	25.3	-0.0380	25.4	-0.1703	25.6	-0.0331	25.5
18	1.83	54.55%	24.3	1.3856	-0.1142	26.1	-0.2647	24.7	-0.1142	24.8	-0.2421	24.9	-0.1093	24.8
19	1.74	57.58%	24.0	1.3802	-0.1911	25.4	-0.3301	24.1	-0.1911	24.1	-0.3130	24.3	-0.1863	24.2
20	1.65	60.61%	24.0	1.3802	-0.2691	24.7	-0.3948	23.5	-0.2691	23.5	-0.3834	23.6	-0.2645	23.5
21	1.57	63.64%	22.0	1.3424	-0.3488	23.9	-0.4590	22.9	-0.3488	22.9	-0.4537	23.0	-0.3444	22.9

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

N	T	P(X≤xT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K _T	esperado								
22	1.50	66.67%	21.6	1.3345	-0.4307	23.2	-0.5234	22.3	-0.4307	22.3	-0.5244	22.3	-0.4267	22.3
23	1.43	69.70%	21.2	1.3263	-0.5157	22.4	-0.5882	21.7	-0.5157	21.6	-0.5958	21.7	-0.5121	21.7
24	1.38	72.73%	20.8	1.3181	-0.6046	21.6	-0.6542	21.1	-0.6046	21.0	-0.6686	21.0	-0.6014	21.0
25	1.32	75.76%	20.7	1.3160	-0.6985	20.7	-0.7218	20.5	-0.6985	20.3	-0.7434	20.3	-0.6960	20.4
26	1.27	78.79%	20.0	1.3010	-0.7991	19.8	-0.7920	19.8	-0.7991	19.7	-0.8212	19.6	-0.7973	19.7
27	1.22	81.82%	19.5	1.2900	-0.9085	18.8	-0.8659	19.2	-0.9085	19.0	-0.9030	18.8	-0.9076	19.0
28	1.18	84.85%	19.2	1.2833	-1.0300	17.6	-0.9452	18.4	-1.0300	18.2	-0.9906	18.0	-1.0302	18.2
29	1.14	87.88%	19.1	1.2810	-1.1689	16.3	-1.0323	17.6	-1.1689	17.4	-1.0867	17.1	-1.1707	17.4
30	1.10	90.91%	14.7	1.1673	-1.3352	14.8	-1.1320	16.7	-1.3352	16.4	-1.1959	16.1	-1.3390	16.4
31	1.06	93.94%	14.2	1.1523	-1.5497	12.8	-1.2538	15.6	-1.5497	15.3	-1.3280	14.9	-1.5566	15.2
32	1.03	96.97%	12.2	1.0864	-1.8764	9.8	-1.4260	14.0	-1.8764	13.7	-1.5107	13.2	-1.8888	13.6

Fuente. Elaboración Propia.

Determinamos cual distribución de ajusta según función:

Tabla 19: Comparación de frecuencias

n	x _m	F ₀ (x _m)	F(x _m) Normal	F ₀ (x _m)- F(x _m) Normal	F(y _m) Log - Normal	F ₀ (y _m)- F(y _m) Log - Normal	F(y _m) Pearso n III	F ₀ (y _m)- F(y _m) Pearso n III	F(y _m) Log Pearso n III	F ₀ (y _m)- F(y _m) Log Pearso n III	F(x _m) Gumb el	F ₀ (x _m)- F(x _m) Gumb el
1	51.20	0.9697	0.995	0.026	0.979	0.010	0.984	0.014	0.979	0.010	0.9800	0.010
2	47.10	0.9394	0.984	0.045	0.964	0.024	0.968	0.029	0.964	0.024	0.9650	0.026
3	41.30	0.9091	0.936	0.027	0.920	0.011	0.922	0.013	0.920	0.011	0.9235	0.014
4	40.30	0.8788	0.922	0.043	0.909	0.030	0.910	0.031	0.909	0.030	0.9127	0.034
5	37.70	0.8485	0.872	0.023	0.872	0.023	0.870	0.022	0.872	0.023	0.8773	0.029
6	35.20	0.8182	0.807	0.012	0.824	0.006	0.820	0.001	0.824	0.006	0.8310	0.013
7	34.70	0.7879	0.791	0.004	0.813	0.025	0.808	0.020	0.813	0.025	0.8201	0.032
8	34.10	0.7576	0.772	0.015	0.798	0.041	0.793	0.035	0.798	0.041	0.8061	0.049
9	32.50	0.7273	0.717	0.010	0.756	0.029	0.748	0.021	0.750	0.023	0.7642	0.037
10	29.60	0.6970	0.603	0.094	0.661	0.036	0.651	0.046	0.661	0.036	0.6691	0.028
11	28.70	0.6667	0.565	0.102	0.627	0.040	0.617	0.050	0.627	0.040	0.6344	0.032
12	28.60	0.6364	0.561	0.076	0.623	0.013	0.613	0.024	0.623	0.013	0.6304	0.006
13	26.80	0.6061	0.484	0.122	0.548	0.058	0.538	0.068	0.548	0.058	0.5533	0.053
14	26.70	0.5758	0.479	0.096	0.543	0.032	0.534	0.042	0.543	0.032	0.5487	0.027
15	26.50	0.5455	0.471	0.075	0.535	0.011	0.525	0.020	0.535	0.011	0.5396	0.006
16	26.00	0.5152	0.449	0.066	0.512	0.003	0.503	0.012	0.512	0.003	0.5162	0.001

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

n	x _m	F _o (x _m)	F(x _m) Normal	F _o (x _m)- F(x _m) Normal	F(y _m) Log - Normal	F _o (y _m)- F(y _m) Log - Normal	F(y _m) Pearson n III	F _o (y _m)- F(y _m) Pearson n III	F(y _m) Log Pearson n III	F _o (y _m)- F(y _m) Log Pearson n III	F(x _m) Gumbel	F _o (x _m)- F(x _m) Gumbel
17	25.30	0.4848	0.420	0.065	0.480	0.005	0.472	0.013	0.480	0.005	0.4826	0.002
18	24.30	0.4545	0.378	0.077	0.432	0.022	0.426	0.029	0.432	0.022	0.4332	0.021
19	24.00	0.4242	0.366	0.059	0.418	0.006	0.412	0.012	0.418	0.006	0.4181	0.006
20	24.00	0.3939	0.366	0.028	0.418	0.024	0.412	0.018	0.418	0.024	0.4181	0.024
21	22.00	0.3636	0.288	0.076	0.321	0.043	0.320	0.044	0.321	0.043	0.3166	0.047
22	21.60	0.3333	0.273	0.060	0.301	0.032	0.301	0.032	0.301	0.032	0.2965	0.037
23	21.20	0.3030	0.259	0.044	0.282	0.021	0.283	0.020	0.282	0.021	0.2767	0.026
24	20.80	0.2727	0.246	0.027	0.264	0.009	0.266	0.007	0.264	0.009	0.2572	0.016
25	20.70	0.2424	0.242	0.000	0.259	0.016	0.261	0.019	0.259	0.016	0.2523	0.010
26	20.00	0.2121	0.219	0.007	0.227	0.015	0.231	0.019	0.227	0.015	0.2194	0.007
27	19.50	0.1818	0.204	0.022	0.205	0.023	0.210	0.028	0.205	0.023	0.1968	0.015
28	19.20	0.1515	0.195	0.043	0.192	0.041	0.198	0.046	0.192	0.041	0.1837	0.032
29	19.10	0.1212	0.192	0.070	0.188	0.067	0.194	0.073	0.188	0.067	0.1794	0.058
30	14.70	0.0909	0.089	0.002	0.048	0.043	0.057	0.034	0.048	0.043	0.0425	0.048
31	14.20	0.0606	0.081	0.020	0.039	0.022	0.047	0.014	0.039	0.022	0.0339	0.027
32	12.20	0.0303	0.053	0.023	0.013	0.017	0.018	0.012	0.013	0.017	0.0115	0.019
n	32		Δmáx	0.12247		0.0667 1		0.0727 9		0.0667 1		0.0581 6
α	0.05		Δcrítico > Δmax	Ajusta		Ajusta		Ajusta		Ajusta		Ajusta
Δcrítico	0.2348 7		Mejor Ajuste	5		2		4		3		1

Fuente: Elaboración Propia

La distribución de Gumbel es la mejor ajustada.

Utilizando la siguiente información:

Precipitación anual media:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.9)$$

Donde: n= Área de Datos

X_i = Valor del dato

$$\bar{X} = \frac{1}{32} \times (41.3 + 40.3 + 37.7 + 35.2 + \dots + 12.2) = \frac{869.8}{32} = 27.181$$

Desviación estándar de la precipitación:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

$$s = \left\{ \frac{1}{34-1} \times [(41.3 - 27.18)^2 + (40.3 - 27.18)^2 + \dots + (1.4281 - 27.18)^2] \right\}^{1/2}$$

$$= \left(\frac{2835.786}{33} \right)^{1/2} = 9.27$$

Calculamos en función de la variable reducida, con lo calculado K_T :

$$X_T = \bar{X} + K_T \times s \quad (3.11)$$

Para

$$X_T = 27.181 - 0.16 \times 9.27 = 25.66 \text{ mm}$$

Tr=2:

Para

$$X_T = 27.181 + 3.14 \times 9.27 = 56.25 \text{ mm}$$

Tr=100:

Coefficiente de correlación de Pmax por N° de lecturas (OMM) = 1.13 al Pmáx. (N° Lecturas=1)

$$P_{\text{máx correg.}} = 1.13 \times P_{\text{máx}} \quad (3.12)$$

Para Tr2:

$$P_{\text{máx correg.}} = 1.13 \times 25.7 = 28.99 \text{ mm}$$

Tabla 20: Máxima precipitación de 24 horas correcta desde la estación de Mollepata

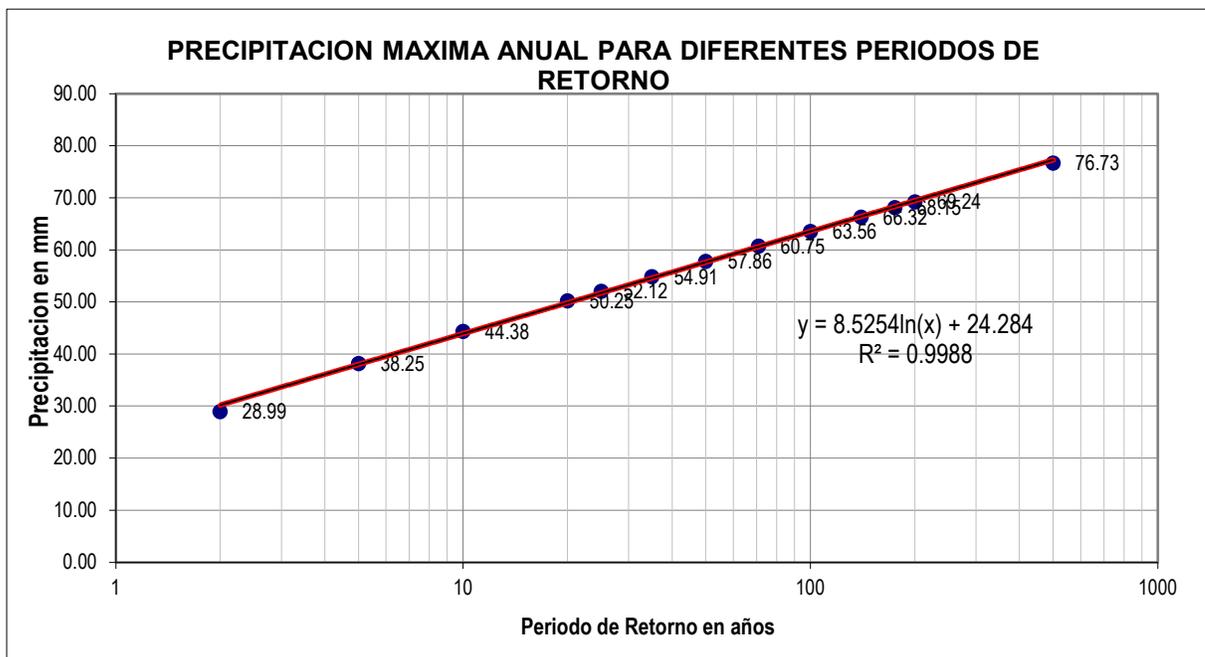
T (años)	P(X≤x _T)	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P _{MAX} mm	P _{MAX} (corregida) mm
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}		
2	0.500	0.00	27.18	-0.16	25.66	0.00	1.41	25.74	-0.13	25.94	0.00	1.41	25.78	25.7	28.99
5	0.800	0.84	34.98	0.72	33.85	0.84	1.53	34.17	0.78	34.37	0.84	1.53	34.19	33.8	38.25
10	0.900	1.28	39.06	1.30	39.27	1.28	1.60	39.63	1.33	39.54	1.28	1.60	39.58	39.3	44.38
20	0.950	1.64	42.42	1.87	44.47	1.64	1.65	44.78	1.84	44.23	1.64	1.65	44.65	44.5	50.25
25	0.960	1.75	43.40	2.04	46.12	1.75	1.67	46.41	2.00	45.68	1.74	1.67	46.25	46.1	52.12
35	0.971	1.90	44.81	2.31	48.59	1.90	1.69	48.84	2.23	47.80	1.89	1.69	48.62	48.6	54.91
50	0.980	2.05	46.21	2.59	51.20	2.05	1.71	51.39	2.46	50.00	2.04	1.71	51.12	51.2	57.86
71	0.986	2.19	47.52	2.87	53.76	2.19	1.73	53.90	2.69	52.12	2.18	1.73	53.55	53.8	60.75

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

T (años)	P(X≤x _T)	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P _{MAX} mm	P _{MAX} (corregida) mm
		K _T	x _T	K _T	x _T	K _T	x _T	10 ^{x_T}	K _T	x _T	K _T	X _T	10 ^{x_T}		
100	0.990	2.33	48.74	3.14	56.25	2.33	1.75	56.33	2.91	54.14	2.30	1.75	55.92	56.2	63.56
140	0.993	2.45	49.88	3.40	58.69	2.45	1.77	58.73	3.12	56.10	2.43	1.77	58.24	58.7	66.32
175	0.994	2.53	50.62	3.57	60.31	2.53	1.78	60.32	3.26	57.38	2.50	1.78	59.78	60.3	68.15
200	0.995	2.58	51.05	3.68	61.27	2.58	1.79	61.27	3.34	58.14	2.55	1.78	60.70	61.3	69.24
500	0.998	2.88	53.85	4.39	67.91	2.88	1.83	67.84	3.90	63.28	2.84	1.83	67.02	67.9	76.73

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 9: Distribución ajustada de la precipitación máxima anual



Fuente: Elaboración Propia

c) Cálculo de Intensidades de diseño

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (3.13)$$

$$P_d = 28.99 \times \left(\frac{1440}{1440} \right)^{0.25} = 28.99$$

Tabla 21: Precipitación total por el método de Dick y Peschke (1991)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.08	5.00	7.04	9.28	10.77	12.20	12.65	14.05	15.43	16.81	18.63
0.17	10.00	8.37	11.04	12.81	14.51	15.04	16.70	18.35	19.99	22.15
0.25	15.00	9.26	12.22	14.18	16.05	16.65	18.48	20.31	22.12	24.51
0.33	20.00	9.95	13.13	15.23	17.25	17.89	19.86	21.82	23.77	26.34
0.50	30.00	11.02	14.53	16.86	19.09	19.80	21.98	24.15	26.31	29.15
0.67	40.00	11.84	15.61	18.12	20.52	21.28	23.62	25.95	28.27	31.33
0.83	50.00	12.52	16.51	19.16	21.69	22.50	24.98	27.44	29.89	33.12
1.00	60.00	13.10	17.28	20.05	22.70	23.55	26.14	28.72	31.28	34.67
2.00	120.00	15.58	20.55	23.84	27.00	28.00	31.09	34.15	37.20	41.23
24.00	1440.00	28.99	38.25	44.38	50.25	52.12	57.86	63.56	69.24	76.73

Fuente: Elaboración Propia

Ecuación de Intensidad de diseño:

$$I = \frac{10^{kT^m}}{t^m} \quad (3.14)$$

PéTr 100 ãs:

$$I = \frac{10^{1.84} \times 100^{0.1691}}{1440^{0.55}} = 2.76 \frac{mm}{hr}$$

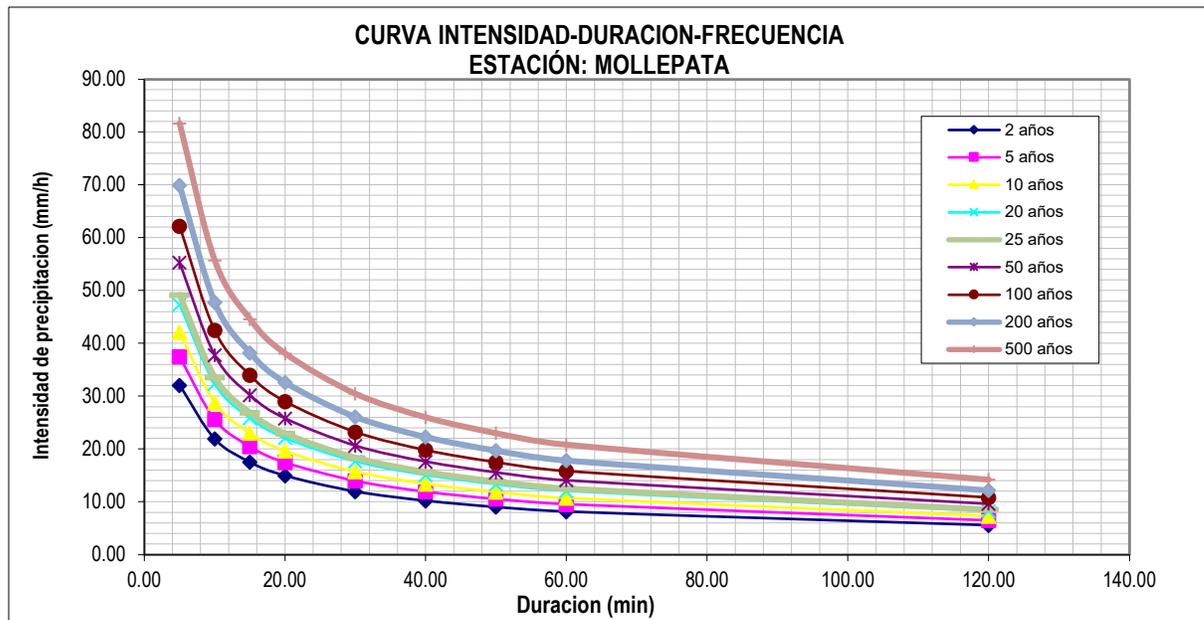
Tabla 22: Intensidad – duración – Frecuencia

DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.08	5.00	32.10	37.48	42.14	47.38	49.20	55.32	62.20	69.93	81.65
0.17	10.00	21.92	25.60	28.78	32.36	33.60	37.78	42.48	47.76	55.77
0.25	15.00	17.54	20.48	23.03	25.89	26.89	30.23	33.99	38.22	44.62
0.33	20.00	14.97	17.48	19.66	22.10	22.95	25.81	29.02	32.62	38.09
0.50	30.00	11.98	13.99	15.73	17.68	18.36	20.65	23.22	26.10	30.48
0.67	40.00	10.23	11.94	13.43	15.10	15.68	17.63	19.82	22.28	26.02
0.83	50.00	9.05	10.56	11.88	13.35	13.87	15.59	17.53	19.71	23.01
1.00	60.00	8.18	9.55	10.74	12.08	12.54	14.10	15.86	17.83	20.82
2.00	120.00	5.59	6.53	7.34	8.25	8.57	9.63	10.83	12.18	14.22
24.00	1440.00	1.42	1.66	1.87	2.10	2.18	2.46	2.76	3.10	3.62

Fuente. Elaboración Propia.

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

Ilustración 10: Grafica de Curva – Duración – Frecuencia de la estación Mollepata



Fuente. Elaboración Propia.

Intensidades – Caudales en Cunetas y Subdrenes

Los caudales para las cunetas y subdrenaje serán definidos en el capítulo de hidráulica, sin embargo, el alcance del estudio hidrológico determina las ecuaciones de intensidad que serán usadas en los diferentes tramos de la carretera, siendo estos afectados por la influencia de la estación Mollepata, como indica la Tabla 23:

Tabla 23: Intensidades del tramo para cunetas y subdrenes

NOMBRE	ZONA DE INFLUENCIA SOBRE EL EJE		ECUACIÓN DE INTENSIDAD
	PROGRESIVA	PROGRESIVA	
	INICIO	FIN	
MOLLEPATA	59+000	63+500	$I = \frac{10^{2.4480} T^{0.1691}}{t^{0.7500}}$

Fuente. Elaboración Propia.

Para Cunetas Tr 30 años:

$$I = \frac{10^{2.448} \times 30^{0.1691}}{60^{0.75}} = 23.13 \frac{mm}{hr}$$

Para Subdrenes Tr 30 años:

$$I = \frac{10^{2.448} \times 30^{0.1691}}{30^{0.75}} = 38.89 \frac{mm}{hr}$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

d) Intensidad de precipitación

PéréTr 100 éñç:

$$I = \frac{10^{1.84} \times 100^{0.1691}}{60^{0.55}} = 15.86 \frac{mm}{hr}$$

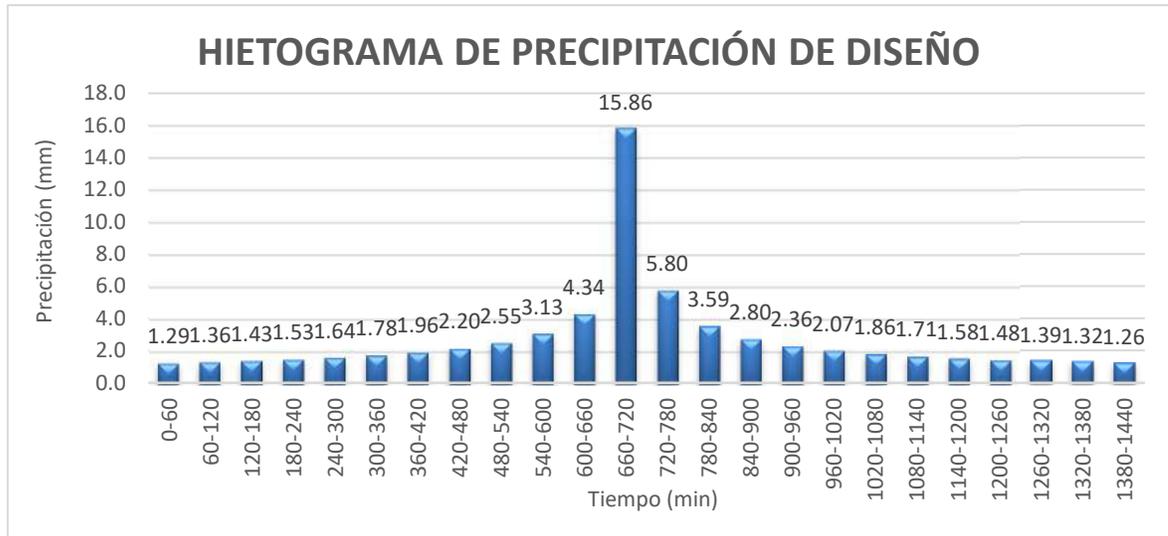
Tabla 24: Intensidad – Precipitación Tr 100 años

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	15.86	15.86	15.86	0-60	1.29
120	10.83	21.66	5.80	60-120	1.36
180	8.67	26.00	4.34	120-180	1.43
240	7.40	29.59	3.59	180-240	1.53
300	6.54	32.72	3.13	240-300	1.64
360	5.92	35.51	2.80	300-360	1.78
420	5.44	38.06	2.55	360-420	1.96
480	5.05	40.42	2.36	420-480	2.20
540	4.74	42.62	2.20	480-540	2.55
600	4.47	44.69	2.07	540-600	3.13
660	4.24	46.65	1.96	600-660	4.34
720	4.04	48.51	1.86	660-720	15.86
780	3.87	50.29	1.78	720-780	5.80
840	3.71	52.00	1.71	780-840	3.59
900	3.58	53.64	1.64	840-900	2.80
960	3.45	55.22	1.58	900-960	2.36
1020	3.34	56.74	1.53	960-1020	2.07
1080	3.23	58.22	1.48	1020-1080	1.86
1140	3.14	59.66	1.43	1080-1140	1.71
1200	3.05	61.05	1.39	1140-1200	1.58
1260	2.97	62.40	1.36	1200-1260	1.48
1320	2.90	63.72	1.32	1260-1320	1.39
1380	2.83	65.01	1.29	1320-1380	1.32
1440	2.76	66.27	1.26	1380-1440	1.26

Fuente. Elaboración Propia.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Ilustración 11: Hietograma de precipitación de diseño



Fuente. Elaboración Propia.

e) Tiempo de concentración

Kirpich (1940)

$$T_C = 0.01947 \times L^{0.77} \times S_{cauce}^{-0.385} \quad (3.15)$$

$$T_C = 0.01947 \times 681^{0.77} \times 0.777^{-0.385} = 3.26$$

Bransby – Williams

$$T_C = 14.6 \times L \times 0.001 \times A^{-0.1} \times S_{cauce}^{-0.2} \quad (3.16)$$

$$T_C = 14.6 \times 681 \times 0.001 \times 0.09^{-0.1} \times 0.777^{-0.2} = 13.38$$

Témez

$$T_C = 0.3 \times \left(\frac{L \times 0.001}{S^{0.25}} \right)^{0.75} \times 60 \quad (3.17)$$

$$T_C = 0.3 \times \left(\frac{681 \times 0.001}{0.777^{0.25}} \right)^{0.75} \times 60 = 14.15$$

Tabla 25: Resumen de Tiempo de concentración (T_C)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Cuenca	Progresiva	Área (Km ²)	Método a utilizar	H _{máx} (m)	H _{mín} (m)	L _{máx} (m)	S _{cauce} (m/m)	Tiempo de concentración (min)			T _{C Promedio} (min)
								Kirpich	B-W	Témez	
C2-01	59+067.30	0.09	Racional	4029	3500	681	0.777	3.26	13.38	14.15	10.26
C2-02	59+273.90	0.11	Racional	4054	3503	675	0.816	3.18	12.75	13.92	9.95
C2-03	59+444.60	0.20	Racional	4108	3518	752	0.784	3.51	13.55	15.22	10.76
C2-04	59+828.30	0.26	Racional	4248	3561	1180	0.582	5.56	21.94	22.56	16.69
C2-05	60+108.60	0.50	Racional	4361	3562	1358	0.588	6.17	23.63	25.02	18.27
C2-06	60+353.50	0.02	Racional	3821	3612	300	0.696	1.81	6.89	7.82	10.00
C2-07	60+677.80	0.16	Racional	4029	3555	804	0.589	4.12	15.64	16.88	12.22
C2-08	61+675.30	0.25	Racional	4376	3690	1128	0.608	5.28	20.94	21.63	15.95
C2-09	62+108.20	0.45	Racional	4439	3743	1214	0.573	5.72	21.45	23.11	16.76
C2-10	62+227.20	0.01	Racional	3887	3719	183	0.919	1.11	4.52	5.11	10.00
C2-11	62+335.50	0.01	Racional	3900	3717	238	0.768	1.46	5.62	6.45	10.00
C2-12	62+429.80	0.38	Racional	4539	3726	1523	0.534	7.00	27.76	27.77	20.84
C2-13	62+800.00	1.12	Racional	4531	3741	2156	0.366	10.57	38.05	38.67	29.10

Fuente. Elaboración Propia.

Ecuación de Intensidad de diseño:

$$I = \frac{10^{kT^m}}{t_c^m} \quad (3.18)$$

PéreléCuencéC2-01:

(Tr 71 éñđ)

$$I = \frac{10^{1.84} \times 71^{0.1691}}{10.26^{0.55}} = 39.53 \frac{mm}{hr}$$

(Tr 100 éñđ)

$$I = \frac{10^{1.84} \times 100^{0.1691}}{10.26^{0.55}} = 41.89 \frac{mm}{hr}$$

(Tr 30 éñđ)

$$I = \frac{10^{1.84} \times 30^{0.1691}}{10.26^{0.55}} = 34.17 \frac{mm}{hr}$$

Tabla 26: Resumen de Intensidades de diseño

Cuenca	Área (Km ²)	Intensidad (mm/h)				
		71 años	100 años	140 años	175 años	500 años
		71	100	140	175	500
C2-01	0.09	39.58	41.94	44.39	46.10	55.06

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Cuenca	Área (Km2)	Intensidad (mm/h)				
		71 años	100 años	140 años	175 años	500 años
		71	100	140	175	500
C2-02	0.11	40.16	42.56	45.05	46.78	55.87
C2-03	0.2	38.52	40.82	43.21	44.87	53.59
C2-04	0.26	30.24	32.05	33.92	35.23	42.07
C2-05	0.5	28.78	30.49	32.28	33.52	40.03
C2-06	0.02	55.55	58.86	62.31	64.70	77.27
C2-07	0.16	35.90	38.04	40.27	41.81	49.94
C2-08	0.25	31.03	32.88	34.80	36.14	43.16
C2-09	0.45	30.18	31.98	33.85	35.15	41.98
C2-10	0.01	71.29	75.54	79.97	83.04	99.17
C2-11	0.01	61.68	65.36	69.18	71.84	85.80
C2-12	0.38	26.77	28.37	30.03	31.18	37.24
C2-13	1.12	22.28	23.61	24.99	25.95	30.99

Fuente. Elaboración Propia.

f) Caudales Método Racional

Las cuencas menores a 5 Km², pertenecen a la cobertura vegetal de Pastos, y vegetación ligera, la cual tiene una característica de semipermeable, por lo tanto, El coeficiente de flujo de cada pozo se estimó como función de su pendiente utilizando los valores de la *Tabla 27*, que va desde 0.50 a 0.35.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Tabla 27: Coeficiente de escorrentía

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: (Manual del MTC, 2011, pág. 50)

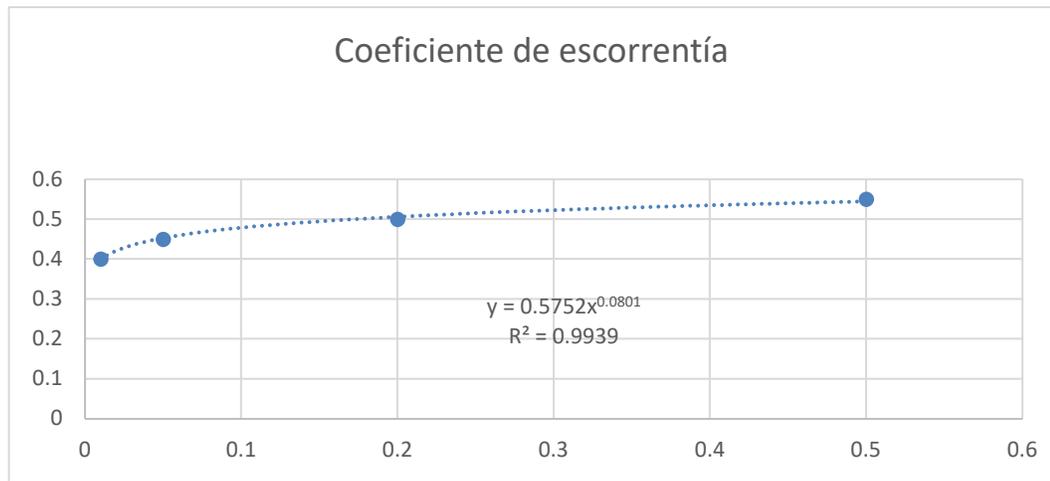
Tabla 28: Pendiente - Coeficiente de Escorrentía

Pendiente	0.01	0.05	0.2	0.5
Coeficiente	0.4	0.45	0.5	0.55

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Tabla 27.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Ilustración 12: Grafica del coeficiente de escorrentía



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Tabla 28

$$C = 0.5752 \times S^{0.0801} \quad (3. 19)$$

Donde: S=Pendiente.

Para pendiente S=0.777:

$$C = 0.5752 \times 0.777^{0.0801} = 0.564$$

Calcular el flujo a través de la bañera utilizando el método racional C02-01

$$Q = 0.278CIA \quad (3. 20)$$

Para Tr 30 años:

$$Q = 0.278 \times 0.564 \times 34.17 \times 0.085 = 0.45 \frac{m^3}{s}$$

Para Tr 71 años:

$$Q = 0.278 \times 0.564 \times 39.53 \times 0.085 = 0.53 \frac{m^3}{s}$$

Para Tr 100 años:

$$Q = 0.278 \times 0.564 \times 41.89 \times 0.085 = 0.56 \frac{m^3}{s}$$

Tabla 29: Resumen de caudales – Método Racional

Código Cuenca	Área (km ²)	Pendiente (m/m)	Tipo de pend.	Cultivos	Caudal máximo (m3/s)				
				C	71 años	100 años	140 años	175 años	500 años
C2-01	0.085	0.777	PRONUNCIADA	0.564	0.53	0.56	0.59	0.61	0.73

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Código Cuenca	Área (km ²)	Pendiente (m/m)	Tipo de pend.	Cultivos	Caudal máximo (m ³ /s)				
				C	71 años	100 años	140 años	175 años	500 años
C2-02	0.114	0.816	PRONUNCIADA	0.566	0.70	0.74	0.78	0.81	0.97
C2-03	0.199	0.784	PRONUNCIADA	0.564	1.21	1.28	1.35	1.41	1.68
C2-04	0.265	0.582	PRONUNCIADA	0.551	1.20	1.28	1.35	1.40	1.68
C2-05	0.502	0.588	PRONUNCIADA	0.551	2.20	2.34	2.47	2.57	3.07
C2-06	0.023	0.696	PRONUNCIADA	0.559	0.17	0.18	0.19	0.20	0.24
C2-07	0.164	0.589	PRONUNCIADA	0.551	0.88	0.93	0.99	1.02	1.22
C2-08	0.246	0.608	PRONUNCIADA	0.553	1.19	1.26	1.34	1.39	1.66
C2-09	0.453	0.573	PRONUNCIADA	0.55	2.08	2.20	2.33	2.42	2.89
C2-10	0.006	0.919	PRONUNCIADA	0.571	0.11	0.12	0.13	0.13	0.16
C2-11	0.014	0.768	PRONUNCIADA	0.563	0.10	0.10	0.11	0.11	0.13
C2-12	0.383	0.534	PRONUNCIADA	0.547	1.55	1.64	1.74	1.80	2.15
C2-13	1.123	0.366	ALTA	0.531	3.68	3.90	4.13	4.29	5.12

Fuente: Elaboración propia.

2.2.8. Caudales – Método Racional Modificado para la cuenca C2-14

La duración es igual al tiempo de concentración, estimado como el promedio de los valores obtenidos con las ecuaciones de Temez.

a) Tiempo de Concentración (T_c) – Método de Temez

$$T_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (3. 21)$$

$$T_c = 0.3 \times \left(\frac{11.02}{0.102^{0.25}} \right)^{0.76} = 2.868 \text{ hrs} = 172.07 \text{ min}$$

b) Coeficiente de uniformidad

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14} \quad (3. 22)$$

Donde:

T_c= Tiempo de concentración (horas)

$$K = 1 + \frac{2.868^{0.125}}{2.868^{0.125} + 14} = 1.075$$

c) Coeficiente de simultaneidad o Factor reductor (K_A)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$K_A = 1 - \left(\frac{\log_{10} A}{15} \right) \quad (3.23)$$

Donde:

A= Área de la cuenca (Km²)

$$K_A = 1 - \left(\frac{\log_{10} 45.323}{15} \right) = 0.89$$

d) Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

$$P = K_A P_d \quad (3.24)$$

Donde:

Pd= Precipitación máxima diaria (mm)

Para Tr 140 años:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (3.25)$$

$$P_d = 58.7 \times \left(\frac{1440}{1440} \right)^{0.25} = 58.7 \text{ mm}$$

$$P = 0.89 \times 58.7 = 52.243 \text{ mm}$$

Para Tr 500 años:

$$P_d = 67.9 \times \left(\frac{1440}{1440} \right)^{0.25} = 67.9 \text{ mm}$$

$$P = 0.89 \times 67.9 = 60.431 \text{ mm}$$

e) Intensidad de Precipitación

$$I = \left(\frac{P}{24} \right) \times (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad (3.26)$$

Donde:

P= Precipitación máxima corregida (mm)

Tc= Tiempo de concentración (horas)

Para Tr 140 años:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$I = \left(\frac{52.243}{24}\right) \times (11)^{\frac{28^{0.1}-2.868^{0.1}}{28^{0.1}-1}} = 12.21 \frac{mm}{hr}$$

Para Tr 500 años:

$$I = \left(\frac{60.431}{24}\right) \times (11)^{\frac{28^{0.1}-2.868^{0.1}}{28^{0.1}-1}} = 14.12 \frac{mm}{hr}$$

f) Coeficiente de Escorrentía (C)

$$C = \frac{(P_d - P_o) \times (P_d + 23 \times P_o)}{(P_d + 11 \times P_o)^2} \quad (3.27)$$

Donde:

Pd= Precipitación máxima diaria (mm)

Po= Umbral de es correntía

$$P_o = \left(\frac{5000}{CN}\right) - 50 \quad (3.28)$$

Tabla 30: Clasificación de clases antecedentes de humedad (amc)

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación activa
I	Menor que 0,5	Menor que 1,4
II	0,5 a 1,1	1,4 a 2,1
III	Sobre 1,1	Sobre 2,1

Fuente: (Manual del MTC, 2011, pág. 45)

Para esto se tomó en cuenta la Tabla 30 donde se indica que para estaciones inactivas el CN II está entre 12.7 a 27.9mm y para estaciones activas se encuentra entre 35.56 a 53.34 mm Observar que este comportamiento se produce en la mayoría de las estaciones estudiadas. Se adjunta los valores de precipitaciones de la página <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

$$P_o = \left(\frac{5000}{68}\right) - 50 = 23.53 \text{ mm}$$

Para Tr 140 años:

$$C = \frac{(58.7 - 23.53) \times (58.7 + 23 \times 23.53)}{(58.7 + 11 \times 23.53)^2} = 0.209$$

Para Tr 500 años:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$C = \frac{(67.9 - 23.53) \times (67.9 + 23 \times 23.53)}{(67.9 + 11 \times 23.53)^2} = 0.253$$

g) Cálculo del Método racional Modificado:

$$Q = 0.278CIAK \quad (3.29)$$

Los datos son especificados en el marco teórico y calculados en el ítem abordado. Entonces,

Para Tr 140 años:

$$Q = 0.278 \times 0.209 \times 12.21 \times 45.323 \times 1.075 = 34.56 \frac{m^3}{s}$$

Para Tr 500 años:

$$Q = 0.278 \times 0.253 \times 14.12 \times 45.323 \times 1.075 = 48.39 \frac{m^3}{s}$$

2.3. Efecto del Cambio Climático

2.3.1. Modelo de Circulación General (MCGs) del World Meteorological Organization (WMO)

En el contexto del quinto informe del Panel Intergubernamental sobre cambio Climático “IPCC” (AR5), han desarrollado cuatro posibilidades distintas “vías representativas de concentraciones” de gases invernadero (en inglés: Representative COncentration Pathways (RCP)). Los nuevos escenarios del quinto informe tienen características distintas de IPCC (AR5) son descritos a continuación:

Fuente: <https://www.ipcc.ch/se>

- *RCP8.5: El pathway RCP8.5 representa una vía de emisiones y concentraciones relativamente altas. Su premisa central es que el crecimiento demográfico será rápido. Su premisa central es que el crecimiento será rápido del PBI, con bajas tasas de avance tecnológico y altos niveles de eficiencia energética. Esto da lugar a un mayor consumo de energía y a las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero. Las políticas de cambio climático no se aplican en este escenario. Por eso el escenario RCP8.5 también es llamado “business as usual”- escenario que significa “todo sigue como hasta ahora”. Se calcula basándose en este escenario para el año 2100 calentamiento de la superficie del planeta entre 3.4 y 5.5 °C en relación con la temperatura media global del periodo 1980-1999.*
- *RCP6: Esta trayectoria representa las emisiones de gases de efecto invernadero y los cambios en el uso del suelo, que dan lugar a una fuerza radiactiva de 6 W/m2*

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

al año 2100. Esto requiere reducciones significativas en comparación con el año anterior 2060. Es importante tener en cuenta que, sin políticas de reducción de la emisión, esto daría lugar a valores más altos de la fuerza radiactiva al año 2100.

- *RCP4.5: Como el pathway PCP6, también el RCP4.5 es un escenario de estabilización en el que se logra una fuerza radiactiva de 4.5 W/m² al año 2100, sin haberlo superado anteriormente. El RCP4.5 es más ambicioso que el RCP6 y da lugar a un aumento de la temperatura global de aproximadamente 2 grados centígrados, que se alinea con el objetivo climático de limitar el calentamiento global a 2 °C.*
- *RCP2.6: La cuarta vía, o vía de emisiones y concentraciones, es representativa de los escenarios de mitigación destinados a mantener el calentamiento global por debajo de los 2 grados centígrados al final del siglo. La ruta tiene una fuerza de radiación de 3 W/m² antes de 2100 y disminuye hasta 2,6 W/m² en 2100. Para alcanzar este objetivo, es necesario reducir significativamente las emisiones netas. Por eso este escenario se considera un poco utópico.*

El RCP8.5 es la representación más cercana a un "peor escenario" de los escenarios de emisiones disponibles. En las mejores prácticas internacionales, el RCP8.5 se recomienda.

a) Proyecciones de la precipitación

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

Ilustración 13: Portal World Meteorological Organization (WMO) – Climate Data Catalogue

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION Weather - Climate - Water									
Home About Assessed Datasets Climate Indicators Explore Data Documentation									
	rcp45to85	O ₁₂₅	O ₁₂₅	O ₁₂₅				48	48
model	exp	r1mm	r10mm	r20mm	r95p	r99p	rx1 day	rx5 day	sdi
ACCESS1-0	historical	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
	rcp45	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
	rcp85	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
bcc-csm1-1	historical	O ₃	O ₃	O ₃	O ₃	O ₃	O ₃	O ₃	O ₃
	rcp26	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
	rcp45	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
	rcp60	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
CanESM2	rcp85	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁	O ₁
	historical	O ₅	O ₅	O ₅	O ₅	O ₅	O ₅	O ₅	O ₅

Fuente: (WMO, 2022)

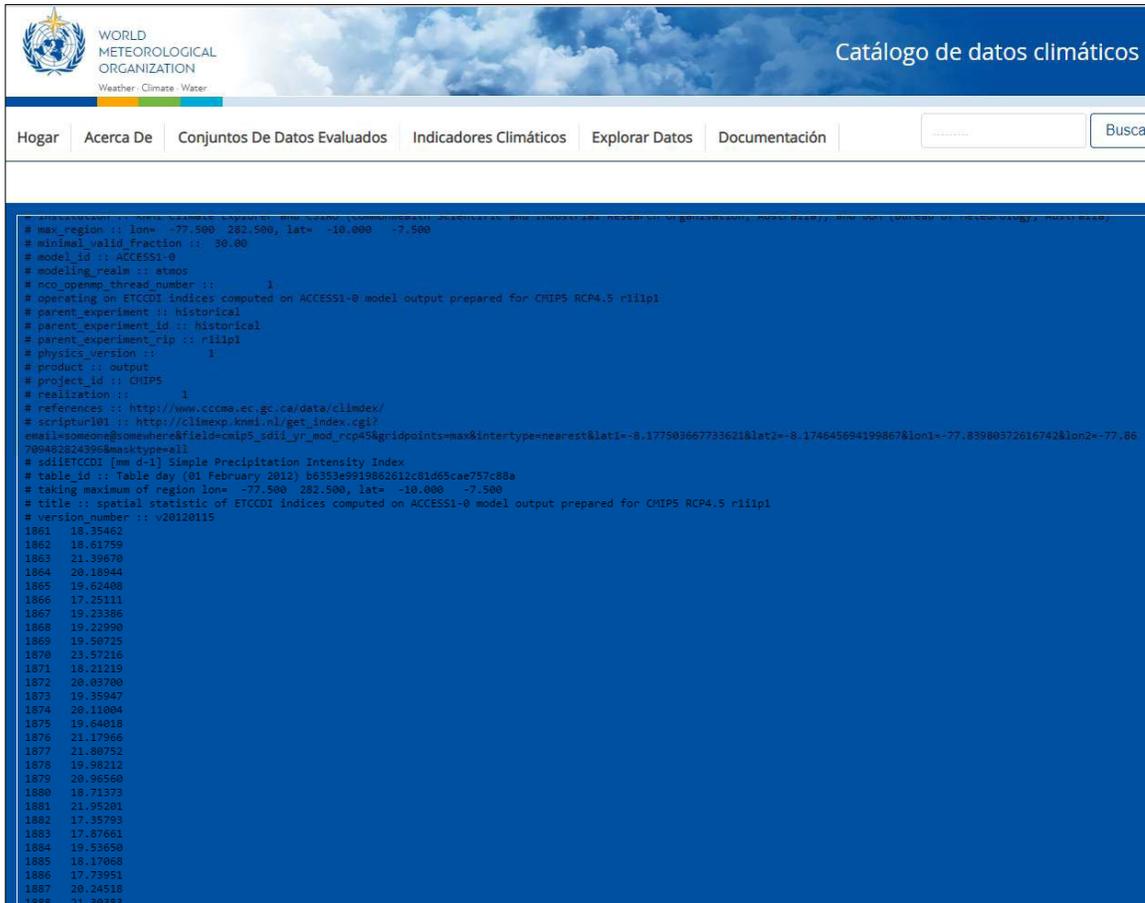
Par el presente informe se utilizó los Modelos de Circulación General (MCGs) ya que son la herramienta principal para la previsión del clima en las próximas décadas. Estos datos incluyen:

- Datos sobre precipitaciones extremas con un periodo histórico entre 1985 – 2018.
- Datos sobre la precipitación extrema para el periodo de tiempo futuro que incluye las décadas de 2032 y 2100.

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

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

Ilustración 14: Extracción de datos del Portal World Meteorological Organization (WMO)



Fuente: (WMO, 2022)

URL: <https://climatedata-catalogue.wmo.int/explore>

b) Escenario RCP 4.5

Tabla 31: Data histórica y futura – Modelo ACCESSI-0 – Escenario RCP4.5

Año	Precipitación (mm)
1861	18.35462
1862	18.61759
1863	21.3967
1864	20.18944
1865	19.62408
1866	17.25111
1867	19.23386

Año	Precipitación (mm)
1868	19.2299
1869	19.50725
1870	23.57216
1871	18.21219
1872	20.037
1873	19.35947
1874	20.11004

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1875	19.64018
1876	21.17966
1877	21.80752
1878	19.98212
1879	20.9656
1880	18.71373
1881	21.95201
1882	17.35793
1883	17.87661
1884	19.5365
1885	18.17068
1886	17.73951
1887	20.24518
1888	21.30383
1889	18.22653
1890	21.05256
1891	17.02484
1892	21.62283
1893	17.10879
1894	18.92461
1895	16.11024
1896	18.5972
1897	23.28952
1898	18.0985
1899	18.96223
1900	19.87268
1901	18.51012
1902	18.35428
1903	21.41213
1904	20.4203
1905	19.70795
1906	18.45464
1907	17.332
1908	20.78063
1909	20.49137

Año	Precipitación (mm)
1910	20.03651
1911	26.14319
1912	18.74537
1913	19.31152
1914	20.624
1915	18.38765
1916	18.36532
1917	18.91982
1918	19.54404
1919	18.60772
1920	18.09629
1921	19.41669
1922	19.30714
1923	20.25125
1924	21.30631
1925	18.20355
1926	19.42593
1927	20.30303
1928	17.95515
1929	29.56941
1930	18.69447
1931	21.17135
1932	18.9171
1933	19.06162
1934	19.07504
1935	20.51083
1936	22.57484
1937	19.72361
1938	21.27457
1939	17.33624
1940	18.77936
1941	22.7956
1942	18.66027
1943	23.77312
1944	19.82648

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1945	20.43792
1946	19.14194
1947	18.91403
1948	16.07137
1949	19.41127
1950	18.55683
1951	18.86829
1952	18.22797
1953	18.44411
1954	17.06897
1955	24.57981
1956	21.58628
1957	18.74837
1958	19.32621
1959	23.71673
1960	19.45808
1961	23.79231
1962	19.43985
1963	18.03448
1964	16.82883
1965	19.10988
1966	20.81214
1967	17.10439
1968	22.92068
1969	18.56658
1970	19.39515
1971	18.84709
1972	20.38581
1973	17.10218
1974	20.76831
1975	18.44187
1976	23.64654
1977	16.02461
1978	20.90596
1979	28.52364

Año	Precipitación (mm)
1980	23.24972
1981	22.90704
1982	20.25426
1983	20.04195
1984	17.98882
1985	19.41831
1986	21.95799
1987	20.68929
1988	19.52274
1989	18.48875
1990	17.08431
1991	19.07857
1992	19.26122
1993	25.21577
1994	21.68239
1995	23.56962
1996	17.9795
1997	19.5207
1998	21.58779
1999	21.27872
2000	19.45222
2001	18.16878
2002	19.12748
2003	17.57246
2004	19.81676
2005	19.67014
2006	15.94713
2007	19.77796
2008	22.05768
2009	17.64949
2010	20.34077
2011	23.92789
2012	32.48448
2013	22.24352
2014	19.79051

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
2015	22.11546
2016	25.05954
2017	23.38637
2018	19.24291
2019	19.94358
2020	23.01167
2021	20.96819
2022	21.59065
2023	22.46829
2024	19.90958
2025	23.47998
2026	20.36135
2027	23.53319
2028	23.0183
2029	17.04321
2030	19.33498
2031	19.93545
2032	22.41236
2033	19.91122
2034	18.06284
2035	19.60571
2036	18.32748
2037	19.61563
2038	22.15402
2039	18.94338
2040	17.19433
2041	20.91645
2042	18.19032
2043	23.73902
2044	17.02632
2045	16.82129
2046	20.6662
2047	19.45705
2048	19.7829
2049	20.45057

Año	Precipitación (mm)
2050	19.78618
2051	17.46443
2052	18.47398
2053	19.05947
2054	23.54424
2055	21.70277
2056	21.5534
2057	21.50654
2058	19.37626
2059	21.82384
2060	18.56034
2061	21.03365
2062	21.13511
2063	19.60643
2064	25.02787
2065	20.05872
2066	24.35456
2067	17.88542
2068	20.56589
2069	19.83478
2070	23.72357
2071	28.97779
2072	23.32992
2073	20.26402
2074	21.49431
2075	24.21344
2076	18.57272
2077	21.30589
2078	22.12693
2079	21.65903
2080	20.25432
2081	21.5448
2082	19.95909
2083	26.09475
2084	25.35768

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
2085	25.12035
2086	28.66326
2087	20.82571
2088	20.83615
2089	19.64268
2090	17.83583
2091	21.492
2092	20.77858

Año	Precipitación (mm)
2093	20.54187
2094	21.77615
2095	19.42347
2096	19.9602
2097	20.28832
2098	24.31414
2099	21.40655
2100	20.5633

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Tabla 32: Data histórica y futura – Modelo bcc-csm1-1 – Escenario RCP4.5

Año	Precipitación (mm)
1861	14.0524
1862	18.43887
1863	17.43531
1864	18.83992
1865	19.6877
1866	15.59157
1867	16.98549
1868	17.45623
1869	17.09372
1870	18.42867
1871	21.59785
1872	17.42572
1873	19.25901
1874	19.59542
1875	17.09257
1876	17.91486
1877	21.56334
1878	18.67092
1879	21.16726
1880	17.82747
1881	17.90286
1882	19.73379

Año	Precipitación (mm)
1883	18.31639
1884	16.78717
1885	17.33428
1886	18.52639
1887	17.51772
1888	17.31572
1889	18.37131
1890	21.13592
1891	18.64856
1892	16.73454
1893	17.83554
1894	20.30179
1895	17.96661
1896	18.96618
1897	17.94607
1898	18.63218
1899	16.17213
1900	18.71498
1901	16.0241
1902	17.85134
1903	18.22779
1904	18.9688

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1905	21.66147
1906	15.81373
1907	18.36395
1908	18.44365
1909	19.20625
1910	18.53622
1911	20.10744
1912	18.09599
1913	18.32011
1914	19.8314
1915	18.43695
1916	18.6114
1917	20.16236
1918	21.72695
1919	17.71517
1920	20.20532
1921	18.67139
1922	18.86232
1923	20.93164
1924	18.79456
1925	18.95513
1926	16.55551
1927	18.66312
1928	20.66185
1929	17.00632
1930	15.78219
1931	18.98395
1932	17.72922
1933	17.24211
1934	16.88943
1935	21.12891
1936	16.71933
1937	21.07191
1938	15.97206
1939	17.33617

Año	Precipitación (mm)
1940	19.29694
1941	18.92657
1942	20.57573
1943	16.41195
1944	17.85364
1945	17.2081
1946	20.90407
1947	18.22027
1948	19.97055
1949	20.20498
1950	17.3629
1951	18.91319
1952	16.59584
1953	20.57671
1954	17.18761
1955	18.25591
1956	18.02113
1957	16.44186
1958	21.08858
1959	17.05784
1960	18.39173
1961	19.1743
1962	18.1806
1963	18.97048
1964	16.40595
1965	18.59659
1966	17.37873
1967	18.36085
1968	18.25386
1969	16.10858
1970	18.02067
1971	17.37966
1972	19.32812
1973	17.15341
1974	18.79701

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1975	17.41032
1976	16.62141
1977	21.10562
1978	17.2759
1979	18.36511
1980	17.45511
1981	19.2668
1982	19.21756
1983	19.33185
1984	18.65633
1985	17.45974
1986	17.78742
1987	17.27703
1988	18.24775
1989	17.87495
1990	17.75238
1991	18.729
1992	18.42519
1993	17.15265
1994	20.84888
1995	17.62798
1996	18.66
1997	18.04129
1998	18.63026
1999	20.94624
2000	20.26011
2001	16.40359
2002	20.36386
2003	18.33273
2004	21.17942
2005	19.18479
2006	18.17872
2007	19.50032
2008	19.67938
2009	19.10892

Año	Precipitación (mm)
2010	19.73898
2011	21.27981
2012	19.79605
2013	17.42827
2014	17.00729
2015	19.12525
2016	17.24465
2017	18.71978
2018	22.20164
2019	16.96406
2020	18.56169
2021	18.67658
2022	17.20039
2023	24.0767
2024	17.73328
2025	20.3675
2026	23.83768
2027	19.91225
2028	19.76789
2029	19.65443
2030	21.51077
2031	22.37499
2032	19.82523
2033	21.4909
2034	18.74555
2035	17.58193
2036	21.96226
2037	19.03544
2038	19.72948
2039	18.63824
2040	21.41743
2041	17.48913
2042	18.39638
2043	17.4385
2044	19.53893

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
2045	20.48163
2046	18.27668
2047	18.61016
2048	18.42369
2049	17.78054
2050	17.3206
2051	20.26399
2052	18.72656
2053	18.84662
2054	19.25314
2055	19.53198
2056	16.61264
2057	18.11208
2058	19.57459
2059	20.30255
2060	18.89004
2061	20.22516
2062	20.56512
2063	18.2639
2064	21.5281
2065	19.58015
2066	21.24435
2067	19.59478
2068	22.03382
2069	19.63819
2070	21.42309
2071	20.3929
2072	23.54492

Año	Precipitación (mm)
2073	19.0105
2074	20.44348
2075	18.71645
2076	18.26627
2077	18.93435
2078	17.51823
2079	18.24714
2080	18.92165
2081	20.32322
2082	22.27029
2083	20.99179
2084	17.27347
2085	20.06255
2086	21.99358
2087	19.51213
2088	20.37604
2089	18.6305
2090	18.04332
2091	21.39042
2092	21.67595
2093	19.89154
2094	20.10186
2095	20.67425
2096	19.21181
2097	22.24265
2098	20.58043
2099	19.8738
2100	20.81804

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Ordenamos los datos del modelo ACCESS1-0 de manera creciente del intervalo 1985-2018 (Data histórica):

Tabla 33: Data Histórica en orden creciente del modelo ACCESS1-0, del año 1985-2018 - Escenario RCP4.5.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

ACCESS1-0		
ni	Año	Precipitación (mm)
1	2006	15.94713
2	1990	17.08431
3	2003	17.57246
4	2009	17.64949
5	1996	17.9795
6	2001	18.16878
7	1989	18.48875
8	1991	19.07857
9	2002	19.12748
10	2018	19.24291
11	1992	19.26122
12	1985	19.41831
13	2000	19.45222
14	1997	19.5207
15	1988	19.52274
16	2005	19.67014
17	2007	19.77796

ACCESS1-0		
ni	Año	Precipitación (mm)
18	2014	19.79051
19	2004	19.81676
20	2010	20.34077
21	1987	20.68929
22	1999	21.27872
23	1998	21.58779
24	1994	21.68239
25	1986	21.95799
26	2008	22.05768
27	2015	22.11546
28	2013	22.24352
29	2017	23.38637
30	1995	23.56962
31	2011	23.92789
32	2016	25.05954
33	1993	25.21577
34	2012	32.48448

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Mediana de la precipitación ACCESS1-0, para número par de datos:

$$\tilde{X} = \frac{(X_{(\frac{n}{2})} + X_{(\frac{n}{2}+1)})}{2} \quad (3.30)$$

Entre el año 1985 y 2018 tenemos 34 datos (n), reemplazando tenemos:

$$\tilde{X} = \frac{(X_{(\frac{34}{2})} + X_{(\frac{34}{2}+1)})}{2} = \frac{X_{17} + X_{18}}{2} = 19.7842 \text{ mm} \cong 19.78 \text{ mm}$$

Ordenamos los datos del modelo bcc-csm1-1 de manera creciente del intervalo 2032-2065 (Data Futura):

Tabla 34: Data Futura en orden creciente del modelo bcc-csm1-1, del año 2032-2065 - Escenario RCP4.5.

bcc-csm1-1		
ni	Año	Precipitación (mm)
1	2056	16.61264

bcc-csm1-1		
ni	Año	Precipitación (mm)
2	2050	17.3206

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

bcc-csm1-1		
ni	Año	Precipitación (mm)
3	2043	17.4385
4	2041	17.48913
5	2035	17.58193
6	2049	17.78054
7	2057	18.11208
8	2063	18.2639
9	2046	18.27668
10	2042	18.39638
11	2048	18.42369
12	2047	18.61016
13	2039	18.63824
14	2052	18.72656
15	2034	18.74555
16	2053	18.84662
17	2060	18.89004
18	2037	19.03544

bcc-csm1-1		
ni	Año	Precipitación (mm)
19	2054	19.25314
20	2055	19.53198
21	2044	19.53893
22	2058	19.57459
23	2065	19.58015
24	2038	19.72948
25	2032	19.82523
26	2061	20.22516
27	2051	20.26399
28	2059	20.30255
29	2045	20.48163
30	2062	20.56512
31	2040	21.41743
32	2033	21.4909
33	2064	21.5281
34	2036	21.96226

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Mediana de la precipitación bcc-csm1-1, para número impar de datos, entre el año 2032 y 2065 tenemos 34 datos (n), reemplazando tenemos:

$$\tilde{X} = \frac{(X_{(\frac{34}{2})} + X_{(\frac{34}{2}+1)})}{2} = \frac{X_{17} + X_{18}}{2} = 18.9627 \text{ mm} \cong 18.96 \text{ mm}$$

A partir de ello construimos nuestro cuadro resumen de data histórica por cada modelo:

Tabla 35: Precipitación histórica del año 1985-2018 por cada modelo del Escenario RCP4.5.

Modelos	MOLLEPATA
ACCESS1-0	19.784235
bcc-csm1-1	18.64513
CanESM2	15.626325
CCSM4	13.73527
CMCC-CM	20.398975
CMCC-CMS	17.636535

Modelos	MOLLEPATA
CNRM-CM5	11.303165
CSIRO-Mk3-6-0	17.290965
GFDL-CM3	13.343105
GFDL-ESM2G	15.01326
GFDL-ESM2M	15.06536
HadGEM2-CC	19.47913

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Modelos	MOLLEPATA
HadGEM2-ES	18.71243
inmcm4	10.96984
IPSL-CM5A-LR	12.95159
IPSL-CM5A-MR	13.73944
IPSL-CM5B-LR	15.393255
MIROC5	13.631045

Modelos	MOLLEPATA
MIROC-ESM	11.22263
MIROC-ESM-CHEM	11.22457
MPI-ESM-LR	16.18003
MPI-ESM-MR	16.27557
MRI-CGCM3	18.42525
NorESM1-M	12.939075

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

A partir de ello construimos nuestro cuadro resumen de data futura por cada modelo:

Tabla 36: Precipitación futura del año 2032-2065 por cada modelo del Escenario RCP4.5.

Modelos	MOLLEPATA
ACCESS1-0	19.78454
bcc-csm1-1	18.96274
bcc-csm1-1-m	14.95092
CanESM2	13.79858
CCSM4	21.111445
CMCC-CM	18.22324
CMCC-CMS	11.94688
CNRM-CM5	18.173055
CSIRO-Mk3-6-0	14.18481
GFDL-ESM2G	15.355165
GFDL-ESM2M	15.44115
GISS-E2-R_p1	20.257015
GISS-E2-R_p3	20.65478

Modelos	MOLLEPATA
HadGEM2-CC	11.327645
HadGEM2-ES	14.129855
inmcm4	14.722585
IPSL-CM5A-LR	16.674305
IPSL-CM5B-LR	13.820975
MIROC5	11.23362
MIROC-ESM	11.086385
MIROC-ESM-CHEM	16.22436
MPI-ESM-LR	16.71369
MPI-ESM-MR	20.590795
MRI-CGCM3	13.22656

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

El análisis estimo el factor de “cambio delta” como la relación entre la mediana de las precipitaciones máximas anuales de un día para el periodo de tiempo futuro e histórico.

Cálculo del coeficiente de reducción estadística delta, en base a la ecuación estudiada $\alpha_{jk}^{mul} = \frac{x_{N,j,k}^{Futuro}}{x_{N,j,k}^{Base}}$ (Factor Multiplicativo) (2. 11) en el intervalo de 2032 – 2065 en el escenario RCP4.5:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$\alpha_{jk}^{mul} = X_{N,j,kFuturo} \div X_{N,j,kBase} \text{ (Factor Multiplicativo) (2. 11)}$$

Cálculo del coeficiente de reducción estadística delta, en base a la ecuación estudiada $\alpha_{jk}^{mul} = \frac{X_{N,j,k}^{Futuro}}{X_{N,j,k}^{Base}}$ (Factor Multiplicativo) (2. 11) en el intervalo de 2067 – 2100 en el escenario RCP4.5:

$$\alpha_{jk}^{mul} = X_{N,j,kFuturo} \div X_{N,j,kBase} \text{ (Factor Multiplicativo) (2. 11)}$$

Tabla 37: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2032-2065

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018	Precipitación Futura I 2032-2065	Método de reducción estadística Delta (2032-2065)
ACCESS1-0	19.784235	19.78454	1.0000
bcc-csm1-1	18.64513	18.96274	1.0170
CanESM2	15.626325	14.95092	0.9568
CCSM4	13.73527	13.79858	1.0046
CMCC-CM	20.398975	21.111445	1.0349
CMCC-CMS	17.636535	18.22324	1.0333
CNRM-CM5	11.303165	11.94688	1.0569
CSIRO-Mk3-6-0	17.290965	18.173055	1.0510
GFDL-CM3	13.343105	14.18481	1.0631
GFDL-ESM2G	15.01326	15.355165	1.0228
GFDL-ESM2M	15.06536	15.44115	1.0249
HadGEM2-CC	19.47913	20.257015	1.0399
HadGEM2-ES	18.71243	20.65478	1.1038
inmcm4	10.96984	11.327645	1.0326
IPSL-CM5A-LR	12.95159	14.129855	1.0910
IPSL-CM5A-MR	13.73944	14.722585	1.0716
IPSL-CM5B-LR	15.393255	16.674305	1.0832
MIROC5	13.631045	13.820975	1.0139
MIROC-ESM	11.22263	11.23362	1.0010
MIROC-ESM-CHEM	11.22457	11.086385	0.9877
MPI-ESM-LR	16.18003	16.22436	1.0027
MPI-ESM-MR	16.27557	16.71369	1.0269

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

MRI-CGCM3	18.42525	20.590795	1.1175
NorESM1-M	12.939075	13.22656	1.0222

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Tabla 38: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2067-2100

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018	Precipitación Futura II 2067-2100	Método de reducción estadística Delta (2067- 2100)
ACCESS1-0	19.784235	21.0710	1.0650
bcc-csm1-1	18.64513	20.0822	1.0771
CanESM2	15.626325	14.9145	0.9544
CCSM4	13.73527	13.6108	0.9909
CMCC-CM	20.398975	21.5443	1.0561
CMCC-CMS	17.636535	18.5186	1.0500
CNRM-CM5	11.303165	11.9717	1.0591
CSIRO-Mk3-6-0	17.290965	18.7893	1.0867
GFDL-CM3	13.343105	15.8597	1.1886
GFDL-ESM2G	15.01326	15.7294	1.0477
GFDL-ESM2M	15.06536	15.5892	1.0348
HadGEM2-CC	19.47913	21.1484	1.0857
HadGEM2-ES	18.71243	20.7721	1.1101
inmcm4	10.96984	11.3842	1.0378
IPSL-CM5A-LR	12.95159	14.3461	1.1077
IPSL-CM5A-MR	13.73944	16.6258	1.2101
IPSL-CM5B-LR	15.393255	16.7585	1.0887
MIROC5	13.631045	13.8541	1.0164
MIROC-ESM	11.22263	11.2779	1.0049
MIROC-ESM-CHEM	11.22457	11.1176	0.9905
MPI-ESM-LR	16.18003	16.8203	1.0396
MPI-ESM-MR	16.27557	17.3584	1.0665
MRI-CGCM3	18.42525	22.1180	1.2004
NorESM1-M	12.939075	13.0093	1.0054

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

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

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

Para ello ordenamos la información del Cambio Delta de cada uno de los modelos del escenario RCP 4.5.

Tabla 39: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2032-2065

DELTA AÑOS 2032 -2065		
MODELO	COEFICIENTE	ORDEN
CanESM2	0.95678	1
MIROC-ESM-CHEM	0.98769	2
ACCESS1-0	1.00002	3
MIROC-ESM	1.00098	4
MPI-ESM-LR	1.00274	5
CCSM4	1.00461	6
MIROC5	1.01393	7
bcc-csm1-1	1.01703	8
NorESM1-M	1.02222	9
GFDL-ESM2G	1.02277	10
GFDL-ESM2M	1.02494	11
MPI-ESM-MR	1.02692	12
inmcm4	1.03262	13
CMCC-CMS	1.03327	14
CMCC-CM	1.03493	15
HadGEM2-CC	1.03993	16
CSIRO-Mk3-6-0	1.05101	17
CNRM-CM5	1.05695	18
GFDL-CM3	1.06308	19
IPSL-CM5A-MR	1.07156	20
IPSL-CM5B-LR	1.08322	21
IPSL-CM5A-LR	1.09097	22
HadGEM2-ES	1.10380	23

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

DELTA AÑOS 2032 -2065		
MODELO	COEFICIENTE	ORDEN
MRI-CGCM3	1.11753	24

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Usamos la ecuación $P_x = O_{\frac{n*x}{100}}$ (2. 14)

Hallando el Percentil 10 (P10):

$P_{10} = O_{\frac{24*10}{100}} = O_{2.4} \approx O_3 = 1.00002 \cong 1.00$, dado que el 10% de los datos es menor que 1.00.

Hallando el Percentil 90 (P90):

$P_{90} = O_{\frac{24*90}{100}} = O_{21.6} \approx O_{22} = 1.09097 \cong 1.09$, dado que el 90% de los datos es menor que 1.09.

Y la mediana que vendría a ser Percentil 50 (P50), como estimación central:

Hallando el Percentil 50 (P50):

$P_{50} = O_{\frac{24*50}{100}} = O_{12} = 1.0269 \cong 1.03$, dado que el 50% de los datos es menor que 1.03.

Tabla 40: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2032-2065

	MOLLEPATA
Percentil 10	1.00
Cambio Delta	1.03
Percentil 90	1.09

Fuente: Elaboración propia.

Ordenamos la información del Cambio Delta de cada uno de los modelos del escenario RCP 4.5.

Tabla 41: Cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2067-2100

DELTA AÑOS 2067 -2100		
MODELO	COEFICIENTE	ORDEN
CanESM2	0.954448	1
MIROC-ESM-CHEM	0.990466	2
CCSM4	0.990939	3
MIROC-ESM	1.004924	4
NorESM1-M	1.005427	5
MIROC5	1.016364	6
GFDL-ESM2M	1.034773	7
inmcm4	1.037772	8

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

DELTA AÑOS 2067 -2100		
MODELO	COEFICIENTE	ORDEN
MPI-ESM-LR	1.039570	9
GFDL-ESM2G	1.047701	10
CMCC-CMS	1.050013	11
CMCC-CM	1.056146	12
CNRM-CM5	1.059149	13
ACCESS1-0	1.065041	14
MPI-ESM-MR	1.066533	15
bcc-csm1-1	1.077075	16
HadGEM2-CC	1.085693	17
CSIRO-Mk3-6-0	1.086654	18
IPSL-CM5B-LR	1.088693	19
IPSL-CM5A-LR	1.107672	20
HadGEM2-ES	1.110067	21
GFDL-CM3	1.188604	22
MRI-CGCM3	1.200417	23
IPSL-CM5A-MR	1.210076	24

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Usamos la ecuación $P_x = O_{\frac{n*x}{100}}$ (2. 14)

Hallando el Percentil 10 (P10):

$P_{10} = O_{\frac{24*10}{100}} = O_{2.4} \approx O_3 = 0.990939 \cong 0.99$, dado que el 10% de los datos es menor que 0.99.

Hallando el Percentil 90 (P90):

$P_{90} = O_{\frac{24*90}{100}} = O_{21.6} \approx O_{22} = 1.188604 \cong 1.19$, dado que el 90% de los datos es menor que 1.19.

Y la mediana que vendría a ser Percentil 50 (P50), como estimación central:

Hallando el Percentil 50 (P50):

$P_{50} = O_{\frac{24*50}{100}} = O_{12} = 1.056146 \cong 1.06$, dado que el 50% de los datos es menor que 1.06.

Tabla 42: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP4.5 – Periodo 2067-2100

	MOLLEPATA
Percentil 10	0.99

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

	MOLLEPATA
Cambio Delta	1.06
Percentil 90	1.19

Fuente: Elaboración propia.

c) Escenario RCP 8.5

Tabla 43: Data histórica y futura – Modelo ACCESS1-0 – Escenario RCP8.5

Año	Precipitación (mm)
1861	18.35462
1862	18.61759
1863	21.3967
1864	20.18944
1865	19.62408
1866	17.25111
1867	19.23386
1868	19.2299
1869	19.50725
1870	23.57216
1871	18.21219
1872	20.037
1873	19.35947
1874	20.11004
1875	19.64018
1876	21.17966
1877	21.80752
1878	19.98212
1879	20.9656
1880	18.71373
1881	21.95201
1882	17.35793
1883	17.87661
1884	19.5365
1885	18.17068
1886	17.73951
1887	20.24518

Año	Precipitación (mm)
1888	21.30383
1889	18.22653
1890	21.05256
1891	17.02484
1892	21.62283
1893	17.10879
1894	18.92461
1895	16.11024
1896	18.5972
1897	23.28952
1898	18.0985
1899	18.96223
1900	19.87268
1901	18.51012
1902	18.35428
1903	21.41213
1904	20.4203
1905	19.70795
1906	18.45464
1907	17.332
1908	20.78063
1909	20.49137
1910	20.03651
1911	26.14319
1912	18.74537
1913	19.31152
1914	20.624

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1915	18.38765
1916	18.36532
1917	18.91982
1918	19.54404
1919	18.60772
1920	18.09629
1921	19.41669
1922	19.30714
1923	20.25125
1924	21.30631
1925	18.20355
1926	19.42593
1927	20.30303
1928	17.95515
1929	29.56941
1930	18.69447
1931	21.17135
1932	18.9171
1933	19.06162
1934	19.07504
1935	20.51083
1936	22.57484
1937	19.72361
1938	21.27457
1939	17.33624
1940	18.77936
1941	22.7956
1942	18.66027
1943	23.77312
1944	19.82648
1945	20.43792
1946	19.14194
1947	18.91403
1948	16.07137
1949	19.41127

Año	Precipitación (mm)
1950	18.55683
1951	18.86829
1952	18.22797
1953	18.44411
1954	17.06897
1955	24.57981
1956	21.58628
1957	18.74837
1958	19.32621
1959	23.71673
1960	19.45808
1961	23.79231
1962	19.43985
1963	18.03448
1964	16.82883
1965	19.10988
1966	20.81214
1967	17.10439
1968	22.92068
1969	18.56658
1970	19.39515
1971	18.84709
1972	20.38581
1973	17.10218
1974	20.76831
1975	18.44187
1976	23.64654
1977	16.02461
1978	20.90596
1979	28.52364
1980	23.24972
1981	22.90704
1982	20.25426
1983	20.04195
1984	17.98882

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1985	19.41831
1986	21.95799
1987	20.68929
1988	19.52274
1989	18.48875
1990	17.08431
1991	19.07857
1992	19.26122
1993	25.21577
1994	21.68239
1995	23.56962
1996	17.9795
1997	19.5207
1998	21.58779
1999	21.27872
2000	19.45222
2001	18.16878
2002	19.12748
2003	17.57246
2004	19.81676
2005	19.67014
2006	16.58498
2007	25.4363
2008	20.25371
2009	24.82001
2010	20.13589
2011	17.68034
2012	20.86481
2013	18.74674
2014	20.20954
2015	19.40305
2016	18.53185
2017	24.66286
2018	25.38997
2019	17.91761

Año	Precipitación (mm)
2020	20.18116
2021	18.46717
2022	21.75381
2023	18.51292
2024	18.1099
2025	20.76658
2026	22.36857
2027	19.07245
2028	22.35992
2029	20.99139
2030	19.1396
2031	18.83444
2032	20.65312
2033	20.22093
2034	23.21329
2035	21.57546
2036	20.10161
2037	20.72048
2038	23.34135
2039	19.91037
2040	21.76487
2041	20.86324
2042	24.1043
2043	17.45088
2044	18.70065
2045	22.26596
2046	19.84683
2047	18.05337
2048	19.01584
2049	18.82411
2050	21.05974
2051	20.37549
2052	22.18886
2053	28.2201
2054	19.65561

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
2055	27.11732
2056	23.4979
2057	19.28146
2058	30.59334
2059	17.57623
2060	24.01774
2061	18.74527
2062	23.22682
2063	19.99534
2064	20.67159
2065	31.19359
2066	19.43019
2067	21.65092
2068	19.08238
2069	20.80482
2070	19.52977
2071	20.78514
2072	21.06075
2073	17.72724
2074	20.32712
2075	23.17155
2076	24.1262
2077	24.07391

Año	Precipitación (mm)
2078	28.60094
2079	18.27417
2080	22.16581
2081	21.08315
2082	24.67305
2083	24.73105
2084	20.52745
2085	21.5083
2086	20.96072
2087	21.53443
2088	21.80521
2089	22.02857
2090	23.94792
2091	19.88751
2092	21.95024
2093	20.02815
2094	20.96594
2095	21.15314
2096	19.2471
2097	33.11672
2098	19.56344
2099	24.41337
2100	21.29268

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Tabla 44: Data histórica y futura – Modelo bcc-csm1-1 – Escenario RCP8.5

Año	Precipitación (mm)
1861	14.0524
1862	18.43887
1863	17.43531
1864	18.83992
1865	19.6877
1866	15.59157
1867	16.98549

Año	Precipitación (mm)
1868	17.45623
1869	17.09372
1870	18.42867
1871	21.59785
1872	17.42572
1873	19.25901
1874	19.59542

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1875	17.09257
1876	17.91486
1877	21.56334
1878	18.67092
1879	21.16726
1880	17.82747
1881	17.90286
1882	19.73379
1883	18.31639
1884	16.78717
1885	17.33428
1886	18.52639
1887	17.51772
1888	17.31572
1889	18.37131
1890	21.13592
1891	18.64856
1892	16.73454
1893	17.83554
1894	20.30179
1895	17.96661
1896	18.96618
1897	17.94607
1898	18.63218
1899	16.17213
1900	18.71498
1901	16.0241
1902	17.85134
1903	18.22779
1904	18.9688
1905	21.66147
1906	15.81373
1907	18.36395
1908	18.44365
1909	19.20625

Año	Precipitación (mm)
1910	18.53622
1911	20.10744
1912	18.09599
1913	18.32011
1914	19.8314
1915	18.43695
1916	18.6114
1917	20.16236
1918	21.72695
1919	17.71517
1920	20.20532
1921	18.67139
1922	18.86232
1923	20.93164
1924	18.79456
1925	18.95513
1926	16.55551
1927	18.66312
1928	20.66185
1929	17.00632
1930	15.78219
1931	18.98395
1932	17.72922
1933	17.24211
1934	16.88943
1935	21.12891
1936	16.71933
1937	21.07191
1938	15.97206
1939	17.33617
1940	19.29694
1941	18.92657
1942	20.57573
1943	16.41195
1944	17.85364

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
1945	17.2081
1946	20.90407
1947	18.22027
1948	19.97055
1949	20.20498
1950	17.3629
1951	18.91319
1952	16.59584
1953	20.57671
1954	17.18761
1955	18.25591
1956	18.02113
1957	16.44186
1958	21.08858
1959	17.05784
1960	18.39173
1961	19.1743
1962	18.1806
1963	18.97048
1964	16.40595
1965	18.59659
1966	17.37873
1967	18.36085
1968	18.25386
1969	16.10858
1970	18.02067
1971	17.37966
1972	19.32812
1973	17.15341
1974	18.79701
1975	17.41032
1976	16.62141
1977	21.10562
1978	17.2759
1979	18.36511

Año	Precipitación (mm)
1980	17.45511
1981	19.2668
1982	19.21756
1983	19.33185
1984	18.65633
1985	17.45974
1986	17.78742
1987	17.27703
1988	18.24775
1989	17.87495
1990	17.75238
1991	18.729
1992	18.42519
1993	17.15265
1994	20.84888
1995	17.62798
1996	18.66
1997	18.04129
1998	18.63026
1999	20.94624
2000	20.26011
2001	16.40359
2002	20.36386
2003	18.33273
2004	21.17942
2005	19.18479
2006	18.23199
2007	19.56783
2008	17.53099
2009	21.27658
2010	18.41879
2011	22.02649
2012	18.3938
2013	19.63119
2014	18.48344

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
2015	17.0036
2016	19.36267
2017	18.58381
2018	20.6181
2019	18.76341
2020	19.01383
2021	20.24759
2022	19.7222
2023	20.46135
2024	16.43348
2025	16.52416
2026	20.07662
2027	17.73866
2028	20.61981
2029	18.85188
2030	19.22595
2031	19.59106
2032	16.67268
2033	19.86742
2034	19.35667
2035	18.6003
2036	16.81349
2037	18.96323
2038	20.71457
2039	19.02387
2040	22.01274
2041	19.79206
2042	20.90498
2043	18.27956
2044	21.00621
2045	17.63752
2046	18.44932
2047	19.11175
2048	20.45546
2049	17.89343

Año	Precipitación (mm)
2050	20.81068
2051	21.32563
2052	17.61883
2053	21.2482
2054	22.22464
2055	17.13505
2056	18.1097
2057	21.67214
2058	18.71002
2059	21.95513
2060	24.44316
2061	19.72963
2062	21.67796
2063	21.98979
2064	20.12067
2065	20.47192
2066	16.8388
2067	19.55367
2068	19.32253
2069	20.53011
2070	18.97316
2071	20.18872
2072	20.80462
2073	19.04767
2074	19.78146
2075	22.31865
2076	24.06139
2077	22.17963
2078	20.66878
2079	23.10293
2080	19.1482
2081	19.00332
2082	20.10712
2083	18.96234
2084	19.1246

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Año	Precipitación (mm)
2085	20.63961
2086	23.9912
2087	21.09207
2088	21.18019
2089	19.07807
2090	19.46686
2091	23.8426
2092	21.10462

Año	Precipitación (mm)
2093	21.39697
2094	20.18296
2095	20.08697
2096	18.95663
2097	20.48764
2098	20.29125
2099	25.31147
2100	18.73051

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Ordenamos los datos del modelo ACCESS1-0 de manera creciente del intervalo 1985-2018 (Data histórica):

Tabla 45: Data Histórica en orden creciente del modelo ACCESS1-0, del año 1985-2018 - Escenario RCP8.5.

ACCESS1-0		
ni	Año	Precipitación (mm)
1	2006	16.58498
2	1990	17.08431
3	2003	17.57246
4	2011	17.68034
5	1996	17.9795
6	2001	18.16878
7	1989	18.48875
8	2016	18.53185
9	2013	18.74674
10	1991	19.07857
11	2002	19.12748
12	1992	19.26122
13	2015	19.40305
14	1985	19.41831
15	2000	19.45222
16	1997	19.5207
17	1988	19.52274

ACCESS1-0		
ni	Año	Precipitación (mm)
18	2005	19.67014
19	2004	19.81676
20	2010	20.13589
21	2014	20.20954
22	2008	20.25371
23	1987	20.68929
24	2012	20.86481
25	1999	21.27872
26	1998	21.58779
27	1994	21.68239
28	1986	21.95799
29	1995	23.56962
30	2017	24.66286
31	2009	24.82001
32	1993	25.21577
33	2018	25.38997
34	2007	25.4363

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Mediana de la precipitación ACCESS1-0, para número par de datos, usamos la ecuación:

Entre el año 1985 y 2018 tenemos 34 datos (n), reemplazando tenemos:

$$\tilde{X} = \frac{(X_{(\frac{34}{2})} + X_{(\frac{34}{2}+1)})}{2} = \frac{X_{17} + X_{18}}{2} = 19.59644 \text{ mm} \cong 19.59 \text{ mm}$$

Ordenamos los datos del modelo bcc-csm1-1 de manera creciente del intervalo 2032-2065 (Data Futura):

Tabla 46: Data Futura en orden creciente del modelo bcc-csm1-1, del año 2032-2065 - Escenario RCP8.5.

bcc-csm1-1			bcc-csm1-1		
ni	Año	Precipitación (mm)	ni	Año	Precipitación (mm)
1	2032	16.67268	18	2033	19.86742
2	2036	16.81349	19	2064	20.12067
3	2055	17.13505	20	2048	20.45546
4	2052	17.61883	21	2065	20.47192
5	2045	17.63752	22	2038	20.71457
6	2049	17.89343	23	2050	20.81068
7	2056	18.1097	24	2042	20.90498
8	2043	18.27956	25	2044	21.00621
9	2046	18.44932	26	2053	21.2482
10	2035	18.6003	27	2051	21.32563
11	2058	18.71002	28	2057	21.67214
12	2037	18.96323	29	2062	21.67796
13	2039	19.02387	30	2059	21.95513
14	2047	19.11175	31	2063	21.98979
15	2034	19.35667	32	2040	22.01274
16	2061	19.72963	33	2054	22.22464
17	2041	19.79206	34	2060	24.44316

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Mediana de la precipitación bcc-csm1-1, para número par de datos, entre el año 2025 y 2065 tenemos 34 datos (n), reemplazando tenemos:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$\tilde{X} = \frac{(X_{\left(\frac{34}{2}\right)} + X_{\left(\frac{34}{2}+1\right)})}{2} = \frac{X_{17} + X_{18}}{2} = 19.82974 \text{ mm} \cong 19.83 \text{ mm}$$

A partir de ello construimos nuestro cuadro resumen de data histórica por cada modelo:

Tabla 47: Precipitación histórica del año 1985-2018 por cada modelo del Escenario RCP8.5.

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018
ACCESS1-0	19.59644
bcc-csm1-1	18.454315
CanESM2	15.684045
CCSM4	13.55881
CMCC-CM	20.40661
CMCC-CMS	17.44677
CNRM-CM5	11.089785
CSIRO-Mk3-6-0	17.265895
GFDL-CM3	13.343105
GFDL-ESM2G	15.40544
GFDL-ESM2M	15.13206
HadGEM2-CC	19.5444

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018
HadGEM2-ES	18.86284
inmcm4	10.858325
IPSL-CM5A-LR	12.86348
IPSL-CM5A-MR	13.73944
IPSL-CM5B-LR	15.50102
MIROC5	13.852845
MIROC-ESM	11.22263
MIROC-ESM-CHEM	11.30454
MPI-ESM-LR	16.147365
MPI-ESM-MR	17.00355
MRI-CGCM3	18.42525
NorESM1-M	12.871455

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

A partir de ello construimos nuestro cuadro resumen de data futura por cada modelo:

Tabla 48: Precipitación histórica del año 2032-2065 por cada modelo del Escenario RCP8.5.

Modelos	Precipitación Futura I 2032-2065
ACCESS1-0	20.696035
bcc-csm1-1	19.82974
CanESM2	14.861075
CCSM4	13.825665
CMCC-CM	21.713075

Modelos	Precipitación Futura I 2032-2065
CMCC-CMS	18.701915
CNRM-CM5	11.954165
CSIRO-Mk3-6-0	18.68435
GFDL-CM3	14.18481

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Modelos	Precipitación Futura I 2032-2065
GFDL-ESM2G	15.597825
GFDL-ESM2M	15.35129
HadGEM2-CC	20.80891
HadGEM2-ES	21.06952
inmcm4	11.443285
IPSL-CM5A-LR	14.272945
IPSL-CM5A-MR	14.722585
IPSL-CM5B-LR	15.890265

Modelos	Precipitación Futura I 2032-2065
MIROC5	14.227755
MIROC-ESM	11.23362
MIROC-ESM-CHEM	11.173135
MPI-ESM-LR	16.50835
MPI-ESM-MR	18.512045
MRI-CGCM3	20.590795
NorESM1-M	13.061075

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

El análisis estimo el factor de “cambio delta” como la relación entre la mediana de las precipitaciones máximas anuales de un día para el periodo de tiempo futuro e histórico.

Cálculo del coeficiente de reducción estadística delta, en base a la ecuación estudiada $\alpha_{jk}^{mul} = \frac{X_{N,j,k}^{Futuro}}{X_{N,j,k}^{Base}}$ (Factor Multiplicativo) (2. 11) en el intervalo de 2032 – 2065 en el escenario RCP8.5:

$$\alpha_{jk}^{mul} = \frac{X_{N,j,k}^{Futuro}}{X_{N,j,k}^{Base}} \text{ (Factor Multiplicativo) (2. 11)}$$

Cálculo del coeficiente de reducción estadística delta, en base a la ecuación estudiada $\alpha_{jk}^{mul} = \frac{X_{N,j,k}^{Futuro}}{X_{N,j,k}^{Base}}$ (Factor Multiplicativo) (2. 11) en el intervalo de 2067 – 2100 en el escenario RCP8.5:

$$\alpha_{jk}^{mul} = \frac{X_{N,j,k}^{Futuro}}{X_{N,j,k}^{Base}} \text{ (Factor Multiplicativo) (2. 11)}$$

Tabla 49: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2032-2065

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018	Precipitación Futura I 2032-2065	Método de reducción estadística Delta (2032-2065)
ACCESS1-0	19.59644	20.696035	1.0561
bcc-csm1-1	18.454315	19.82974	1.0745

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018	Precipitación Futura I 2032-2065	Método de reducción estadística Delta (2032- 2065)
CanESM2	15.684045	14.861075	0.9475
CCSM4	13.55881	13.825665	1.0197
CMCC-CM	20.40661	21.713075	1.0640
CMCC-CMS	17.44677	18.701915	1.0719
CNRM-CM5	11.089785	11.954165	1.0779
CSIRO-Mk3-6-0	17.265895	18.68435	1.0822
GFDL-CM3	13.343105	14.18481	1.0631
GFDL-ESM2G	15.40544	15.597825	1.0125
GFDL-ESM2M	15.13206	15.35129	1.0145
HadGEM2-CC	19.5444	20.80891	1.0647
HadGEM2-ES	18.86284	21.06952	1.1170
inmcm4	10.858325	11.443285	1.0539
IPSL-CM5A-LR	12.86348	14.272945	1.1096
IPSL-CM5A-MR	13.73944	14.722585	1.0716
IPSL-CM5B-LR	15.50102	15.890265	1.0251
MIROC5	13.852845	14.227755	1.0271
MIROC-ESM	11.22263	11.23362	1.0010
MIROC-ESM-CHEM	11.30454	11.173135	0.9884
MPI-ESM-LR	16.147365	16.50835	1.0224
MPI-ESM-MR	17.00355	18.512045	1.0887
MRI-CGCM3	18.42525	20.590795	1.1175
NorESM1-M	12.871455	13.061075	1.0147

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Tabla 50: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2067-2100

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018	Precipitación Futura II 2067-2100	Método de reducción estadística Delta (2067- 2100)
ACCESS1-0	19.59644	21.2229	1.0830
bcc-csm1-1	18.454315	20.2913	1.0995
CanESM2	15.684045	13.5483	0.8638
CCSM4	13.55881	14.1402	1.0429

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Modelos	Precipitación Histórica 1985-2018	Precipitación Futura II 2067-2100	Método de reducción estadística Delta (2067- 2100)
CMCC-CM	20.40661	22.7177	1.1133
CMCC-CMS	17.44677	19.6983	1.1290
CNRM-CM5	11.089785	12.2659	1.1060
CSIRO-Mk3-6-0	17.265895	19.6670	1.1391
GFDL-CM3	13.343105	15.8597	1.1886
GFDL-ESM2G	15.40544	16.6461	1.0805
GFDL-ESM2M	15.13206	16.6539	1.1006
HadGEM2-CC	19.5444	21.4364	1.0968
HadGEM2-ES	18.86284	22.2907	1.1817
inmcm4	10.858325	11.7164	1.0790
IPSL-CM5A-LR	12.86348	15.1365	1.1767
IPSL-CM5A-MR	13.73944	16.6258	1.2101
IPSL-CM5B-LR	15.50102	16.2916	1.0510
MIROC5	13.852845	14.2895	1.0315
MIROC-ESM	11.22263	11.2779	1.0049
MIROC-ESM-CHEM	11.30454	11.2623	0.9963
MPI-ESM-LR	16.147365	17.8966	1.1083
MPI-ESM-MR	17.00355	19.7127	1.1593
MRI-CGCM3	18.42525	22.1180	1.2004
NorESM1-M	12.871455	13.1098	1.0185

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Ordenamos la información del Cambio Delta de cada uno de los modelos del escenario RCP 8.5.

Tabla 51: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2032-2065

DELTA AÑOS 2032 -2065		
MODELO	COEFICIENTE	ORDEN
CanESM2	0.94753	1
MIROC-ESM-CHEM	0.98838	2
MIROC-ESM	1.00098	3

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

DELTA AÑOS 2032 -2065		
MODELO	COEFICIENTE	ORDEN
GFDL-ESM2G	1.01249	4
GFDL-ESM2M	1.01449	5
NorESM1-M	1.01473	6
CCSM4	1.01968	7
MPI-ESM-LR	1.02236	8
IPSL-CM5B-LR	1.02511	9
MIROC5	1.02706	10
inmcm4	1.05387	11
ACCESS1-0	1.05611	12
GFDL-CM3	1.06308	13
CMCC-CM	1.06402	14
HadGEM2-CC	1.06470	15
IPSL-CM5A-MR	1.07156	16
CMCC-CMS	1.07194	17
bcc-csm1-1	1.07453	18
CNRM-CM5	1.07794	19
CSIRO-Mk3-6-0	1.08215	20
MPI-ESM-MR	1.08872	21
IPSL-CM5A-LR	1.10957	22
HadGEM2-ES	1.11699	23
MRI-CGCM3	1.11753	24

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Usamos la ecuación $P_x = O_{\frac{n*x}{100}}$ (2. 14)

Hallando el Percentil 10 (P10):

$P_{10} = O_{\frac{24*10}{100}} = O_{2.4} \approx O_3 = 1.00098 \cong 1.001$, dado que el 10% de los datos es menor que 1.001.

Hallando el Percentil 90 (P90):

$P_{90} = O_{\frac{24*90}{100}} = O_{21.6} \approx O_{22} = 1.10957 \cong 1.11$, dado que el 90% de los datos es menor que 1.11.

Y la mediana que vendría a ser Percentil 50 (P50), como estimación central:

Hallando el Percentil 50 (P50):

$P_{50} = O_{\frac{24*50}{100}} = O_{12} = 1.05611 \cong 1.06$, dado que el 50% de los datos es menor que 1.06.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Tabla 52: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2025-2065

	MOLLEPATA
Percentil 10	1.001
Cambio Delta	1.06
Percentil 90	1.11

Fuente: Elaboración propia.

Ordenamos la información del Cambio Delta de cada uno de los modelos del escenario RCP 8.5.

Tabla 53: Cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2067-2100

DELTA AÑOS 2067 -2100		
MODELO	COEFICIENTE	ORDEN
CanESM2	0.86383	1
MIROC-ESM-CHEM	0.99626	2
MIROC-ESM	1.00492	3
NorESM1-M	1.01852	4
MIROC5	1.03152	5
CCSM4	1.04288	6
IPSL-CM5B-LR	1.05100	7
inmcm4	1.07903	8
GFDL-ESM2G	1.08054	9
ACCESS1-0	1.08300	10
HadGEM2-CC	1.09680	11
bcc-csm1-1	1.09954	12
GFDL-ESM2M	1.10057	13
CNRM-CM5	1.10605	14
MPI-ESM-LR	1.10833	15
CMCC-CM	1.11325	16
CMCC-CMS	1.12905	17
CSIRO-Mk3-6-0	1.13907	18
MPI-ESM-MR	1.15933	19
IPSL-CM5A-LR	1.17670	20
HadGEM2-ES	1.18173	21
GFDL-CM3	1.18860	22
MRI-CGCM3	1.20042	23
IPSL-CM5A-MR	1.21008	24

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Usamos la ecuación $P_x = O_{\frac{n*x}{100}}$ (2. 14)

Hallando el Percentil 10 (P10):

$P_{10} = O_{\frac{24*10}{100}} = O_{2.4} \approx O_3 = 1.00492 \cong 1.01$, dado que el 10% de los datos es menor que 1.01.

Hallando el Percentil 90 (P90):

$P_{90} = O_{\frac{24*90}{100}} = O_{21.6} \approx O_{22} = 1.18860 \cong 1.19$, dado que el 90% de los datos es menor que 1.19.

Y la mediana que vendría a ser Percentil 50 (P50), como estimación central:

Hallando el Percentil 50 (P50):

$P_{50} = O_{\frac{24*50}{100}} = O_{12} = 1.09954 \cong 1.09$, dado que el 50% de los datos es menor que 1.09.

Tabla 54: Estimaciones bajas, medias y altas del cambio Delta – Escenario RCP8.5 – Periodo 2060-2100

	MOLLEPATA
Percentil 10	1.01
Cambio Delta	1.09
Percentil 90	1.19

Fuente: Elaboración propia.

2.4.Diseño del Drenaje Vial

2.4.1. Drenaje Longitudinal

a) Cunetas

Se ha optado por una sección triangular constante para todo el tramo, el cual tiene una altura de 0.45 metros (mayor que el mínimo recomendado) y a la vez un ancho de 0.80 metros, el cual resulta del talud 1:1.5; y las pendientes exteriores de una cuneta será de 1:0.5 haciendo un ancho total de 0.90 metros.

Según el manual, la capacidad del lomo se calcula en sección completa, sin embargo, se ha considerado un borde libre de 5 centímetros.

El objetivo será determinar el ancho del impluvium característico el sector.

Tabla 55: Coeficientes de escorrentía método racional

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

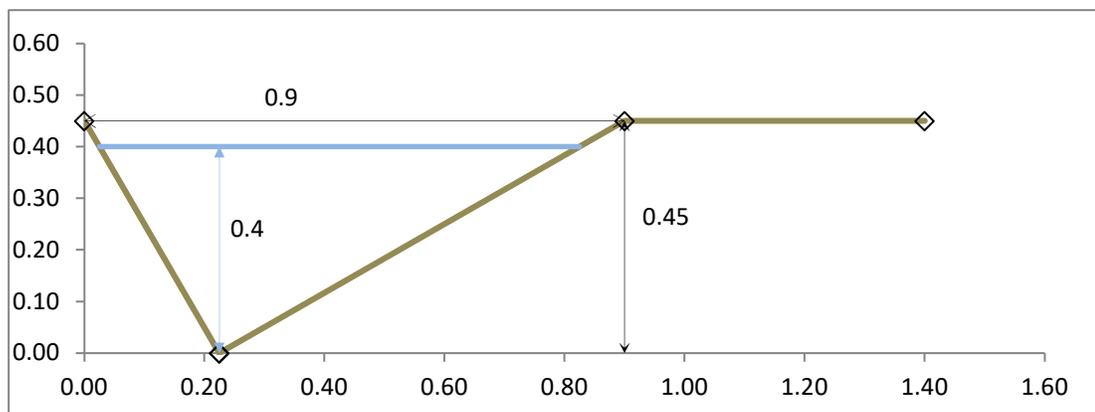
Fuente: (Manual del MTC, 2011, pág. 50)

Tabla 56: Datos de entrada considerados para el diseño

b=	0.00	Base triangular
z₁ =	0.5	Talud externo
z₂ =	1.50	Talud interno
h (m) =	0.40	Tirante para pendiente mínima.
n =	0.025	Coefficiente de Manning
C =	0.50	Coefficiente de escorrentía
I (mm/hr) =	23.13	Intensidad para un periodo de retorno de 30 años
BL =	0.05	Borde Libre

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico de la cuneta



Fuente: Elaboración propia.

Área Hidráulica (m²)

Área de un triángulo, a partir de un área trapezoidal con base menor igual a 0, de manera general tenemos:

$$\text{base menor} = b = 0$$

Como $z1 = \frac{\Delta H}{\Delta V} \rightarrow \Delta H = z1 \times \Delta V$, entonces:

$$\text{base mayor} = z1 \times \Delta V + z2 \times \Delta V = \Delta V \times (z1 + z2) = h \times (z1 + z2)$$

Área de un trapecio:

$$A_H = h \times \left(\frac{\text{base}_{mayor} + \text{base}_{menor}}{2} \right) \quad (3.31)$$

Entonces, el Área hidráulica queda definida:

$$A_H = h \times \left(\frac{h \times (z1 + z2) + b}{2} \right) \quad (3.32)$$

$$A_H = 0.4 \times \left(\frac{0.4 \times (0.5 + 1.5)}{2} \right) = 0.16 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado (m)

Por el teorema de Pitágoras:

$$\text{hipotenusa}^2 = (h \times z1)^2 + h^2 \quad (3.33)$$

$$\text{hipotenusa}^2 = h^2 \times z1^2 + h^2 = h^2 \times (1 + z1^2)$$

$$\text{hipotenusa} = \sqrt{h^2 \times (1 + z1^2)} = h \times (\sqrt{1 + z1^2})$$

sumando todas las longitudes mojadas:

$$P_m = h \times (\sqrt{1 + z1^2}) + b + h \times (\sqrt{1 + z2^2}) \quad (3.34)$$

Por lo tanto:

$$P_m = b + h \times (\sqrt{1 + z1^2} + \sqrt{1 + z2^2})$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$P_m = 0 + 0.4 \times (\sqrt{1 + 0.5^2} + \sqrt{1 + 1.5^2}) = 1.17 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (m)

$$R_h = \frac{\text{Área Hidráulica}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{A_H}{P_m} \quad (3.35)$$

$$R_h = \frac{0.16}{1.17} = 0.14 \text{ m}$$

Para una pendiente de 0.5%

Caudal Hidráulico Q_{HD} (m³/s)

Para el diseño hidráulico de las cunetas utilizaremos el principio del flujo en canales abiertos, usando la ecuación de Manning:

$$Q_{HD} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (3.36)$$

Reemplazando tenemos:

$$Q_{HD} = \frac{0.16 \times 0.14^{2/3} \times 0.005^{1/2}}{0.025} = 0.12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Velocidad media en la cuneta o Velocidad máxima permisible $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_{HD}}{A_H} = \frac{0.12}{0.16} = 0.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Longitud de la cuneta (m)

Para un ancho de impluvium de 20m.

$$Q_{Hidrol\acute{o}gico} = 2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times A_{Tributaria} \quad (3.37)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$Q_{Hidráulico} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

Igualando, tenemos:

$$2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times A_{Tributaria} = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

$$2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times (B \times L) = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

Despejando:

$$L = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times B \times n} \quad (3.38)$$

Reemplazando:

$$L = \frac{0.16 \times 0.14^{2/3} \times 0.005^{1/2}}{2.78 \times 10^{-7} \times 0.50 \times 23.13 \times 20 \times 0.025} = 1870 \text{ m}$$

Ahora analizaremos para diferentes anchos de impluvium y pendientes, calculados igual que lo mostrado anteriormente, ver:

Tabla 57: Ancho de Impluvium (20m-110m) y pendientes

Ancho de Impluvium	S	0.001	0.002	0.0025	0.005	0.0075	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
20	L	836	1183	1322	1870	2290	2644	3239	3740	4181	4580	4947	5289	5610	5913	6477	6996	7480	7933
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
30	L	557	788	881	1247	1527	1763	2159	2493	2787	3054	3298	3526	3740	3942	4318	4664	4986	5289
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
40	L	418	591	661	935	1145	1322	1619	1870	2091	2290	2474	2644	2805	2957	3239	3498	3740	3967
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
50	L	334	473	529	748	916	1058	1295	1496	1672	1832	1979	2116	2244	2365	2591	2799	2992	3173
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
60	L	279	394	441	623	763	881	1080	1247	1394	1527	1649	1763	1870	1971	2159	2332	2493	2644
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
70	L	239	338	378	534	654	756	925	1069	1195	1309	1414	1511	1603	1689	1851	1999	2137	2267
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Ancho de Impluvium	S	0.001	0.002	0.0025	0.005	0.0075	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
80	L	209	296	331	467	573	661	810	935	1045	1145	1237	1322	1402	1478	1619	1749	1870	1983
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
90	L	186	263	294	416	509	588	720	831	929	1018	1099	1175	1247	1314	1439	1555	1662	1763
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
100	L	167	237	264	374	458	529	648	748	836	916	989	1058	1122	1183	1295	1399	1496	1587
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
110	L	152	215	240	340	416	481	589	680	760	833	900	962	1020	1075	1178	1272	1360	1442
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
V(max)	m/s	0.34	0.48	0.53	0.75	0.92	1.06	1.30	1.50	1.68	1.84	1.99	2.13	2.25	2.38	2.60	2.81	3.01	3.19

Fuente: Elaboración propia en base a los cálculos hidráulicos.

Tabla 58: Ancho de Impluvium (130m – 220m) y pendientes

Ancho de Impluvium	S	0.001	0.002	0.0025	0.005	0.0075	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
130	L	129	182	203	288	352	407	498	575	643	705	761	814	863	910	997	1076	1151	1221
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
140	L	119	169	189	267	327	378	463	534	597	654	707	756	801	845	925	999	1069	1133
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
150	L	111	158	176	249	305	353	432	499	557	611	660	705	748	788	864	933	997	1058
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
160	L	105	148	165	234	286	331	405	467	523	573	618	661	701	739	810	875	935	992
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
170	L	98	139	156	220	269	311	381	440	492	539	582	622	660	696	762	823	880	933
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
180	L	93	131	147	208	254	294	360	416	465	509	550	588	623	657	720	777	831	881
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
190	L	88	124	139	197	241	278	341	394	440	482	521	557	590	622	682	736	787	835
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
200	L	84	263	294	187	229	264	324	374	418	458	495	529	561	591	648	700	748	793
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
210	L	80	113	126	178	218	252	308	356	398	436	471	504	534	563	617	666	712	756
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
220	L	76	108	120	170	208	240	294	340	380	416	450	481	510	538	589	636	680	721

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Ancho de Impluvium	S	0.001	0.002	0.0025	0.005	0.0075	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
	Q	0.05	0.08	0.09	0.12	0.15	0.17	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.36	0.38	0.42	0.45	0.48	0.51
V(max)	m/s	0.34	0.48	0.53	0.75	0.92	1.06	1.30	1.50	1.68	1.84	1.99	2.13	2.25	2.38	2.60	2.81	3.01	3.19

Fuente: Elaboración propia en base a los cálculos hidráulicos.

En el cálculo del dimensionamiento se pueden ver las velocidades alcanzadas para las diversas pendientes longitudinales.

b) Canales

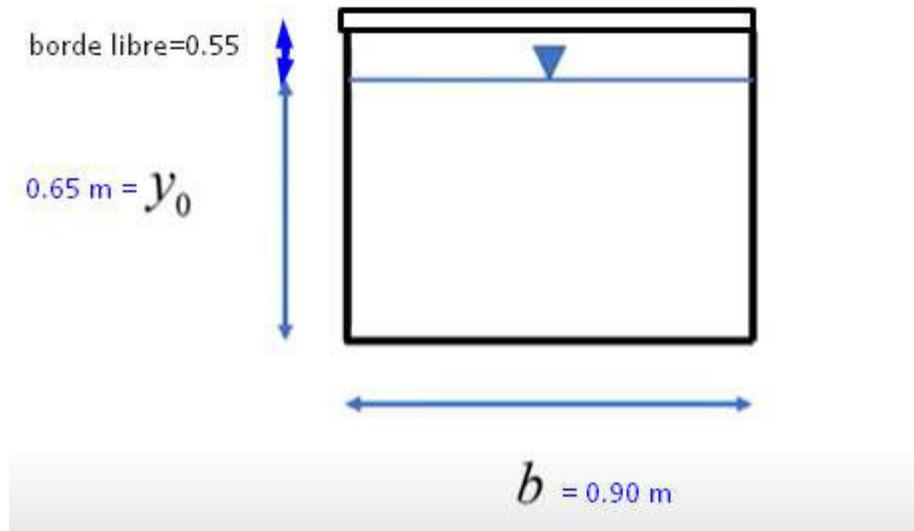
Cerca del inicio del tramo en el km 59+591.00 al km 59+740.00 se tienen un canal rectangular de concreto existente en el lado derecho de la vía.

Para dar continuidad al funcionamiento del canal, se reemplazará esta con un canal de concreto armado que llevará una tapa.

Área Hidráulica (m²)

Se está proponiendo un canal rectangular de 0.90 m de base y 1.20 de altura.

Ilustración 16: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico del canal



Fuente: Elaboración propia.

La U.S. BUREAU OF RECLAMATION recomendó el uso de la siguiente fórmula para determinar la ventaja libre:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$bl = \sqrt{C \times Y} \quad (3.39)$$

donde: Borde libre: en pies.

C = 1.5 para los pequeños caudales a 20 pies³ / seg., y hasta 2.5 para canales con una tasa de flujo máxima de 3000 pies/seg.

Y = Considere el canal con los pies.

El Área hidráulica queda definida:

De la ecuación $bl = \sqrt{C \times Y}$ (3.39):

$$bl = \sqrt{1.5 \times 0.3048 \times 0.65} = 0.55$$

Si cumple, dado que tendríamos como altura 0.65 m y 0.55 m de borde libre, si se suma:

$$0.65 + 0.55 = 1.20 \text{ m de altura total}$$

$$A_H = h \times \left(\frac{h \times (z_1 + z_2) + b}{2} \right) \quad (3.40)$$

$$A_H = 0.65 \times \left(\frac{0.65 \times (0 + 0) + 0.90}{2} \right) = 0.29 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado (m)

$$P_m = b + h \times (\sqrt{1 + z_1^2} + \sqrt{1 + z_2^2}) \quad (3.41)$$

$$P_m = 0.90 + 0.65 \times (\sqrt{1 + 0^2} + \sqrt{1 + 0^2}) = 2.20 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (m)

$$R_h = \frac{\text{Área Hidráulica}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{A_H}{P_m} \quad (3.42)$$

$$R_h = \frac{0.29}{2.20} = 0.13 \text{ m}$$

Para una pendiente de 0.5%

Caudal Hidráulico Q_{HD} (m³/s)

Para diseñar el canal hidráulicamente, emplearemos la ecuación de Manning:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$Q_{HD} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (3.43)$$

Reemplazando tenemos:

$$Q_{HD} = \frac{0.29 \times 0.13^{2/3} \times 0.01^{1/2}}{0.013} = 0.57 \frac{m^3}{s}$$

Velocidad media en el canal o Velocidad máxima permisible $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_{HD}}{A_H} = \frac{0.57}{0.29} = 1.96 \frac{m}{s}$$

Longitud del canal (m)

Para un ancho de impluvium de 170m.

Los canales están diseñados con un flujo hidrológico igual al flujo hidroeléctrico para limpiar la longitud del canal L:

$$Q_{Hidrol\acute{o}gico} = 2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times A_{Tributaria} \quad (3.44)$$

$$Q_{Hidr\acute{a}ulico} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

Igualando, tenemos:

$$2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times A_{Tributaria} = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

$$2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times (B \times L) = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

Despejando:

$$L = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{2.78 \times 10^{-7} \times C \times I \times B \times n} \quad (3.45)$$

Reemplazando:

$$L = \frac{0.29 \times 0.13^{2/3} \times 0.005^{1/2}}{2.78 \times 10^{-7} \times 0.50 \times 23.13 \times 170 \times 0.013} = 740 \text{ m}$$

2.4.2. Drenaje Transversal

a) Badenes

Se proyecta un baden para la progresiva 62+096.42

La cual se extiende desde la progresiva 62+086.42 – 62+106.42, teniendo así 20 m.

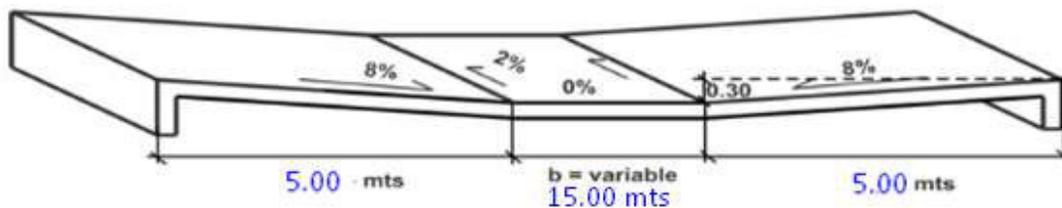
De acuerdo con el análisis de riesgo y vida útil, los badenes se han verificado y diseñado con un caudal de TR=71 años.

Los diseños de los badenes logran tirantes cercanos a 0.10 metros. El borde libre de los badenes está en el rango de 0.35 a 0.45 metros.

Área Hidráulica (m²)

Se está proponiendo un baden trapezoidal de 15 m de base con 2 cuerpos de 5 metros de longitud.

Ilustración 17: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico del baden



Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Si } S = 0.08, z = \frac{1}{0.08} = 12.50$$

$$A_H = (b + z \times h) \times h \quad (3.46)$$

$$A_H = (15 + 12.50 \times 0.10) \times 0.10 = 1.78 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado (m)

$$P_m = b + h \times (\sqrt{1 + z^2} + \sqrt{1 + z^2}) \quad (3.47)$$

$$P_m = 15 + 0.10 \times (\sqrt{1 + 12.50^2} + \sqrt{1 + 12.50^2}) = 17.51 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (m)

$$R_h = \frac{\text{Área Hidráulica}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{A_H}{P_m} \quad (3.48)$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$R_h = \frac{1.78}{17.51} = 0.102 \text{ m}$$

La pendiente de 0.2%

Caudal Hidráulico Q_{HD} (m³/s)

Utilizaremos el principio del flujo en canales abiertos para diseñar la hidráulica de baden, utilizando la ecuación de Manning:

$$Q_{HD} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (3.49)$$

Para $n=0.013$ material de concreto.

Reemplazando tenemos:

$$Q_{HD} = \frac{1.78 \times 0.102^{2/3} \times 0.02^{1/2}}{0.013} = 4.23 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Velocidad media en el baden o Velocidad máxima permisible $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_{HD}}{A_H} = \frac{4.23}{1.78} = 2.38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El baden es aportado por la subcuenca C2-09 la cual tiene un caudal hidrológico con cambio climático de 3.32 m³/s

Evaluaremos para un baden de mampostería $n=0.025$.

Reemplazando tenemos:

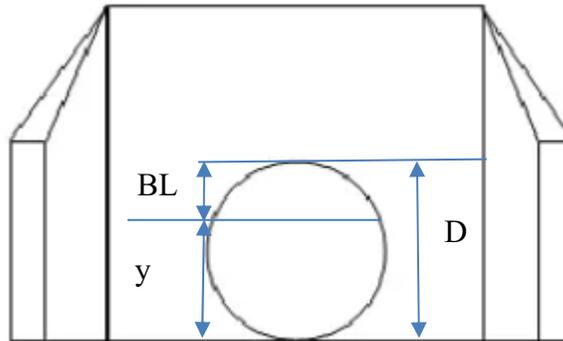
$$Q_{HD} = \frac{1.78 \times 0.102^{2/3} \times 0.02^{1/2}}{0.025} = 2.20 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Velocidad media en el baden o Velocidad máxima permisible $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_{HD}}{A_H} = \frac{2.20}{1.78} = 1.24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Alcantarillas

Ilustración 18: Diseño geométrico para el cálculo hidráulico de las aguas residuales



Fuente: (Guzman Arias D. A., 2012, pág. 55)

Para una TMC de 36'' = 0.90m (Diámetro comercial)

Borde Libre (m):

$$BL = 0.25 \times D = 0.25 \times 0.90 = 0.23 \text{ m}$$

Tirante (m)

Entonces el tirante será:

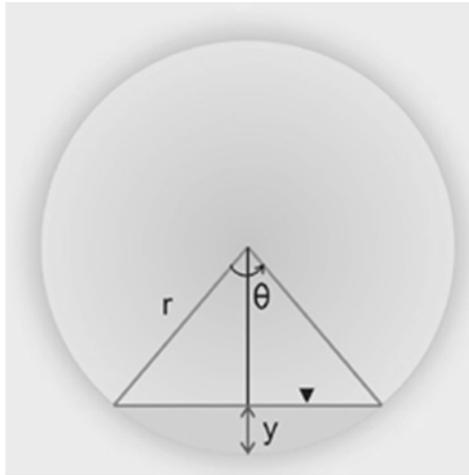
$$y = D - BL = 0.90 - 0.23 = 0.67 \text{ m}$$

Área Hidráulica (m²)

Determinando la sección circular:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Ilustración 19: Determinación sector areal para una alcantarilla TMC.



Fuente: Elaboración propia.

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0.90}{2} = 0.45 \text{ m}$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left[1 - \left(\frac{y}{r} \right) \right] = 2 \cos^{-1} \left[1 - \left(\frac{0.67}{0.45} \right) \right] = 238.54^\circ = 238.54^\circ \times \frac{1\pi}{180^\circ} = 1.325\pi$$

Entonces,

$$A_H = 0.5r^2(\theta - \text{sen}\theta) \quad (3. 50)$$

$$A_H = 0.5 \times 0.45^2 \times (1.325\pi - \text{sen}(238.54^\circ)) = 0.51 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado (m)

$$P_m = r\theta \quad (3. 51)$$

$$P_m = 0.45 \times 1.325\pi = 1.87 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (m)

$$R_h = \frac{\text{Área Hidráulica}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{A_H}{P_m} \quad (3. 52)$$

$$R_h = \frac{0.51}{1.87} = 0.27 \text{ m}$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

La pendiente de 2.0%

Caudal Hidráulico Q_{HD} (m³/s)

Utilizaremos la ecuación de Manning para diseñar los pozos hidráulicamente:

$$Q_{HD} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (3.53)$$

Para $n=0.024$ material de TMC.

Reemplazando tenemos:

$$Q_{HD} = \frac{0.51 \times 0.27^{2/3} \times 0.02^{1/2}}{0.024} = 1.26 \frac{m^3}{s}$$

Velocidad media en la alcantarilla o Velocidad máxima permisible $V_{m\acute{a}x}$ (m/s)

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_{HD}}{A_H} = \frac{1.26}{0.51} = 2.47 \frac{m}{s}$$

Con lo cual el diseño cumple para las Cuencas C2-01, C2-02, C2-06, C2-10 y C2-11, dado que el caudal hidrológico con cambio climático es menor al Caudal del diseño hidráulico que es 1.26 m³/s.

Es necesario ajustar las dimensiones de la estructura, colocando alcantarillas de mayor diámetro de 48'' o 60'' si fuese necesario.

2.5.Subdrenaje Vial

2.5.1. Caudal de diseño

a) Calculando caudal por infiltración directa

Los valores de B, F_i y F_r dependen de las características del pavimento y se mantienen constantes a lo largo de este tramo y son:

$IR = 0.00127738$ cm/s (Intensidad de Curvas IDF de la estación según el estudio de Hidrología para TR=30 años y $t_c=30$ min)

$B = 300$ cm (Radio de acción: 4.5m mitad del ancho de la plataforma + 1.5m de cuneta)

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$L = 10000 \text{ cm}$ (Longitud mayor entre descargas de sub-drenes)

$F_i = 0.50$ (Factor de infiltración)

$F_r = 0.33$ (Factor de retención de la base granular)

Reemplazando valores en la ecuación $Q_i = I_R \times B \times L \times F_i \times F_r$ (2. 21) del Marco teórico el ítem 1.10.1, se obtiene:

$$Q_i = 0.001080278 \times 300 \times 10000 \times 0.50 \times 0.33 = 534.74 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

b) Calculando el caudal sub - superficial

Se tiene:

$K = 1.0\text{E}-03 \text{ cm/s}$ (Valor de permeabilidad más desfavorable - Datos geotécnicos)

$\Delta h = 1.00 \text{ m}$ (Profundidad del subdren, altura del subdren bajo la cuneta)

$x=B= 3.00 \text{ m}$ (5.00m = 4.50m mitad del ancho de la plataforma + 1.50m de cuneta)

$i = 0.33$ (Gradiente hidráulico)

$L = 100.00 \text{ m}$ (Considerando subdren longitudinal de mayor longitud)

$A = \Delta h \times L = 100.00 \text{ m}^2$

$A = 1000000.00 \text{ cm}^2$

Reemplazando valores en la ecuación $Q_s = K \times i \times A$ (2. 22) del Marco teórico el ítem 1.10.1, se obtiene:

$$Q_{si} = 0.001 \times 0.33 \times 1000000 = 333.33 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

Dado que este sistema de drenaje afectará al nivel freático a ambos lados de la sección analizada, se considera el doble del caudal obtenido por la ley de Darcy.

Entonces:

$$Q_{si} = 666.67 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

c) Aporte de filtraciones puntuales

$$Q_h = 0.250 \frac{l}{s} = 0.00025 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_h = 250 \frac{cm^3}{s}$$

Reemplazando valores en la ecuación $Q_d = Q_i + Q_s + Q_h$ (2. 20) del Marco teórico el ítem 1.10.1, se obtiene:

$$Q_d = 534.74 + 666.67 + 250.00 = 1541.40 \frac{cm^3}{s} = 0.0015 \frac{m^3}{s} = 1.45 \frac{l}{s}$$

2.5.2. Dimensionado de la sección del Subdren

Debe cumplirse que la capacidad de la sección sea mayor al caudal de diseño.

Ancho= 0.60 m (mínimo)

Alto= 1.00 m

Área= 0.60 m²

Qd= 1451.40 cm³/s

$$Q_f = V \times A \quad (3. 54)$$

$$Q_f = 0.312 \times 0.60 = 1872 \frac{cm^3}{s}$$

Las velocidades obtenidas de la Ilustración 4 del Marco Teórico.

Para una Pendiente de 1% (min) tenemos:

Tabla 59: Velocidades vs Diámetros, para pendiente 1%

	Dm 12mm	Dm 19mm	Dm 25mm	Dm 50mm
V (cm/s)	0.126	0.312	0.562	0.750
Q (cm ³ /s)	756	1872	3372	4500
	No	ok!	ok!	ok!

Fuente: Elaboración propia en base cálculos realizados.

Para una Pendiente de 5% tenemos:

Tabla 60: Velocidades vs Diámetros, para pendiente 5%

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

	Dm 12mm	Dm 19mm	Dm 25mm	Dm 50mm
V (cm/s)	0.630	1.560	2.810	3.750
Q (cm ³ /s)	3780	9360	16860	22500

ok! ok! ok! ok!

Fuente: Elaboración propia en base cálculos realizados.

2.5.3. Diseño de la tubería colectora

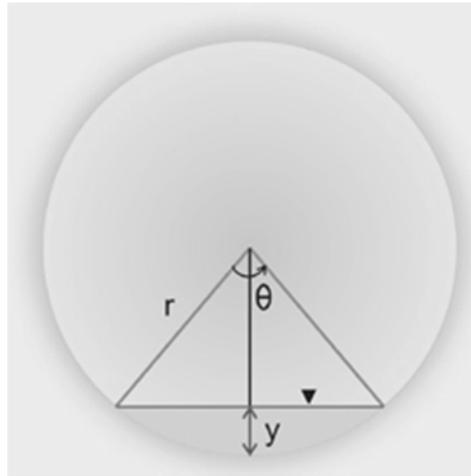
Utilizaremos la ecuación de Manning para diseñar la hidráulica de la tubería de recogida:

$$Q_{HD} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (3.55)$$

Área Hidráulica (m²)

Determinando la sección circular:

Ilustración 20: Determinación sector areal para una tubería colectora



Fuente: Elaboración propia.

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0.10}{2} = 0.05 \text{ m}$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \left[1 - \left(\frac{y}{r} \right) \right] = 2 \cos^{-1} \left[1 - \left(\frac{0.0358}{0.05} \right) \right] = 147.00^\circ = 147.00^\circ \times \frac{1\pi}{180^\circ} = 0.817\pi$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Entonces,

$$A_H = 0.5r^2(\theta - \text{sen}\theta)$$

$$A_H = 0.5 \times 0.05^2 \times (0.817\pi - \text{sen}(147.00^\circ)) = 0.00253 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado (m)

$$P_m = r\theta$$
$$P_m = 0.05 \times 0.817\pi = 0.1283 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (m)

$$R_h = \frac{\text{Área Hidráulica}}{\text{Perímetro mojado}} = \frac{A_H}{P_m}$$
$$R_h = \frac{0.00253}{0.1283} = 0.0197 \text{ m}$$

La pendiente de 1.0%

Caudal Hidráulico Q_{HD} (m³/s)

De la ecuación $Q_{HD} = A_H \times V = \frac{A_H \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$ (3. 43), consideramos lo siguiente:

Para $n=0.01$ material de HDPE

Reemplazando tenemos:

$$Q_{HD} = \frac{0.00253 \times 0.0197^{2/3} \times 0.01^{1/2}}{0.01} = 0.00185 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Velocidad media en la tubería colectora o Velocidad máxima permisible $V_{\text{máx}}$ (m/s)

$$V_{\text{máx}} = \frac{Q_{HD}}{A_H} = \frac{0.00185}{0.00253} = 0.73 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Hidrología

Se eliminó 2 datos dudosos, por lo cual se trabajó con 32 datos históricos.

3.1.1. Resultado de caudales del estudio hidrológico

Tabla 61: Resumen de caudales – Método Racional y Método Racional Modificado

Código Cuenca	Área (km ²)	Pendiente (m/m)	Tipo de pend.	Cultivos	Caudal máximo (m ³ /s)				
				C	71 años	100 años	140 años	175 años	500 años
C2-01	0.085	0.777	PRONUNCIADA	0.564	0.53	0.56	0.59	0.62	0.73
C2-02	0.114	0.816	PRONUNCIADA	0.566	0.72	0.77	0.81	0.84	1.01
C2-03	0.199	0.784	PRONUNCIADA	0.564	1.20	1.27	1.35	1.40	1.67
C2-04	0.265	0.582	PRONUNCIADA	0.551	1.23	1.30	1.37	1.43	1.70
C2-05	0.502	0.588	PRONUNCIADA	0.551	2.21	2.34	2.48	2.58	3.08
C2-06	0.023	0.696	PRONUNCIADA	0.559	0.14	0.15	0.16	0.16	0.20
C2-07	0.164	0.589	PRONUNCIADA	0.551	0.90	0.96	1.01	1.05	1.26
C2-08	0.246	0.608	PRONUNCIADA	0.553	1.17	1.24	1.31	1.36	1.63
C2-09	0.453	0.573	PRONUNCIADA	0.550	2.09	2.21	2.34	2.43	2.91
C2-10	0.006	0.919	PRONUNCIADA	0.571	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
C2-11	0.014	0.768	PRONUNCIADA	0.563	0.09	0.09	0.10	0.10	0.12
C2-12	0.383	0.534	PRONUNCIADA	0.547	1.56	1.65	1.75	1.82	2.17
C2-13	1.123	0.366	ALTA	0.531	3.69	3.91	4.14	4.30	5.13
C2-14	45.32	0.102	PRONUNCIADA	0.209-0.253	34.56		48.39		

Fuente: Elaboración propia.

Los caudales representan adecuadamente las precipitaciones en el tramo estudiado.

3.2. Cambio climático

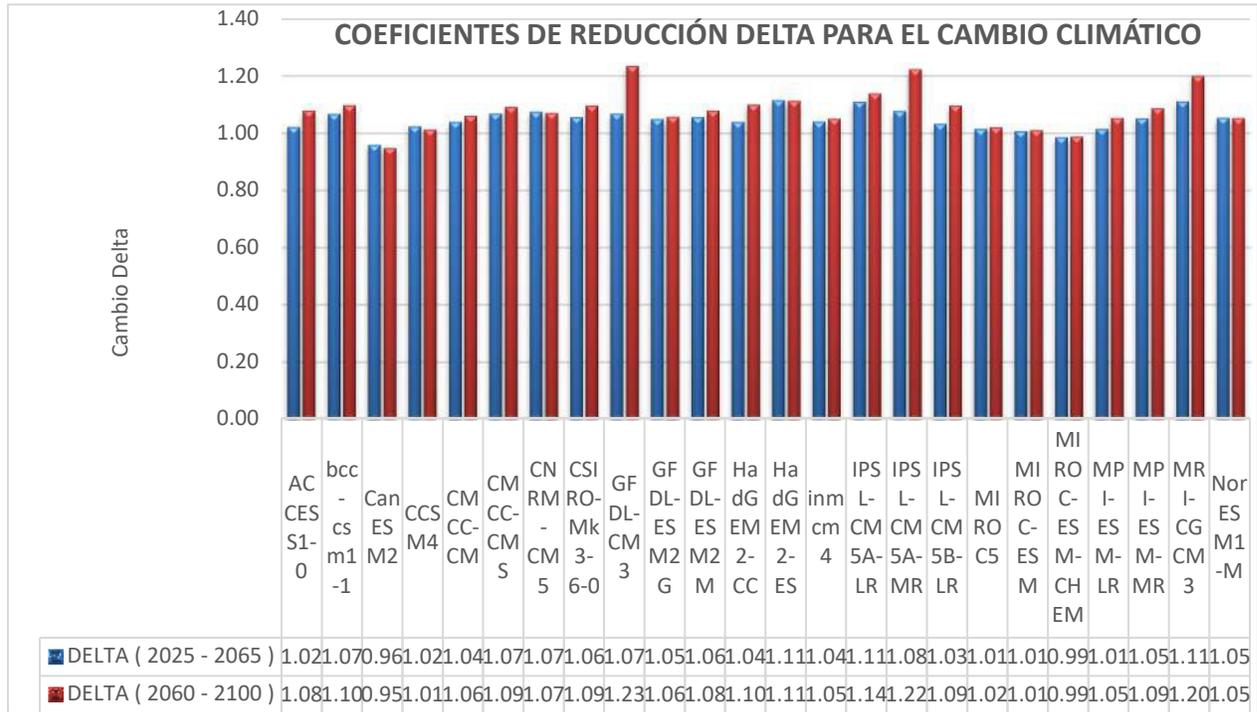
3.2.1. Resultado de Caudales con cambio climático

La precipitación extrema de la cuenca para un periodo entre los años 2032 - 2065 tiene una variación de 3% para un escenario RCP 4.5 y de 6% para un escenario RCP 8.5.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Entre los años 2067 – 2100 la cuenca tiene una variación en la precipitación de 6% para un escenario RCP 4.5 y de 10% para un escenario RCP 8.5.

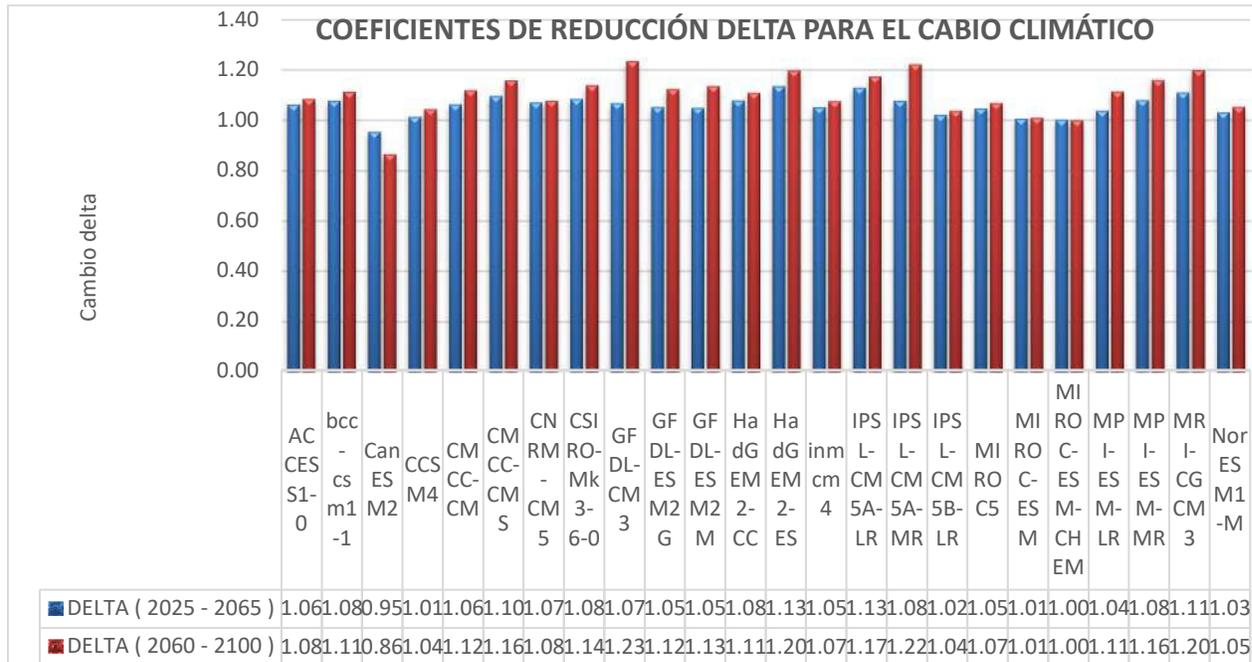
Ilustración 21: Variación de Cambio delta para el escenario RCP 4.5



Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO.

Ilustración 22: Variación de Cambio delta para el escenario RCP 8.5

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022



Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos de WMO

Considerando el cambio climático, ajustamos los valores de caudal con el producto del cambio delta para el periodo entre los años 2032 -2065, siempre que siga estando dentro de su vida útil (40 años) para las estructuras proyectadas, para el escenario en que tenemos mayor variación que es el RCP 8.5.

*Tabla 62: Caudales con Cambio Climático – Escenario RCP8.5
Periodo 2032-2065*

Código Cuenca	Área (km ²)	Pendiente (m/m)	Tipo de pend.	Cultivos	Caudal máximo (m3/s)				
				C	71 años	100 años	140 años	175 años	500 años
C2-01	0.085	0.777	PRONUNCIADA	0.564	0.84	0.89	0.95	0.98	1.17
C2-02	0.114	0.816	PRONUNCIADA	0.566	1.11	1.18	1.25	1.30	1.55
C2-03	0.199	0.784	PRONUNCIADA	0.564	1.93	2.05	2.17	2.25	2.69
C2-04	0.265	0.582	PRONUNCIADA	0.551	1.93	2.04	2.16	2.24	2.68
C2-05	0.502	0.588	PRONUNCIADA	0.551	3.53	3.74	3.96	4.11	4.91
C2-06	0.023	0.696	PRONUNCIADA	0.559	0.28	0.29	0.31	0.32	0.38
C2-07	0.164	0.589	PRONUNCIADA	0.551	1.41	1.49	1.58	1.64	1.96
C2-08	0.246	0.608	PRONUNCIADA	0.553	1.91	2.02	2.14	2.22	2.65
C2-09	0.453	0.573	PRONUNCIADA	0.55	3.32	3.52	3.73	3.87	4.62
C2-10	0.006	0.919	PRONUNCIADA	0.571	0.18	0.19	0.20	0.21	0.25
C2-11	0.014	0.768	PRONUNCIADA	0.563	0.15	0.16	0.17	0.18	0.21

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Código Cuenca	Área (km ²)	Pendiente (m/m)	Tipo de pend.	Cultivos	Caudal máximo (m ³ /s)				
				C	71 años	100 años	140 años	175 años	500 años
C2-12	0.383	0.534	PRONUNCIADA	0.547	2.47	2.62	2.78	2.88	3.44
C2-13	1.123	0.366	ALTA	0.531	36.60		51.28		

Fuente: Elaboración propia.

Los caudales afectados por el cambio climático son los esperados a la proyección de las precipitaciones con los cambios de temperaturas y gases de efecto invernadero, que se estima que provocará un aumento de la temperatura global de entre 3,4 y 5,5 grados centígrados en el año 2100 en comparación con la temperatura media mundial de 1980 a 1999.

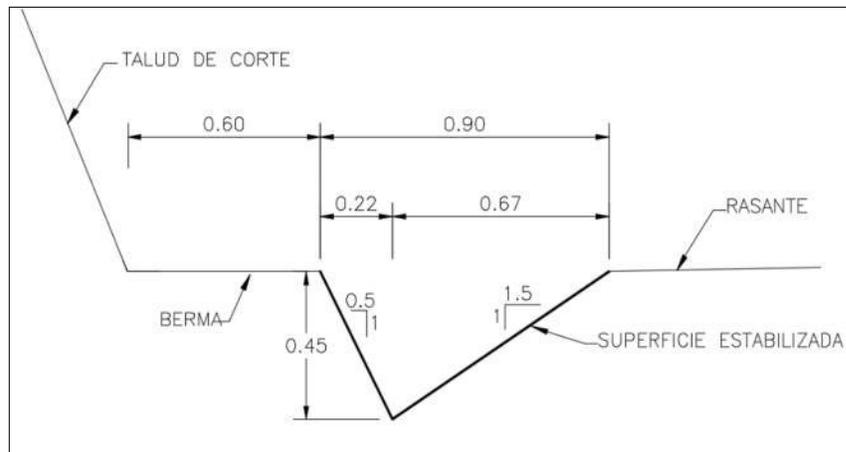
3.3. Drenaje Vial

3.3.1. Drenaje longitudinal

a) Cuneta

La cuneta propuesta es de sección triangular. Se muestra a continuación.

Ilustración 23: Detalle de cuneta propuesta para el Tramo.



Fuente: Elaboración propia con la herramienta Civil 3D.

La capacidad máxima de la cuneta (considerando el borde libre) para el ancho de impluvium adoptado y con la pendiente de 0.0075 m/m La longitud crítica resultante promedio para la cuneta propuesta es de 269.00 metros. Por ello las alcantarillas de alivio de cunetas se proponen –según las condiciones de áreas de impluvium- entre 200 a 300 metros.

b) Canales

La sección del canal a proyectar será de 0.90 m de base y 1.20 m de altura que es la actual sección existente.

Se proyecta el canal por sus dimensiones y debido a la ubicación en que se encuentra (un tramo muy estrecho de la vía).

El tramo proyectado será el siguiente desde el km 59+591.00 al km 60+331.00, extendiéndose así la longitud calculada del canal.

3.3.2. Drenaje Transversal

a) Baden

Como el caudal hidrológico con cambio climático de la cuenca C02-09:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

$$Q_{Hidrológico} = 3.32 \frac{m^3}{s}$$

Para el baden trapezoidal de concreto tenemos:

$$Q_{Hidráulico} = 4.23 \frac{m^3}{s}$$

Por lo tanto, se acepta el badén trapezoidal de concreto, dado que:

$$Q_{Hidráulico} > Q_{Hidrológico}$$

Observamos que el baden de concreto cumple, sin embargo, para un baden trapezoidal de mampostería no, dado que el caudal de diseño sería inferior al hidrológico. De lo contrario, habría que ajustar las dimensiones de la estructura.

b) Alcantarillas

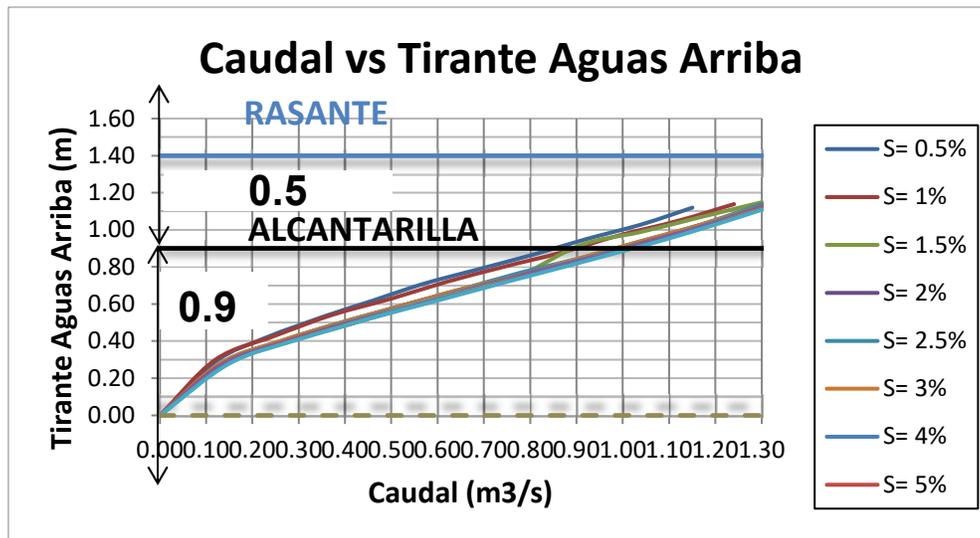
De acuerdo con el análisis de riesgo y vida útil, las alcantarillas de quebrada han sido verificadas y/o diseñadas con un caudal de TR= 71 años.

Se construyó un ábaco de valores con diferentes pendientes y así verificar el caudal hidráulico de diseño.

Para TMC de 36''

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE ANCASH – 2022

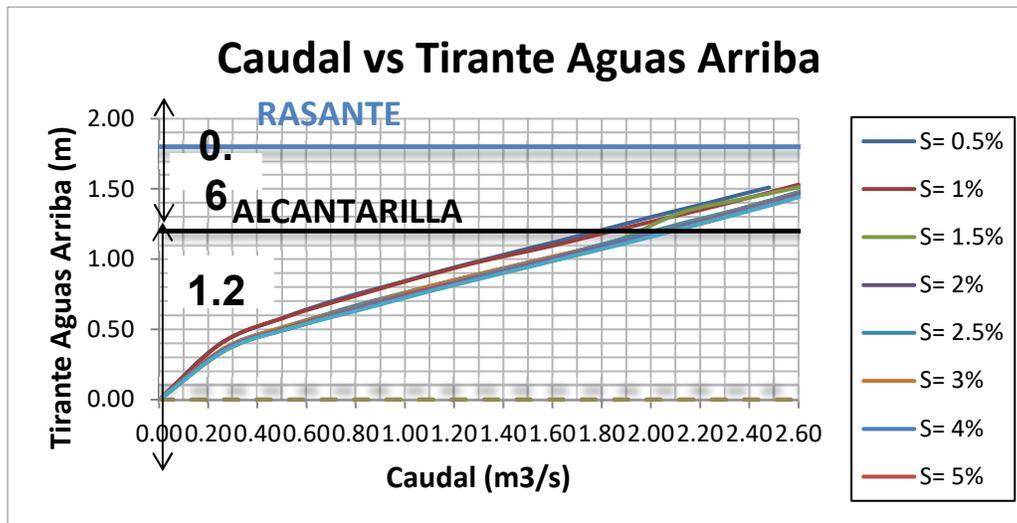
Ilustración 24: Gráfico comparativo para una TMC de 36''



Fuente: Elaboración propia en base a los cálculos hidráulicos realizados en el ítem 2.4.2 b)Alcantarillas.

Para TMC de 48'':

Ilustración 25: Gráfico comparativo para una TMC de 48''



Fuente: Elaboración propia en base a los cálculos hidráulicos realizados 2.4.2 b)Alcantarillas.

La nueva sección a proyectar se analizó procurando tener las condiciones hidráulicas recomendadas en el Manual del MTC. El dimensionamiento de la sección transversal a reemplazar logra conducir el caudal de diseño por el 75% de la altura del ducto aproximadamente.

Se proyecto 2 alcantarillas de 36 ‘’, 1 de 48’’ y 1 de 60’’de HDPE:

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

Tabla 63: Características alcantarillas a proyectarse

Identificación	Progresiva	Ubicación Eje		Cota de entrada	Cota de salida	Pendiente (S)	Longitud (m)	Diámetro (m)	Cuenca	Caudal cuenca Tr 71 (m ³ /s)
		Este	Norte							
ALC-1	59+270.00	184311.42	9095231.96	3459.54	3459.44	2%	4.86	0.9	C2-02	1.11
ALC-2	59+810.00	184767	9095264	3505.31	3505.18	2%	6.48	1.2	C2-04	1.93
ALC-3	60+354.90	185229.49	9095364.49	3534.74	3534.59	3%	4.86	0.9	C2-06	0.28
ALC-4	62+460.00	186433.59	9095108.16	3701	3700.86	2%	6.48	1.5	C2-12	2.47

Fuente: Elaboración propia.

3.4.Subdrenaje vial

Obtenemos un Caudal de diseño de 1.45 l/s, el cual hace posible que el material drenante se pueda usar de diferentes diámetros, considerando un diámetro mínimo de Dm= 19 mm.

Según los resultados obtenidos se utilizará para la tubería colectora, una tubería HDPE de 4''

La sección del subdren será de 0.60 m de base y 1.20 m de altura. El filtro de grava de Dm 19 mm (3/4").

CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se pudo determinar la cuenca principal, con sus 14 subcuencas que aportan en el tramo de la vía estudiada en la monografía.
- Se pudo determinar los caudales de avenidas máximas a partir de los métodos racional y racional modificado, asimismo se determinó la variación de los caudales considerando el efecto del cambio climático en la vida útil de las estructuras proyectadas, teniendo así un cambio delta de 1.06 para un máximo RCP 8.5, En la investigación, incrementaron los caudales para el tiempo útil de las estructuras y el tiempo de retorno correspondiente.
- Se pudieron determinar los parámetros necesarios para dimensionar las cunetas, canales, badenes y alcantarillas, aplicando los criterios hidráulicos estudiados en la ingeniería mecánica de fluidos que nos permitan dirigir y evacuar las aguas a lo largo del tramo.
- Se determinó la proyección del subdren, con una tubería colectora de HDPE de 4'' con las secciones calculadas para el subdren y también poder realizar un adecuado filtro de grava.
- Se evaluó el drenaje y subdrenaje vial con los cálculos hidráulicos estudiados, a partir del estudio hidrológico considerando el incremento del cambio climático, obteniendo así las dimensiones hidráulicas aceptables para el tramo Pampas – Consuzo del departamento de Ancash.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda comprar información hidrológica procesada de los caudales máximos mensuales.
- Se recomienda actualizar la información con las visitas de campo para un adecuado reconocimiento y obtención de datos más reales con el fin de comparar la información obtenida de bases de datos u otros documentos.
- Se recomienda realizar mantenimientos de cunetas y alcantarillas por lo menos dos veces al año antes y después del periodo de lluvia.

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

- Se recomienda colocar obras de protección como emboquillados a la entrada y salida de las alcantarillas y descarga de cunetas, si descargan sobre terreno natural, a fin de evitar la erosión y a consecuencia el colapso de la estructura.

CAPITULO 6 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(s.f.).

Adam Mikail, A. (2020). *Design of Roadside Drainage*.

Anandhi, A., & Frei, A. (2011). *Examen de las metodologías de los factores de cambio para la evaluación del impacto del cambio climático*. WaterResources Research. Obtenido de <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010WR009104>

Ancash Al Día. (2018). *Pallasca: Pobladores de Consuzo piden apoyo de maquinarias para rehabilitar carretera*. Obtenido de <https://ancashaldia.com/pallasca-pobladores-de-consuzo-piden-apoyo-de-maquinarias-para-rehabilitar-carretera/>

Ancash al día. (2018). Portal Noticias. *Pobladores de Consuzo piden apoyo para rehabilitar carretera*.

Guevara, E., & Cartaya, H. (1991). *Hidrología*.

Guzman Arias, D. (2012). conceptos básicos para el diseñador geométrico. *univ. Pontificia Bolivariana*. Obtenido de <https://www.studocu.com/co/document/universidad-pontificia-bolivariana/hidrologia/drenaje-vial-conceptos-basicos-para-el-disenador-geometrico-v2/6875596>

Guzman Arias, D. A. (2012). *Drenaje Vial, Coneptos basicos para el diseño Geométrico*. Santander, Colombia. Obtenido de https://www.academia.edu/18075165/CARTILLA_DRENAJE_VIAL_CONCEPTOS_BASICOS_EN_GEOMETRIA_VIAL

Manual del MTC. (2011). Manual de Hidrología , Hidráulica y Drenaje. Obtenido de <https://www.ici.edu.pe/brochure/normas/Manual-de-Hidrología-Hidráulica-y-Drenaje-ICI-Ingsoft.pdf>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-07-11%20Hidrología,%20Hidráulica%20y%20Drenaje.pdf

Neciosup Reluz, A. (2016). *Diseño hidrológico e hidráulico del sistema de drenaje del camino acceso principal tramo II desvío Moquegua-Papujune*. Moquegua.

O'Gorman, P. A. (2015). Precipitaciones extremas bajo el cambio climático. *SpringerLing*.

Orozco Rivadeneira, M. M. (2007). *Sistema de subdrenaje en obras de estabilizacion*. Colombia. Obtenido de <https://vdocuments.site/subdrenaje-obras-estabilizacin-1-sistemas-de-subdrenaje-en-obras-de-estabilizacin.html?page=1>

Orozco, M. (2007). Subdrenaje en obras de estabilización. *ECI Bogotá*.

Ramos Del Castillo, R., & Casamayor Moreno, K. (2016). *Evaluación de las alternativas de sistema de drenaje*. Ancash. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3152>

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL DRENAJE Y SUBDRENAJE
VIAL CONSIDERANDO EL INCREMENTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA
SOSTENIBILIDAD DEL TRAMO PAMPAS - CONSUZO EN EL DEPARTAMENTO DE
ANCASH – 2022**

- Revista Ancash Al Día. (2018). Pallasca: Pobladores de Consuzo piden apoyo. Obtenido de <https://ancashaldia.com/pallasca-pobladores-de-consuzo-piden-apoyo-de-maquinarias-para-rehabilitar-carretera/>
- Rocha Felices, A. (s.f.). *Hidraulica de tuberías y canales*. Obtenido de https://www.academia.edu/6949390/Hidraulica_de_tuberias_y_canales_Arturo_Rocha_Felices
- Romero Vanegas, A. J., Ronchaquira Sabogal, Y., & Gomez Pachon, L. F. (2017). *Propuesta de diseño de un sistema de drenaje vial para el tramo de carretera terciaria San Joaquin Colombia*. Cundinamarca.
- Suarez, Jaime. (2021). *Obras de drenaje y Subdrenaje*. Obtenido de https://www.academia.edu/es/26441391/Cap%C3%ADtulo_2_Obras_de_Drenaje_y_Subdrenaje
- V. Chow. (1983). *Hidráulica de canales abiertos*.
- V. Chow. (1994). *Hidrología Aplicada*. (M. G. Hill, Ed.) Bogotá: Primera Edición (español).
- WMO. (2022). *World Meteorological Organization*. Obtenido de Climate Data Catalogue: <https://climatedata-catalogue.wmo.int/explore>