



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño de un
puente vehicular sobre el Río Moyoc – Cangallo –
Ayacucho, 2020**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Eric Alberto ESPINOZA ACOSTA

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

Espinoza, E. (2022). *Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño de un puente vehicular sobre el Río Moyoc – Cangallo – Ayacucho, 2020*. [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	Eric Alberto Espinoza Acosta
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72023161
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-2646-9304
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	
Número de documento de identidad	
URL de ORCID	
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08566064
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07418845
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	BEATRIZ LUISA SALVADOR GUTIÉRREZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10054063
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	
Número de documento de identidad	

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: Ayacucho Provincia: Cangallo Distrito: Cangallo Latitud: -13°31'53" Longitud: 74°04'06"
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 12:18 horas del sábado 22 de octubre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Dr. Ing. EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA y con la asistencia de los miembros Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE y la Mg. Ing. BEATRIZ LUISA SALVADOR GUTIÉRREZ, 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:

ERIC ALBERTO ESPINOZA ACOSTA

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller ERIC ALBERTO ESPINOZA ACOSTA, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada "ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOCC – CANGALLO – AYACUCHO, 2020".


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:

DIECISEIS (16)

El Presidente del Jurado Dr. Ing. EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller ERIC ALBERTO ESPINOZA ACOSTA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 13:06 horas, del mismo día, se levantó la sesión.


Dr. Ing. EUSEBIO MELCHOR VEGA BUEZA PRESIDENTE DEL JURADO


Ing. MIGUEL ERNESTO ARÁMBULO MANRIQUE MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por SALVADOR
GUTIERREZ Beatriz Luisa FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08.11.2022 12:02:58 -05:00

Mg. Ing. BEATRIZ LUISA SALVADOR GUTIÉRREZ
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 11.11.2022 15:13:47 -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/89184033310?pwd=WE9meHFXTjNoRDFUY3FYM3JCV0lhZz09>

ID de reunión: 891 8403 3310

Código de acceso: 667876

Grabación archivada en el siguiente enlace:

<https://drive.google.com/file/d/18vCCbzt5SmuBOj-Vfgc8RUyt6cdL9xCL/view?usp=sharing>

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOCC – CANGALLO – AYACUCHO, 2020"
7. Autor del documento (2)
ERIC ALBERTO ESPINOZA ACOSTA
8. Fecha de recepción del documento 3/10/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 6/10/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
10%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 14 /11 /22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15.11.2022 22:36:56 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Otro (especificar) Monografía Técnica Modalidad de Titulación M-3 Suficiencia Profesional
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

Dedicatoria

A mi querida madre que está en el cielo.

A mi adorado padre, Alberto Espinoza y a Lourdes
Flores, por su amor incondicional y motivación para
salir adelante cada día.

AGRADECIMIENTO

iii

Agradezco profundamente a todos los maestros de la E.P de Ingeniería Mecánica de Fluidos por su calidad de enseñanza y valores éticos recibidos.

Agradezco a mis compañeros del trabajo, sobre todo al Ing. Luis Chinchay por brindarme el apoyo técnico con sus valiosas aportaciones que hicieron posible la realización de la presente monografía técnica.

INDICE

RESUMEN	7
CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES	8
1.1. Introducción	8
1.2. Importancia del Tema	8
1.3. Identificación del Problema	9
1.4. Propuesta de Solución.....	9
1.5. Objetivos de la Monografía	10
1.6. Alcances del Tema.....	10
1.7. Limitaciones del Tema.....	11
CAPÍTULO 2 - MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes de Estudios	12
2.2. Bases Teóricas	13
2.2.1. Estudio Hidrológico	13
2.2.1.1. Características de la Cuenca	13
2.2.1.2. Métodos Estadísticos de las Precipitaciones.....	21
2.2.2. Estudio Hidráulico	25
2.2.2.1. Parámetros Hidráulicos.....	26
2.2.2.2. Ancho Estable	27
2.2.2.3. Socavación General	31
2.2.2.4. Socavación Por Contracción.....	34
2.2.2.5. Socavación Local en Estribos	36
CAPÍTULO 3 - DESARROLLO DEL TEMA.....	39
3.1. Metodologías de Trabajo	39
3.1.1. Procedimiento Hidrológico.....	39
3.1.2. Procedimiento Hidráulico	41
3.2. Características de la Zona de Investigación.....	43
3.2.1. Ubicación Geopolítica	43
3.2.2. Clima.....	44
3.2.3. Fisiografía	44
3.2.4. Suelos.....	45
3.2.5. Uso actual de Suelos	46
3.2.6. Vegetación	47
3.3. Recolección de Datos.....	48
3.3.1. Información Cartográfica.....	48
3.3.2. Información Meteorológica	48
3.3.3. Información Granulométrica.....	50
3.4. Caracterización Fisiográfica de la Cuenca.....	50
3.4.1. Parámetros Físicos de la Cuenca.....	51
3.4.2. Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca.....	51
3.4.3. Parámetros de Relieve de la Cuenca.....	53
3.4.4. Parámetros Hidráulicos del Cauce	56
3.4.5. Número de Curva.....	58

3.4.6.	Tiempo de Concentración.....	59
3.5.	Análisis de Precipitaciones	62
3.5.1.	Registro de Precipitación Máxima en 24 Horas	62
3.5.2.	Prueba de Datos Dudosos	64
3.5.3.	Análisis de Bondad de Ajuste	66
3.5.4.	Análisis de Frecuencia	66
3.5.5.	Precipitación Máxima Para Diferentes Periodos de Retorno.....	66
3.5.6.	Curvas de I–D–F	67
3.5.7.	Hietograma de Diseño.....	70
3.6.	Caudales Máximos.....	73
3.6.1.	Método del Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service (S.C.S)	73
3.7.	Calibración del Modelo.....	75
3.7.1.	Huellas Máximas Recientes	75
3.7.2.	Aforo	75
3.7.3.	Selección del Coeficiente de Manning	76
3.7.4.	Estimación de Caudal Mediante el Método de Huellas para Calibración	77
3.7.5.	Calibración de Caudales	80
3.8.	Características Hidráulicas.....	81
3.8.1.	Características Hidráulicas del Río Sin Puente.....	81
3.8.2.	Características Hidráulicas del Río con Puente	83
3.8.3.	Ancho Estable del Cauce	87
3.9.	Socavación en el Sitio de Interés	90
3.9.1.	Socavación General	90
3.9.2.	Socavación por Contracción	94
3.9.3.	Socavación Local en Estribos	97
CAPITULO 4 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN		99
4.1.	Análisis Hidrológico	99
4.1.1.	Parámetros Geomorfológicos.....	99
4.1.2.	Análisis de las Precipitaciones por Métodos Estadísticos	99
4.1.3.	Caudal de Diseño	100
4.2.	Análisis Hidráulico	100
4.2.1.	Selección del Manning.....	101
4.2.2.	Estimación de Caudal Mediante el Método de Huellas y el Aforo.....	101
4.2.3.	Características Hidráulicas Sin Proyecto y Con Proyecto	101
4.2.4.	Longitud de la Luz del Puente	102
4.2.5.	Niveles de Aguas Probables.....	102
4.2.6.	Gálibo del Puente	102
4.2.7.	Determinación de la Socavación.....	103
CONCLUSIONES		104
RECOMENDACIONES.....		106
BIBLIOGRAFÍAS		107
APÉNDICES.....		110
MAPAS.....		150

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Valores de Kn</i>	22
Tabla 2	<i>Periodos de Retorno Para el Puente</i>	23
Tabla 3	<i>Ancho Estable por Recomendación Práctica</i>	27
Tabla 4	<i>Condiciones de fondo del río</i>	28
Tabla 5	<i>Valores de Factor de Fondo</i>	29
Tabla 6	<i>Condiciones de Orilla del Río</i>	29
Tabla 7	<i>Tipo de Material de Cauce</i>	30
Tabla 8	<i>Valores de Coeficiente de Cauce</i>	30
Tabla 9	<i>Coeficiente de Contracción del Cauce μ</i>	32
Tabla 10	<i>Valores de z Para Suelos No Cohesivos</i>	33
Tabla 11	<i>Valores del Coeficiente β</i>	33
Tabla 12	<i>Valores del Coeficiente ψ</i>	33
Tabla 13	<i>Valores del Coeficiente K_1</i>	35
Tabla 14	<i>Coeficiente de Forma del Estribo K_f</i>	37
Tabla 15	<i>Clasificación de Fisiografía en la Cuenca</i>	44
Tabla 16	<i>Clasificación de Suelos en la Cuenca</i>	46
Tabla 17	<i>Clasificación de Uso Actual de los Suelos en la Cuenca</i>	46
Tabla 18	<i>Clasificación de la vegetación en la cuenca</i>	47
Tabla 19	<i>Cartografía</i>	48
Tabla 20	<i>Información Raster</i>	48
Tabla 21	<i>Estaciones Pluviométricas</i>	49
Tabla 22	<i>Coordenadas de las Calicatas</i>	50
Tabla 23	<i>Áreas Parciales a Diferencia de Cotas de la Cuenca</i>	53
Tabla 24	<i>Cálculo de Áreas Parciales de la Cuenca</i>	55
Tabla 25	<i>Longitud del Río a diferentes Altitudes</i>	56
Tabla 26	<i>Valores de la Pendiente Media del Río Principal</i>	57
Tabla 27	<i>Valores de CN</i>	59
Tabla 28	<i>Tiempo de Concentración por el Método de Kirpich</i>	60
Tabla 29	<i>Tiempo de Concentración Usando la Ecuación de Retardo SCS</i>	61
Tabla 30	<i>Tiempo de Retardo Tlag</i>	62
Tabla 31	<i>Precipitaciones Máximas en 24 Horas Corregidas</i>	63
Tabla 32	<i>Resultados de la Prueba de Datos Dudosos</i>	64
Tabla 33	<i>Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov</i>	66
Tabla 34	<i>Precipitaciones Para Distintos Periodos de Retorno</i>	67
Tabla 35	<i>Ecuaciones de Intensidad por el Método de Dick Peschke</i>	68
Tabla 36	<i>Parámetros de Entrada en las Subcuencas</i>	73
Tabla 37	<i>Caudales Estimados Para el Puente</i>	74
Tabla 38	<i>Datos Disponibles Tomados en Campo</i>	79
Tabla 39	<i>Cálculo del Caudal Hidráulico</i>	79
Tabla 40	<i>Niveles de Agua del Modelo y Nivel del Agua Encontrado en Campo</i>	80
Tabla 41	<i>Ancho Estable del Río</i>	89
Tabla 42	<i>Resultados del Estudio Geotécnico</i>	91

Tabla 43	<i>Precipitaciones Máximas para un TR 140 y 500 años</i>	100
Tabla 44	<i>Niveles de Agua en el Puente Sobre el Río Moyoc</i>	102
Tabla 45	<i>Resultados de las Características Principales de la Cuenca</i>	104
Tabla 46	<i>Resultados de las Características Hidráulicas del Puente</i>	105
Tabla 47	<i>Resultados de las Socavaciones en el Puente</i>	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Modelo de Una Cuenca</i>	13
Figura 2	<i>Corte Transversal de una Cuenca Hidrográfica</i>	13
Figura 3	<i>Rectángulo Equivalente de Una Cuenca</i>	16
Figura 4	<i>Representación de la Curva Hipsométrica</i>	17
Figura 5	<i>Hietograma de Diseño</i>	25
Figura 6	<i>Sección Transversal del Cauce</i>	31
Figura 7	<i>Velocidad de Caída (w) Para Partículas de Arena</i>	35
Figura 8	<i>Formas Usadas em Estribos</i>	37
Figura 9	<i>Factor K_{θ}</i>	38
Figura 10	<i>Método Hidrológico para el Cálculo de Caudal de Diseño</i>	42
Figura 11	<i>Método Hidráulico para el Cálculo de la Socavación</i>	42
Figura 12	<i>Ubicación del Puente Proyectoado</i>	43
Figura 13	<i>Polígonos de Thiessen</i>	49
Figura 14	<i>Área de la Cuenca</i>	51
Figura 15	<i>Curva Hipsométrica de la cuenca</i>	54
Figura 16	<i>Polígono de Frecuencia de la Cuenca</i>	55
Figura 17	<i>Perfil longitudinal del Río</i>	56
Figura 18	<i>Subcuenca de Estudio Subdividido en Subcuencas</i>	58
Figura 19	<i>Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Allpachaca (SENAMHI)</i> ..	64
Figura 20	<i>Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Allpachaca (OPEMAN)</i> ...	65
Figura 21	<i>Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Sachabamba</i>	65
Figura 22	<i>Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Pampa Cangallo</i>	65
Figura 23	<i>Curva IDF Estación Allpachaca (SENAMHI)</i>	68
Figura 24	<i>Curva IDF Estación Allpachaca (OPEMAN)</i>	68
Figura 25	<i>Curva IDF Estación Sachabamba</i>	69
Figura 26	<i>Curva IDF Estación Pampa Cangallo</i>	69
Figura 27	<i>Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Allpachaca (SENAMHI)</i>	70
Figura 28	<i>Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Allpachaca (SENAMHI)</i>	70
Figura 29	<i>Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Allpachaca (OPEMAN)</i>	71
Figura 30	<i>Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Allpachaca (OPEMAN)</i>	71
Figura 31	<i>Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Sachabamba</i>	71
Figura 32	<i>Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Sachabamba</i>	72
Figura 33	<i>Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Pampa Cangallo</i>	72
Figura 34	<i>Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Pampa Cangallo</i>	72
Figura 35	<i>Modelo Hidrológico del HEC-HMS</i>	73
Figura 36	<i>Hidrogramas de Diseño</i>	74
Figura 37	<i>Bosquejo de los Niveles de Aguas Tomados en Campo</i>	75
Figura 38	<i>Cálculo de Coeficiente de Manning</i>	77
Figura 39	<i>Nivel de Sección Aguas Abajo del Puente TR 140 años</i>	81
Figura 40	<i>Nivel de Sección Aguas Arriba del Puente TR 140 años</i>	82
Figura 41	<i>Niveles Vista en Planta TR 140</i>	82
Figura 42	<i>Sección Hidráulica Aguas Arriba del Puente TR 140 años</i>	83

Figura 43	<i>Sección Hidráulica Aguas Arriba del Puente TR 500 años</i>	84
Figura 44	<i>Sección Hidráulica Aguas Abajo del Puente TR 140 años</i>	84
Figura 45	<i>Sección Hidráulica Aguas Abajo del Puente TR 500 años</i>	84
Figura 46	<i>Resultados en la Sección del Puente, TR 140 años</i>	85
Figura 47	<i>Perfil Hidráulico del Puente, TR 140 años</i>	86
Figura 48	<i>Perfil Hidráulico del Puente, TR 500 años</i>	86
Figura 49	<i>Ancho Estable, Recomendación Práctica</i>	87
Figura 50	<i>Ancho Estable, Pettits</i>	87
Figura 51	<i>Ancho estable, Simons y Henderson</i>	88
Figura 52	<i>Ancho estable, Blench y Altunin</i>	88
Figura 53	<i>Ancho estable, Manning y Strickler</i>	89
Figura 54	<i>Perfil Estratigráfico en la Zona del Puente</i>	90
Figura 55	<i>Sección Transversal y Niveles de Socavación Aguas Arriba</i>	93
Figura 56	<i>Sección Transversal y Niveles de Socavación Aguas Abajo</i>	93
Figura 57	<i>Niveles de Socavación por Contracción y en Estribos</i>	98

RESUMEN

La presente monografía técnica se trató en desempeñar un estudio hidrológico e hidráulico para el estudio definitivo del diseño del puente vehicular sobre el río Moyoc del distrito de Cangallo. Para ello se determinó las propiedades del río en la sección del puente con el fin de conocer la luz hidráulica del puente, el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), el borde libre recomendado y las cotas máximas de socavación. Para lograr dichos resultados se planteó cuatro capítulos. El primer capítulo presenta la introducción relacionada al tema, la importancia del proyecto, objetivos de la investigación, la identificación de problemas, la propuesta de solución, los alcances y delimitaciones del tema. El segundo capítulo detalla los antecedentes de estudios referentes al análisis hidrológico e hidráulico de puentes, las bases teóricas fundamentales y las de ingeniería que se utilizará para elaboración de los cálculos. El tercer capítulo aborda las características de la zona de investigación, la recolección de datos, que incluye la información meteorológica, cartográfica y fisiográfica de la cuenca, evaluación del estudio de suelos y cobertura vegetal. Además, detalla las consideraciones de diseño y cálculos de ingeniería ejecutados tanto para la hidrología como la hidráulica como: El análisis de precipitaciones, estimación de los caudales máximos, calibración del modelo, las características hidráulicas y el cálculo de las socavaciones. El cuarto capítulo presenta el resultado final que son los parámetros geomorfológicos de la cuenca de estudio, los resultados de los caudales de diseño, el NAME y la profundidad de socavación local, por contracción y general, el cual se expone en las conclusiones.

PALABRAS CLAVES: Caudales máximos, modelamiento hidráulico, socavación.

CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES

1.1. Introducción

Actualmente se viene ejecutando diversos proyectos viales, donde se busca dar acceso a la población al transporte competitivo y sostenible, que permite la integración, el comercio, trabajo, entre otros beneficios que colaboran al desarrollo social y económico de los distintos centros poblados de Ayacucho. Es por ello por lo que nace la necesidad de implementar puentes vehiculares para un desarrollo óptimo de estos proyectos viales.

Asimismo, los puentes suelen estar vulnerables al paso de crecidas fluviales y al dinamismo natural de los ríos, los cuales generan colapsos y fallas por socavación en los estribos y pilares que soportan la carga estructural y que están contruidos en el lecho del río.

En tal sentido para el diseño del puente sobre el río Moyocc, que permitirá unir los centros poblados de Moyocc, Yanayacu y Mayupampa, se requerirá de una evaluación tanto hidrológica como hidráulica con la finalidad de determinar las dimensiones adecuadas del puente sin sobreestimar costos, garantizando la estabilidad y durabilidad de la estructura ante el paso de grandes crecidas.

1.2. Importancia del Tema

El interés de hacer la evaluación tanto hidrológica como hidráulica en el río Moyocc consiste en la imperiosa necesidad de estimar y calibrar el caudal que atravesará el tramo del puente para los diferentes periodos de retorno y estimar los cambios que se pueden producir en el cauce del río o taludes a causa de grandes crecidas, con el fin de conocer la huella de inundación y los niveles de socavación total.

1.3. Identificación del Problema

A lo largo del mundo los puentes sufren considerables daños causa de las crecidas fluviales y al constante dinamismo del lecho de los ríos. De acuerdo a la “*American Association of State Highway and Transportation Officials*” (AASHTO, 1994), resalta que la mayoría de las estructuras hidráulicas como puentes que han colapsado en EE. UU y en todo el planeta, ha ocurrido a causa de la erosión y socavación.

En lo que se refiere al Perú Rocha menciona que:

“La situación es más severa. En 1998 el Meganiño provocó avenidas de larga duración y de valores muy altos trayendo como consecuencia la destrucción de 58 puentes y 28 puentes afectados. Casi todas las fallas ocurridas tuvo su origen en problemas hidráulicos” (Rocha, 2013, p. 155).

En lo que respecta a la zona del proyecto, el río Moyoc por ser un río ubicado en la sierra peruana se diferencia por presentar flujo con torrentes turbulentos durante las inundaciones, generar fácilmente socavamiento en los estribos de un puente y producir inundaciones.

1.4. Propuesta de Solución

La correcta estimación del caudal de diseño y la evaluación hidráulica en el tramo del río Moyoc donde se construirá el puente, servirán como propuesta de solución para determinar las huellas de inundación y cotas de las socavaciones general, por contracción y local del puente. De esta manera, se podrá implementar obras de protección en las laderas, en el cauce y en los estribos y prever fallas por socavación.

1.5. Objetivos de la Monografía

1.5.1. Objetivo General

Estimar los caudales de diseño en la zona de emplazamiento y estimar las medidas de socavación general y local en el puente vehicular sobre el río Moyocc en el distrito de Cangallo, departamento de Ayacucho.

1.5.2. Objetivos Específicos

Entre los objetivos específicos se pueden mencionar:

- a. Determinar los principales parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Moyocc.
- b. Estimar los caudales máximos de diseño.
- c. Calcular el NAME, luz hidráulica y gálibo.
- d. Analizar la profundidad de socavación general, por contracción y local que se ocasiona en los estribos del puente.

1.6. Alcances del Tema

El presente trabajo se delimita al cálculo hidrológico para la estimación del caudal de diseño y a la evaluación hidráulica para conocer la cota de socavación local, por contracción y general para el tramo donde se construirá el puente vehicular.

Los temas relacionados a los problemas constructivos del puente no son parte de este estudio. Asimismo, los temas ambientales y sociales. De igual manera el tema económico en relación a los costos de construcción, operación y mantenimiento están fuera del alcance.

1.7. Limitaciones del Tema

En la zona de estudio hay muy pocas estaciones meteorológicas operativas o con la debida extensión de información requerida para el análisis hidrológico. Asimismo, no se cuenta con información hidrométrica.

Por este motivo, se realizó una búsqueda de información dentro y fuera de la cuenca de estudio con el fin de encontrar estaciones meteorológicas que estén dentro del área de influencia del proyecto mediante el polígono de Thiessen, obteniéndose estaciones cercanas operadas por la Oficina de Operaciones y Mantenimiento (OPEMAN) del Gobierno Regional de Ayacucho y estaciones operadas por SENAMHI.

CAPÍTULO 2 - MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Quispe Ccahuin, N. (2019) en su investigación “*Modelamiento Hidrológico e Hidráulico para Control de Socavación de Estribos del Puente Marita de la Carretera Sancos Saccsamarca, Provincia de Huanca Sancos – Ayacucho.2016*”, tuvo como resultado los valores de erosión en los estribos del puente Marita a partir de un análisis hidrológico e hidráulico, considerando los caudales máximos de diseño y parámetros de la cuenca del río Caracha hasta el punto de aforo. Dicho trabajo de tesis permitió ampliar y conocer de una manera más detallada las bases teóricas para la elaboración del marco teórico, conocer las técnicas para el procesamiento de información recopilada y realizar una correcta metodología de aplicación de la hidrología estadística.

Cotrino Cano, J. y Hernandez Genovez, I. (2017), en su trabajo de investigación “*Estudio De La Socavación Del Proyecto Del Puente El Inca Ubicado En El Río Chorobal Del Distrito De Chao Mediante Simulación Numérica Unidimensional*”, concluyó con el resultado de la profundidad de socavación del puente el Inca mediante una simulación numérica unidimensional. La referente tesis ayudó en conocer las bases teóricas hidrológicas e hidráulicas. Además, permitió conocer las medidas de socavación teniendo en consideración la información hidrológica, hidráulica, de suelos y topográfica.

Ticona Mamani, A. (2016), en su investigación “*Análisis y Diseño Hidráulico del Puente Ilave con la Aplicación del Modelo Unidimensional*”, tuvo como resultado las medidas de la altura y luz mínima necesaria para que el puente Ilave no presente riesgos de inundación. Esto se logró a partir un análisis hidrológico e hidráulico con el desarrollo

de simulaciones con el programa HEC-RAS y SIG. La tesis contribuye a conocer la aplicación del software HEC-RAS para realizar una correcta evaluación hidráulica de puentes y observar el estado crítico de estos.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Estudio Hidrológico

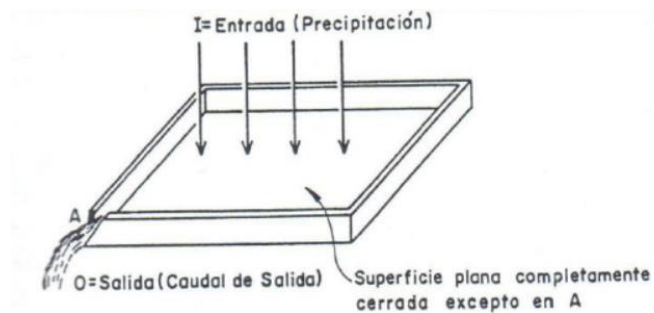
2.2.1.1. Características de la Cuenca

a. Cuenca Hidrográfica

Es un área natural limitada geográficamente por una divisoria topográfica (*Divortium Aquarum*), donde el escurrimiento superficial drena hacia una fuente de agua llamada río (Monsalve, 1999).

Figura 1

Modelo de Una Cuenca



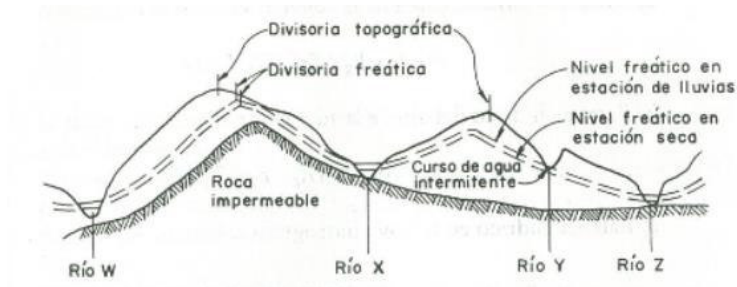
Nota: Tomado del libro “Hidrología en la Ingeniería” (Monsalve, 1999, p. 34).

b. Divisorias

Es límite que divide las precipitaciones que descienden sobre cuencas adyacentes y que conducen el agua superficial hacia un río (Monsalve, 1999).

Figura 2

Corte Transversal de una Cuenca Hidrográfica



Nota: Tomado del libro “Hidrología en la Ingeniería” (Monsalve, 1999, p. 36).

c. Caudal

Está definido como el volumen de escorrentía superficial tomado en un intervalo de tiempo y se enuncia en metros cúbicos o litros por segundo (m^3/s o l/s) (Monsalve, 1999).

d. Características Físicas de la Cuenca Hidrográfica

Área de la Cuenca (A). Se encuentra delimitada por divisorias de aguas y se expresa en kilómetros cuadrados (km^2).

Perímetro de la Cuenca (P). Es la línea limítrofe que indica la irregularidad de la cuenca hidrográfica y se enuncia en kilómetros (km).

Forma de la Cuenca. Es un parámetro que asocia el tiempo de concentración. Asimismo, la escorrentía superficial de una cuenca casi circular será diferente a otras cuencas que tengan forma estrecha y alargada así sea de la misma área (Campos, 1998).

e. Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

Coefficiente de Compacidad (Kc). Asocia al perímetro (P) y al área en km^2 (A) (Monsalve, 1999).

$$K_c = \frac{P}{(2\pi\sqrt{\frac{A}{\pi}})} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Donde:

P: Perímetro (km)

A: Área (km²)

A continuación, se muestran los rangos para conocer la forma de la cuenca:

- **Clase K_{c1} :** Varía de 1 a 1.25. Conformado por cuencas redondas.
- **Clase K_{c2} :** Varía de 1.25 a 1.5. Conformado por cuencas con forma ovalada.
- **Clase K_{c3} :** Varía de 1.5 a 1.75. Conformado por cuencas rectangulares

En consecuencia, una cuenca tiene un mayor coeficiente de compacidad será más irregular. Por otro lado, si una cuenca tiende a tener una forma de círculo es porque su coeficiente se aproximará a la unidad.

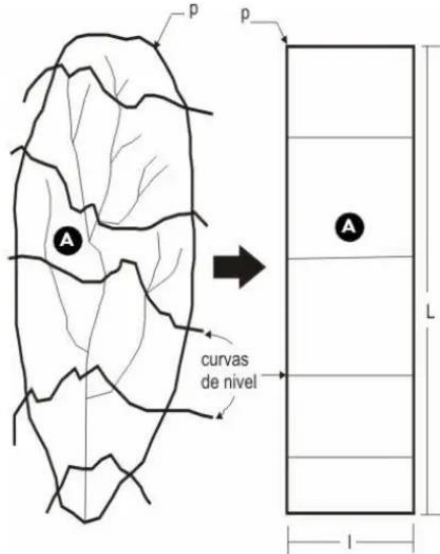
Rectángulo Equivalente. Permite representar la cuenca mediante una transformación geométrica la cual convierte a la cuenca a una forma rectangular.

- Lado mayor del rectángulo

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2}\right) \quad (2)$$

- Lado menor del rectángulo

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2}\right) \quad (3)$$

Figura 3*Rectángulo Equivalente de Una Cuenca*

Nota: Tomado del libro “Hidrología” (Villón, 2011, p. 42).

Factor de Forma (K_f). Relaciona al área y la longitud del río más largo desde la parte alta de la cuenca hacia el punto de aforo o salida. (Monsalve, 1999).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

Donde:

L: Longitud del río (km)

A: Área (km²)

Longitud del Curso Principal (L_c). Está definida como la longitud del río hacia la salida de la cuenca.

f. Características del Relieve de una Cuenca

Pendiente de la Cuenca. Se caracteriza por controlar el tiempo de concentración y del escurrimiento sobre la cuenca. Además, influye en la magnitud de máximas avenidas (Campos, 1998).

$$S = 100 \frac{\sum LiE}{A} \quad (5)$$

Donde:

S: Pendiente media.

Li: Longitud de las curvas de nivel (km)

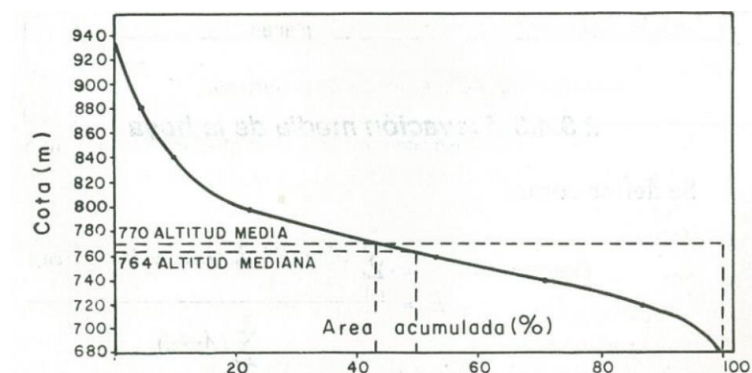
E: Distancia entre curvas de nivel (km)

A: Área (km²)

Curva Hipsométrica. Esta característica indica el porcentaje de área en km² que está por debajo o por encima las altitudes. Dicha curva relaciona la cota detallada en las ordenadas con el porcentaje del área acumulada descrita en las abscisas (Monsalve, 1999).

Figura 4

Representación de la Curva Hipsométrica



Nota: Tomado del libro “Hidrología en la Ingeniería” (Monsalve, 1999, p. 45).

Altitud Mediana. Corresponde a la altura de la curva hipsométrica que es el 50% que separa a la cuenca en dos partes iguales.

Altitud Media Simple (H_{ms}). Es la media entre la elevación más alta y la elevación más baja de la cuenca.

Altitud Media Ponderada. Es el promedio de altitudes y de la elevación media de la cuenca.

$$H_{mp} = \frac{(\sum a_i c_i)}{A} \quad (6)$$

Donde:

a_i : Área parcial entre las curvas de nivel (km^2)

c_i : Altitud media entre dos curvas de nivel (m)

A: Área (km^2)

Polígono de Frecuencia. Muestra el rango de repercusión de las áreas situadas a través de las curvas de nivel con relación al área de la cuenca.

g. Características Hidráulicas del Cauce

Perfil Longitudinal del Río. Nos permite dar una noción de las pendientes que tiene el río en distintos tramos de su trayectoria (Villón, 2011).

Pendiente del Cauce Principal. Es el cociente de la variación de nivel que recorre el río dividido entre la longitud horizontal del cauce. Existe muchos métodos para obtener la pendiente del cauce del río, pero para el presente trabajo utilizaremos el método de pendiente uniforme y la ecuación de Taylor y Schwarz (Villón, 2011).

- Método I: Pendiente Uniforme

$$S = \frac{H}{L} \quad (7)$$

Donde:

S: Pendiente (m/m)

H: Diferencia de cotas (m)

L: Longitud del río (m)

- Método II: Ecuación de Taylor y Schwarz

$$S = \left(\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right)^2 \quad (8)$$

Donde:

n: Número de segmentos iguales

S_1, S_2, \dots, S_n : Pendientes de cada segmento (m/m)

S: Pendiente media del río (m/m)

h. Número de Curva

Es un número adimensional que proviene de una secuencia de curvas que varían del número 1 al 100. Este número representa el coeficiente de escorrentía que hay en la cuenca y varía respecto a la infiltración del suelo según su grupo hidrológico y de su tipo de cobertura vegetal.

La *Soil Conservation Service* (SCS) brinda valores tabulados del número de curva en referencia al tipo de suelo y al uso del terreno. Se clasifica 4 grupos según el potencial de escurrimiento (Te Chow et al., 1994):

- **Grupo A:** Estos suelos presentan un bajo potencial de escurrimiento y están compuestos por gravas y arenas.

- **Grupo B:** Estos suelos presentan una moderada baja capacidad de escorrentía y están constituidos por suelos depositados por el viento.
- **Grupo C:** Estos suelos presentan un moderado alto potencial de escurrimiento y están compuestos por suelos arcillosos y arenas.
- **Grupo D:** Estos suelos presentan un alto potencial de escorrentía y están formados por suelos arcillosos con niveles altos de plasticidad.

i. Tiempo de Concentración

Es el tiempo que demora una gota de agua transcurrir desde el punto más alto de la cuenca hasta que llega a la salida. El tiempo de concentración está influenciado por las características de la cuenca (Villón, 2011).

Existen muchas formulaciones para el cálculo del tiempo de concentración. Para efecto del presente trabajo de investigación se considera dos de ellas, la fórmula de Kirpich y la ecuación de retardo de la *Soil Conservation Service* (SCS).

Método de Kirpich. Calcula el tiempo de concentración a partir de parámetros morfológicos de la cuenca como la pendiente y la longitud del río.

$$T_c = 0.01947L^{0.77} S^{0.385} \quad (9)$$

Donde:

L: Longitud del cauce (m)

S: Diferencia de elevación del cauce (m).

Ecuación de Retardo SCS. Calcula el tiempo de concentración a partir de parámetros morfológicos de longitud, pendiente del cauce principal y parámetros de infiltración como el número de curva.

$$T_c = \frac{0.0136L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}} \quad (10)$$

Donde:

L: Longitud del río (m)

S: Diferencia de elevación del río (m).

CN: Número de Curva

j. Tiempo de Retardo

Se describe en la siguiente ecuación.

$$Tr = 0.6T_c \quad (11)$$

Donde:

Tr: Tiempo de retardo (h)

Tc: Tiempo de concentración (hr)

2.2.1.2. Métodos Estadísticos de las Precipitaciones

a. Análisis de Datos Dudosos (Outliers)

Consiste en identificar los datos que se distancian considerablemente a la tendencia que tiene los demás datos restante, para ello se usó el método del *Water Resource Council* (1981). (Te Chow et al., 1994).

Para detectar outliers altos se usó la siguiente ecuación:

$$Y_H = \bar{y} + K_n S_y \quad (12)$$

Para detectar outliers bajos se usó la siguiente ecuación:

$$Y_L = \bar{y} - K_n S_y \quad (13)$$

Donde:

Y_H : Umbral de outliers altos.

Y_L : Umbral de outliers bajos.

\bar{y} : Promedio de los logaritmos de las precipitaciones máximas.

K_n : Coeficiente que depende de la cantidad de la muestra de precipitación

(Ver la Tabla 1).

S_y : Desviación estándar.

Tabla 1

Valores de K_n

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra 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		

Nota: Tomado del libro “Hidrología Aplicada” (Te Chow et al., 1994, p. 416).

b. Pruebas de Bondad de Ajuste

Consiste en verificar de forma gráfica y estadística, si la información histórica se ajusta mejor a una distribución. Se aplicó la prueba de K-S, ya que es viable para cualquier distribución.

Prueba de Kolmogorov – Smirnov (K-S). Consiste en determinar que función de distribución es el que mejor se ajusta a la serie de datos históricos de las estaciones. Entre las distribuciones más usadas tenemos: La Distribución Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson III y la distribución de Gumbel.

c. Periodo de Retorno

Es el tiempo en el que un caudal de una máxima avenida es superado o igualado (Monsalve, 1999). Además, está definido según al riesgo de falla y a la vida útil de cada tipo de estructura hidráulica.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)n \quad (14)$$

Donde:

R: Riesgo de falla admisible.

T: Periodo de retorno.

n: Vida útil.

Para la obtención de la luz del puente y del NAME se recomienda un Tr de 140 años, mientras que para el cálculo de socavación se recomienda un Tr de 500 años como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2

Periodos de Retorno Para el Puente

<i>Tipo de Estructura</i>	<i>Vida útil (Años)</i>	<i>Periodo de Retorno (Años)</i>	<i>Riesgo Admisible (%)</i>
Puentes	40	140 (NAME)	25%
	40	500 (socavación)	10%

Nota: Adoptado del “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje” (MTC, 2019).

d. Curva Intensidad – Duración – Frecuencia

La intensidad es la profundidad de precipitación por unidad de tiempo medido en (mm/h o pulg/h).

$$i = \frac{P}{T_d} \quad (15)$$

Donde:

P: Profundidad de precipitación (mm o pulg).

T_d : Duración (hr).

n : Vida útil.

Para la elaboración de la ecuación matemática que relaciona la I-D-F se optó por la propuesta validada de (Aparicio, 1987).

$$I = \frac{kT^m}{D^n} \quad (16)$$

Donde:

I: Intensidad de precipitación (mm/h).

T: Periodo de retorno (años).

D: Duración (hrs).

K, m, n : Parámetros a estimar a través de un análisis de regresión lineal.

Posteriormente, aplicando logaritmos a la ecuación (16) se llega a un modelo de regresión lineal múltiple.

$$\log I = \log K + m \log T - n \log D \quad (17)$$

Para la condición de tormentas con una duración menor a una hora, deben ser estimadas por el método de Dick Peschke (MTC, 2019).

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (18)$$

Donde:

Pd: Precipitación (mm).

d: duración (min).

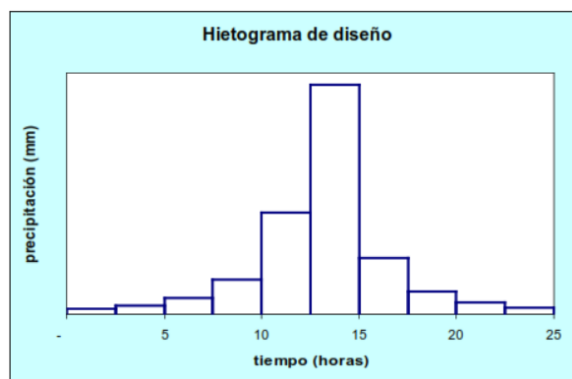
P24h: Precipitación máxima en 24 horas (mm)

e. Hietograma de Diseño (Bloque Alterno)

Es una manera más simplificada de elaborar un hietograma de diseño usando las curvas I-D-F.

Figura 5

Hietograma de Diseño



Fuente: Tomado del “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje” (MTC, 2019)

2.2.2. Estudio Hidráulico

a. Coeficiente de Manning

Para estimar el coeficiente de Manning se necesita de la pericia del investigador el cual puede apoyarse con los datos recopilados en campo.

Método de Cowan. El coeficiente de rugosidad puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$n = m_5(n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \quad (19)$$

Donde:

n_0 : Representa la rugosidad del material involucrado.

n_1 : Representa la rugosidad debido a irregularidades del trecho en estudio.

n_2 : Representa la rugosidad por variaciones en la sección transversal.

n_3 : Representa la rugosidad debido a obstrucciones existentes en el cauce.

n_4 : Representa la rugosidad debido a la presencia de vegetación.

m_5 : Representa la rugosidad debido a la presencia de meandros.

2.2.2.1. Parámetros Hidráulicos

a. Socavación

La socavación es la causa más común de falla que daña los estribos o pilares de los puentes, el cual combina varios procesos de los cuales unos ocurren a largo plazo y otros durante el paso de crecidas (MTC, 2019).

b. Cálculo Hidráulico

Implica examinar si el caudal de diseño atraviesa de modo idóneo por la sección del puente (MTC, 2019).

Cálculo de Tirantes. Para el estudio se apoyó de un modelo numérico el cual comprende a un flujo unidimensional, de lecho fijo, no uniforme, permanente. Además, se apoya en el empleo de la ecuación de energía como se aprecia en la ecuación (20).

$$Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + E \quad (20)$$

Donde:

$Z_n + P_n$: Nivel del tirante (m).

V_n : Velocidad media (m).

α_1, α_2 : Coeficientes.

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

E : Total de pérdidas de energía en el tramo.

En la ecuación (27) los subíndices 1 y 2 menciona a dos secciones distintas, la sección 1 ubicada aguas arriba y la sección 2 ubicada aguas abajo.

El modelo mayormente usado para el cálculo de parámetros hidráulicos es el HEC-RAS creado por el U.S. *Army Corp of Engineers* (USACE, 1995).

2.2.2.2. Ancho Estable

a. Recomendación Práctica

Este método está en función al caudal de diseño mediante la Tabla 3.

Tabla 3

Ancho Estable por Recomendación Práctica

<i>Caudal (m^3/s)</i>	<i>Ancho estable</i>
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

Nota: Valores tomados del software River (ANA, 2013).

b. Metodo de Petits

La ecuación está dada por:

$$B = 4.44Q^{0.5} \quad (21)$$

Donde:

B: Ancho estable (m).

Q: Caudal (m³/s).

c. Método de Simons y Henderson

La expresión está dada por:

$$B = K_1 Q^{0.5} \quad (22)$$

Donde:

B: Ancho estable (m).

K₁: Condiciones de fondo del río (m).

Q: Caudal (m³/s).

Tabla 4

Condiciones de fondo del río

<i>Descripción</i>	<i>K₁</i>
Fondo y orillas de arena	25
Fondo de arena y orilla de material cohesivo	30
Fondo y orillas de material cohesivo	35
Fondo y orilla de grava	40
Fondo de arena y orillas de material no cohesivo	25

Nota: Tomado del libro “Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas” (Terán, 1998, p. 35).

d. Método de Blench y Altunin

La expresión está dada por:

$$B = 1.81(QFb / Fs)^{0.5} \quad (23)$$

Donde:

B: Ancho estable (m).

Fb: Factor de fondo.

Fs: Factor de orilla.

Q: Caudal (m³/s).

Tabla 5

Valores de Factor de Fondo

<i>Material de Fondo</i>	<i>Fb</i>
Material Fino (Dm<0.50 mm)	0.80
Material Grueso (Dm=>0.50 mm)	1.20

Nota: Tomado del software River (ANA, 2013).

Tabla 6

Condiciones de Orilla del Río

<i>Tipo de orilla</i>	<i>Fs</i>
Orilla de barro y arena	0.10
Orilla de barro – arcilla - fangosa	0.20
Orilla de material muy cohesivo	0.30

Nota: Tomado del libro “Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas” (Terán, 1998, p. 35).

e. Método de Manning y Strickler

La expresión de diseño está dada por:

$$B = \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{5}}} (nK^{\frac{5}{3}})^{\frac{3}{3+5m}} \quad (24)$$

Donde:

B: Ancho estable (m).

n: Coeficiente de rugosidad del río.

K: Tipo de material del cauce.

m: Tipo de cauce

Q: Caudal (m³/s).

Tabla 7

Tipo de Material de Cauce

<i>Tipo de orilla</i>	<i>F_s</i>
Orilla de barro y arena	0.10
Orilla de barro – arcilla - fangosa	0.20
Orilla de material muy cohesivo	0.30

Nota: Tomado del software River (ANA, 2013).

Tabla 8

Valores de Coeficiente de Cauce

<i>Material de Fondo</i>	<i>m</i>
Ríos de cauces aluviales	0.5
Ríos de cauce arenosos	0.7
Ríos de cauces de montaña	1.0

Nota: Tomado del software River (ANA, 2013).

f. Método de Lacey

La expresión de Lacey está dada por:

$$B = CQ^{\frac{1}{2}} \tag{25}$$

Donde:

B: Ancho estable (m).

C: Coeficiente de Lacey.

Q : Caudal (m^3/s).

2.2.2.3. Socavación General

Se genera en el cauce del río cuando inicia una crecida debido a la mayor capacidad de arrastre del material sólido recogido por el río en esta época.

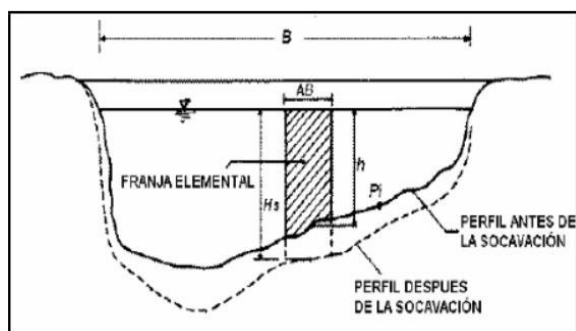
La socavación general puede suceder incluso si el lecho del río es de material rocoso, con tal de que las velocidades del flujo sean mayores a la requerida para producir la erosión de la roca (Juárez & Rico, 1974).

a. Metodo de Lischtván – Levediev

Es un método muy usado en el Perú para el cálculo de la socavación general a causa a su elevado grado de fiabilidad (MTC, 2019).

Figura 6

Sección Transversal del Cauce



Fuente: Tomado del libro “Mecánica de Suelos” (Juárez & Rico, 1974)

Para Suelos Granulares. Según Maza en su libro “Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente” (Maza, 1967), cuenta con la siguiente ecuación:

$$y_s = \left(\frac{\alpha y_0^{\frac{5}{3}}}{0.68 \beta \psi D_m^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+z}} \quad (26)$$

Donde:

$$\alpha = \frac{Q_d}{H_m^{\frac{5}{3}} B_e \mu} \quad (27)$$

y_s : Desnivel entre el tirante y del terreno socavado después de avenida (m)

H_o : Desnivel entre el tirante y del terreno natural antes de la avenida (m).

y_o : Tirante medio del agua (m).

y_m : Tirante medio calculado entre el tirante de agua y el fondo del cauce después del pase la máxima avenida.

Q_d : Caudal (m³/s)

D_m : Diámetro medio.

z : Exponente en relación al D_m para suelos no cohesivos.

ψ : Factor que está sujeto a la acumulación del terreno en suspensión.

β : Coeficiente que está sujeto del tiempo de retorno.

μ : Coeficiente de contracción.

Tabla 9

Coeficiente de Contracción del Cauce μ

<i>Velocidad media en la sección en m/s</i>	<i>Longitud libre entre dos estribos</i>										
	<i>10</i>	<i>13</i>	<i>16</i>	<i>18</i>	<i>21</i>	<i>25</i>	<i>30</i>	<i>42</i>	<i>52</i>	<i>63</i>	<i>106</i>
<i>Menor 1</i>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>1.00</i>	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>1.50</i>	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
<i>2.00</i>	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
<i>2.50</i>	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99
<i>3.00</i>	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99
<i>3.50</i>	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99
<i>4.00 o mayor</i>	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99

Nota: Adaptado del libro "Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente" (Maza, 1967).

Tabla 10*Valores de z Para Suelos No Cohesivos*

<i>Suelos No Cohesivos</i>			
dm (mm)	Z	dm (mm)	Z
0.05	0.43	40.00	0.30
0.15	0.42	60.00	0.29
0.50	0.41	90.00	0.28
1.00	0.40	140.00	0.27
1.50	0.39	190.00	0.26
2.50	0.38	250.00	0.25
4.00	0.37	310.00	0.24
6.00	0.36	370.00	0.23
8.00	0.35	450.00	0.22
10.00	0.34	570.00	0.21
15.00	0.33	750.00	0.20
20.00	0.32	1000.00	0.19
25.00	0.31		

Nota: Tomado del libro "Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente" (Maza, 1967)

Tabla 11*Valores del Coeficiente β*

Periodo de retorno del gasto de diseño (Años)	Coeficiente β
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
300	1.03
500	1.05

Nota: Tomado del Manual de Hidráulica e Hidrología (MTC, 2019)

Tabla 12*Valores del Coeficiente ψ*

Mezcla de agua – sedimento γ	Coeficiente ψ
1.05	1.06
1.10	1.13
1.15	1.20
1.20	1.27
1.25	1.34
1.30	1.42
1.35	1.50
1.40	1.60

Nota: Tomado del libro "Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente" (Maza, 1967)

2.2.2.4. Socavación Por Contracción

Es producida principalmente por el descenso del ancho del cauce del río a causa naturales o artificiales. Comúnmente se origina por la reducción de la sección del flujo por el terraplén del puente y por los pilares, esto implica un aumento considerable en la velocidad media del flujo y por consiguiente un aumento en las fuerzas cortantes que aumentan las fuerzas erosivas en la zona de contracción.

a. Cálculo de la Socavación por Lecho Móvil (Método de Laursen)

La ecuación de Laursen (1960) considera que el material del cauce es trasladado en el tramo aguas arriba del puente. (MTC, 2019).

$$\frac{H_s}{h_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{K_1} \quad (28)$$

Donde:

$H_s - h_2$: Profundidad media de socavación (m).

H_s : Profundidad media del tirante después de la socavación (m).

h_1 : Profundidad media del tirante aguas arriba del puente (m).

h_2 : Profundidad media del tirante antes de la socavación (m).

Q_1 : Caudal aguas arriba. No incluye flujo con agua clara (m³/s).

Q_2 : Caudal en la sección contraída. No incluye flujo con agua clara (m³/s).

B_1 : Ancho del río y laderas ubicado aguas arriba (m).

B_2 : Ancho del río y laderas en la sección contraída (m).

K_1 : Coeficiente en función del modo de transporte de sedimento.

Tabla 13

Valores del Coeficiente K_1

V_*/w	K_1	Modo de transporte del sedimento de lecho
< 0.50	0.59	Mucho del material en contacto con el lecho
0.50 a 2.0	0.64	Algo de material de lecho suspendido
> 2.0	0.69	Mucho material del lecho suspendido

Nota: Tomado de "HEC-18 Evaluation Scour at bridges" (Richardson & Davis, 2001)

Mientras que la velocidad de corte se expresa como:

$$V_* = \sqrt{gh_1 S_1} \quad (29)$$

Donde:

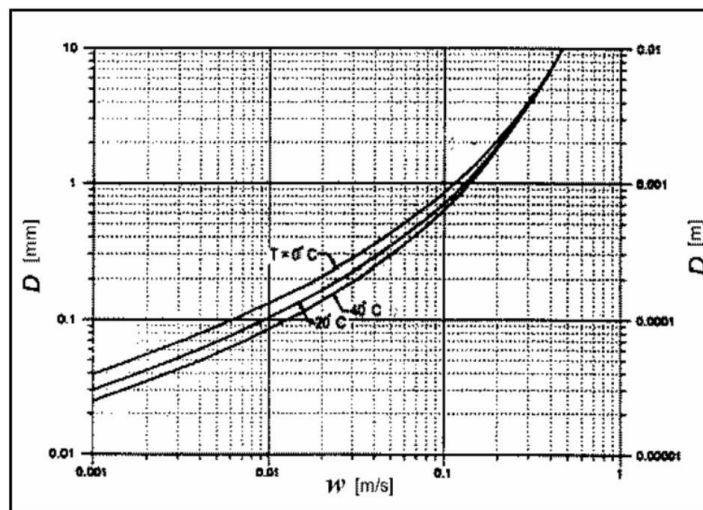
w : Velocidad de caída del D_{50} en (m/s).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

S_1 : Gradiente hidráulico (m/m).

Figura 7

Velocidad de Caída (w) Para Partículas de Arena



Nota: Tomado de HEC-18 "Evaluation Scour at bridges" (Richardson & Davis, 2001)

b. Cálculo de la Socavación Para Aguas Claras (Método de Laursen)

La ecuación de Laursen (1963) considera casos de socavación en agua clara (MTC, 2019).

$$H_s = \left(\frac{0.025 Q_2^2}{D_m^{\frac{2}{3}} B_2^2} \right)^{\frac{3}{7}} \quad (30)$$

Donde:

$H_s - h_2$: Calado medio de socavación (m)

H_s : Tirante medio después de la socavación (m).

Q_2 : Caudal sin transporte de sedimentos (m^3/s).

B_2 : Anchura del cauce en el puente (m).

D_m : Diámetro medio (m). Se considera $D_m = 1.25D_{50}$

2.2.2.5. Socavación Local en Estribos

La vorticidad de los flujos turbulento generada en los estribos del puente es un factor importante que influye en la erosión en estribos. Uno de los métodos más convenientes propuesto por el HEC-18 es el método de Froehlich.

a. Método de Froehlich

La ecuación de Froehlich es recomendada para el cálculo de socavación en estribos que se proyectan dentro del río o no (MTC, 2019).

$$\frac{y_s}{h_e} = 2.27 K_f K_\theta \left(\frac{L}{h_e} \right)^{0.43} F_{re}^{0.61} + 1 \quad (31)$$

Donde:

y_s : Profundidad de socavación (m).

h_e : Tirante de agua ubicado aguas arriba del puente (m).

k_f : Factor que depende de la forma del estribo.

k_θ : Factor de corrección.

L: Longitud del estribo que se opone al paso del flujo (m).

F_{re} : Número de Froude.

Tabla 14

Coefficiente de Forma del Estribo K_f

Descripción	K_f
Estribo con pared vertical	1.00
Estribo con pared vertical y aletas	0.82
Estribo con pendiente hacia el cauce	0.55

Nota: Tomado de “HEC-18 Evaluation Scour at bridges” (Richardson & Davis, 2001)

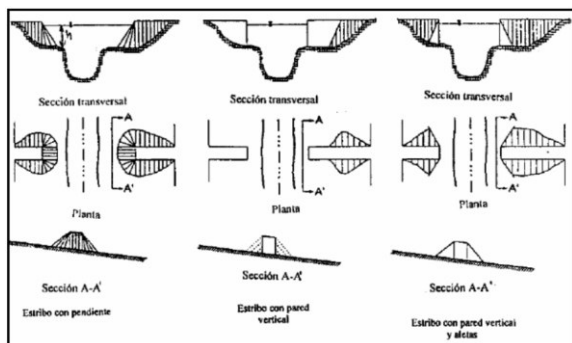
$$K_\theta = \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0.13} \quad (32)$$

Donde:

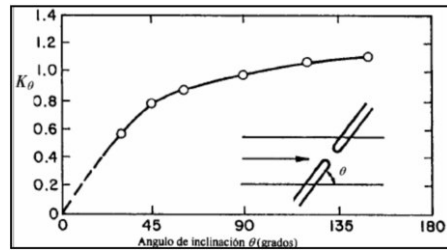
θ : Ángulo de inclinación (m).

Figura 8

Formas Usadas em Estribos



Nota: Tomado de “HEC-18 Evaluation Scour at bridges” (Richardson & Davis, 2001)

Figura 9Factor K_θ 

Nota: Tomado de “HEC-18 Evaluation Scour at bridges” (Richardson & Davis, 2001)

$$h_e = \frac{A_e}{L} \quad (33)$$

$$F_{re} = \frac{V_e}{\sqrt{gh_e}} \quad (34)$$

$$V_e = \frac{Q_e}{A_e} \quad (35)$$

Donde:

V_e : Velocidad del agua obstaculizado (m/s).

Q_e : Caudal obstruido *upstream* (m³/s).

A_e : Área en la sección obstaculizada (m²).

CAPÍTULO 3 - DESARROLLO DEL TEMA

3.1. Metodologías de Trabajo

Los procedimientos a seguir para la obtención de los caudales de diseño y resultados de socavación descritos a mayor detalle en los siguientes ítems, son los siguientes:

3.1.1. Procedimiento Hidrológico

1. Se realizó una evaluación del área de estudio y de las características geomorfológicas y fisiográficas de la cuenca a partir de la información cartográfica con el fin de conocer los parámetros fisiográficos que influenciaran en la respuesta hidrológica.
2. Ante la escasez de estaciones de aforo, se realizó una búsqueda de información de estaciones meteorológicas que estén involucradas dentro el área de influencia del proyecto usando la metodología del polígono de Thiessen. Para lo cual, se consideraron con 04 estaciones meteorológicas las cuales contienen información histórica de precipitación máxima en 24 horas. Esta información de registros históricos es un dato importante para la estimación de caudales máximos de diseño.
3. Con la información de las precipitaciones máximas en 24 horas se procedió a realizar un análisis, a partir de la siguiente metodología:
 - Se clasificaron los valores de precipitaciones máximas anuales de lluvia para multiplicarlos por el factor 1.13 con el fin de semejar dichas precipitaciones a los que se alcanzarían en un análisis de máximos reales.

- Se realizó una prueba de datos dudosos de con el fin de encontrar valores de precipitación que se alejan de la tendencia.
 - Se aplicó la prueba de bondad de ajuste de test de Kolmogorov – Smirnov con el objetivo de determinar la función de distribución que más se ajusta a los datos de las estaciones meteorológicas.
 - Con la distribución seleccionada a partir de la prueba de K-S, se procedió a estimar las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes Tr.
 - Con los datos de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno y haciendo empleo de la fórmula de Dick and Pescke se obtienen las precipitaciones de diseño para lapsos inferiores a 24 horas.
 - Se procede a dividir las precipitaciones menores a 24 horas con su duración en horas, para determinar las intensidades para los diferentes Tr.
 - Posteriormente, se procede a determinar los hietogramas de diseño mediante el método del bloque alterno, a fin de distribuir la precipitación en una duración de 24 horas.
4. Considerando el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2019) y de acuerdo al área de la cuenca se emplea el método del HU de SCS, teniendo en cuenta las precipitaciones máximas en 24 horas con el fin de estimar el valor de los caudales máximos para los diferentes periodos de retorno mediante el software HEC-HMS a partir del siguiente proceso:
- Dividir la cuenca hidrográfica en subcuencas que no excedan los 50 km² con el fin de tener subáreas contribuyentes debidamente representadas.

- Proceder a tomar los datos del número de curva del estudio “Generación del mapa temático de curva número (CN)”(ANA, 2015).
- Ingresar los valores de área de cada subcuenca, tiempo de concentración, número de curva y los hietogramas de diseño de cada estación al software HEC-HMS (USACE, 1998).
- Ingresar el hietograma de diseño asignando un peso a cada estación de acuerdo a su influencia sobre cada subcuenca.
- Posteriormente con este análisis se estima los caudales de diseño para los diferentes tiempos de retorno (140 años y 500 años), los cuales son calibrados mediante el método de huellas de crecidas y aforo.

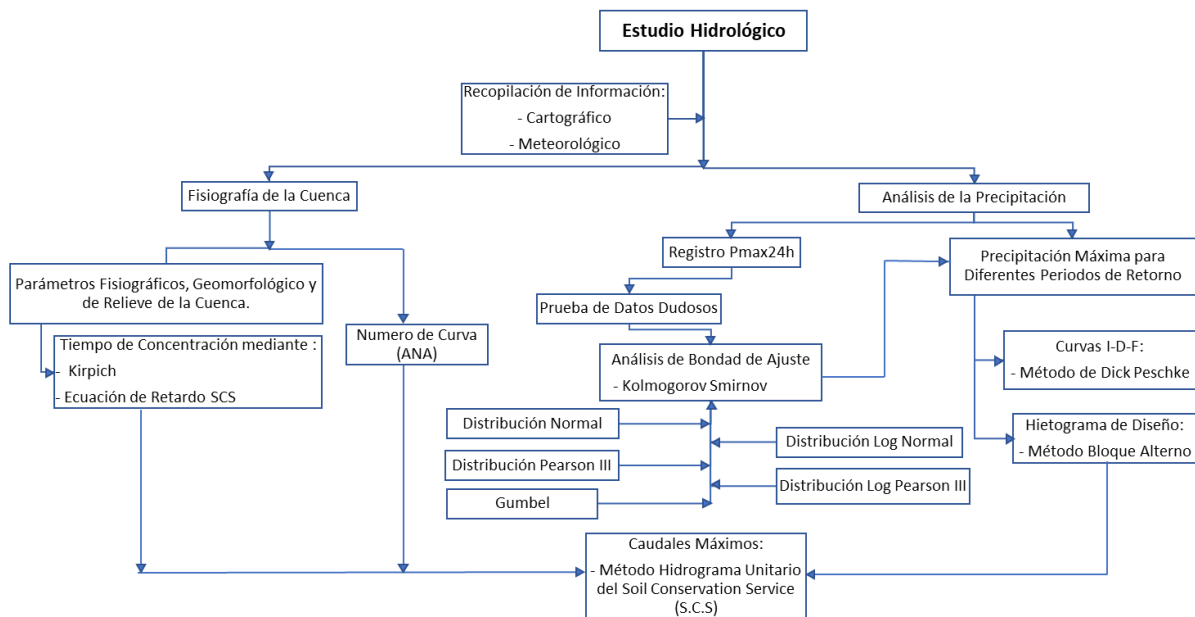
3.1.2. Procedimiento Hidráulico

1. Con las fotografías y datos de campo se procede a evaluar el coeficiente de Manning para el río y riberas mediante el método de Cowan.
2. Con el caudal de diseño para un Tr de 140 años y los valores de Manning calibrados se procede a realizar el modelamiento hidráulico mediante el programa HEC-RAS para conocer las máximas elevaciones (NAME), gálibo del puente y el ancho estable.
3. Con el caudal de diseño estimado para un Tr de 500 años se procede a calcular las velocidades máximas y niveles de agua empleando HEC-RAS con el fin de obtener inputs de interés para el cálculo de las socavaciones.
4. Tomando en cuenta el perfil estratigráfico del puente, calicatas realizadas por la especialidad de geotecnia, velocidades y el nivel de agua para un Tr de 500

años, se determinó la socavación general por el método de Lischtvan – Levediev. De igual manera se determinaron las socavaciones por contracción y local utilizando las fórmulas de Laursen y Froehlich, respectivamente.

Figura 10

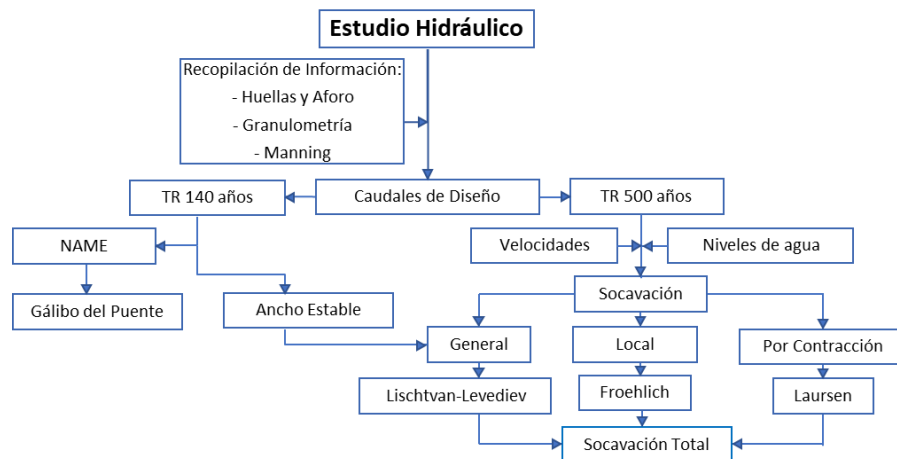
Método Hidrológico para el Cálculo de Caudal de Diseño



Nota: Elaboración propia

Figura 11

Método Hidráulico para el Cálculo de la Socavación



Nota: Elaboración propia

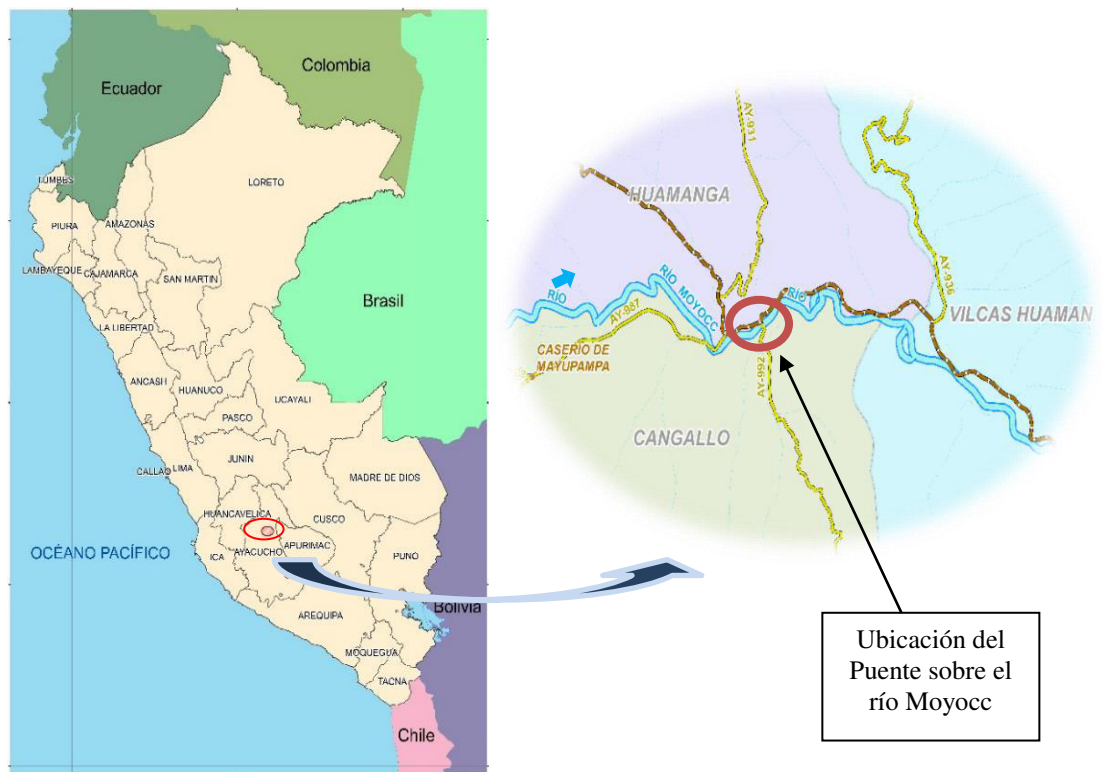
3.2. Características de la Zona de Investigación

3.2.1. Ubicación Geopolítica

Geopolíticamente, la vía proyectada está emplazada en la región Ayacucho, departamento de Ayacucho, provincia de Cangallo en el distrito de Cangallo. Se ubica en la Ruta N°AY-992. Emp. Ruta N°AY-103 y la Trayectoria: AY-992. Geográficamente el puente se ubica en las coordenadas UTM 84-18S Este 600 804.13 m y Norte 8 503 308.56 m con una altitud de 3 287 msnm.

Figura 12

Ubicación del Puente Proyectado



Nota: El gráfico presenta la ubicación a nivel nacional y a nivel regional del puente sobre el río Moyoc situado en la provincia de Cangallo. Elaboración Propia.

3.2.2. Clima

Para el presente ítem se está utilizando la información de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) (Gobierno Regional de Ayacucho, 2012a) ya que permite tener un análisis de la data de las variables climáticas como la precipitación y temperatura. A continuación, se presenta los resultados para la cuenca de interés:

- Las precipitaciones multianuales presentan valores que se encuentran entre los 600 y 1 000 mm/año. (Ver Mapa 01)
- La temperatura media anual presenta un valor que varía de 8 a 12 °C para la cuenca de interés. (Ver Mapa 02)
- La frecuencia de heladas en la cuenca de interés se encuentra entre los 60 y 270 días. (Ver Mapa 03)

3.2.3. Fisiografía

La fisiografía en la cuenca de estudio se encuentra descrita por 11 sectores que se clasifican tomando en cuenta la cordillera del centro en donde se presenta gran extensión de planicies volcánicas. A causa de esta particularidad se forman diversos tipos de clima como se muestra en la siguiente tabla.

Para apreciar con mayor detalle la clasificación fisiográfica en la cuenca del río Moyoc ver el Mapa 04

Tabla 15

Clasificación de Fisiografía en la Cuenca

<i>Ítem</i>	<i>ID</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Porcentaje</i>
01	16	Montaña de litología sedimentaria/volcánica/intrusiva de Ladera moderadamente empinada (15-25%)	38.09	10.58%
02	18	Montaña de litología sedimentaria/volcánica/intrusiva Ladera empinada (25-50%)	106.29	29.53%
03	27	Planicie de litología Sedimentaria fuertemente inclinada (8-15%)	105.18	29.22%
04	29	Planicie de litología Sedimentaria ondulada fuertemente inclinada (8-15%)	3.82	1.06%
05	31	Planicie de litología Sedimentaria plana a ligeramente ondulada (0-4%)	61.09	16.97%
06	33	Planicie de litología Volcánica ondulada fuertemente inclinada (8-15%)	20.07	5.58%
07	34	Planicie de litología volcánica ondulada moderadamente empinada (15-25%)	0.44	0.12%
08	35	Planicie de litología volcánica ondulada moderadamente inclinada (4-8%)	8.38	2.33%
09	43	Valle coluvio aluvial intercolinoso/Inter montañoso (0-4%)	16.02	4.45%
10	99	Laguna	0.53	0.15%
11	996	Área Urbana	0.02	0.01%

Nota: Esta tabla muestra los porcentajes de área que ocupa cada clasificación fisiográfica en la cuenca. La información fue adaptado de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) en el ámbito de la Región Ayacucho (Gobierno Regional de Ayacucho, 2012c).

3.2.4. Suelos

Las unidades cartográficas de la cuenca de interés están descritas en 9 subgrupos de suelos, basándose en su morfología, por sus características biológicas y físico-químicas, teniendo en cuenta las unidades taxonómicas que la conforman. La clasificación de los suelos de acuerdo al SoilTaxonomy (USDA, 2006) se indica a mayor detalle en la siguiente tabla.

Tabla 16*Clasificación de Suelos en la Cuenca*

<i>Ítem</i>	<i>Código</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Porcentaje</i>
01	3	Lithic Cryopsamments	2.998	0.83%
02	4	Lithic Cryorthents	9.228	2.56%
03	8	Lithic Haplocryands	187.299	52.04%
04	28	Typic Haplocryands	110.744	30.77%
05	29	Typic Haplustands	10.883	3.02%
06	41	Typic Ustorthents	36.504	10.14%
07	43	Vermic Udorthents	1.729	0.48%
08	99	Lagunas	0.525	0.15%
09	996	Area Urbana	0.019	0.01%

Notas: Esta tabla muestra los porcentajes de área que ocupa cada clasificación de suelos en la cuenca. La información fue adaptado de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) en el ámbito de la Región Ayacucho (Gobierno Regional de Ayacucho, 2012c).

Para apreciar con mayor detalle la clasificación de suelos en la cuenca del río Moyoc ver el Mapa 05.

3.2.5. Uso actual de Suelos

La cobertura vegetal en la cuenca de estudio se muestra de una manera integral para todo el ámbito. Se identificó un total de seis tipos de unidades de cobertura vegetal siendo los más predominantes en la cuenca el uso de la actividad agrícola y pecuaria como se muestra en la siguiente tabla.

Para apreciar con mayor detalle los tipos de usos de suelos distribuidos en la cuenca del río Moyoc ver el Mapa 06.

Tabla 17*Clasificación de Uso Actual de los Suelos en la Cuenca*

<i>Ítem</i>	<i>Código</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Porcentaje</i>
01	4	Áreas con forestal nativo	0.093	0.03%
02	6	Uso pecuario	131.081	36.40%
03	8	Lagunas	0.525	0.15%
04	10	Uso urbano	0.019	0.01%
05	5	Áreas con muy escasa vegetación	3.838	1.07%
06	1	Áreas con actividad agrícola	224.373	62.34%

Notas: Esta tabla muestra los porcentajes de área que ocupa cada clasificación de uso actual de suelos en la cuenca. La información fue adaptado de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) en el ámbito de la Región Ayacucho (Gobierno Regional de Ayacucho, 2012b).

3.2.6. Vegetación

Los tipos de cobertura vegetal identificados para la cuenca de estudio se presenta en la Tabla 18, siendo las áreas de cultivo y pajonal las más predominantes en la cuenca.

Tabla 18

Clasificación de la vegetación en la cuenca

<i>Ítem</i>	<i>Código</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Porcentaje</i>
01	1	Áreas con muy escasa vegetación	3.838	1.07%
02	2	Áreas de Cultivo	224.37	62.34%
03	996	Áreas Urbanas	0.019	0.01%
04	3	Bofedales	5.463	1.52%
05	11	Bosque de Titanca	0.094	0.03%
06	14	Césped de Puna	11.074	3.08%
07	99	Lagunas	0.525	0.15%
08	15	Pajonal	114.545	31.82%

Notas: Esta tabla muestra los porcentajes de área que ocupa cada clasificación de la vegetación en la cuenca. La información fue adaptada de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) en el ámbito de la Región Ayacucho (Gobierno Regional de Ayacucho, 2012b).

Para apreciar con mayor detalle la distribución de cobertura vegetal distribuidos en la cuenca del río Moyoc ver el Mapa 07.

3.3. Recolección de Datos

3.3.1. Información Cartográfica

Para la ejecución del presente estudio se ha recopilado información cartográfica elaborada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Además de esta información se han obtenido ráster del ALOS PALSAR.

Tabla 19

Cartografía

<i>Ítem</i>	<i>Nombre</i>	<i>Código</i>	<i>Escala</i>	<i>Entidad</i>
01	Ayacucho	27-ñ	1:100 000	IGN
02	Huancayo	28-ñ	1:100 000	IGN

Nota: La tabla muestra las dos cartas nacionales que abarca la cuenca de estudio y constan de información hidrográfica e hipsográfica. Fuente (Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2013).

Tabla 20

Información Raster

<i>Ítem</i>	<i>Nombre</i>	<i>Tamaño de Pixel</i>	<i>Entidad</i>
01	AP_26928_FBS_F6910	12.5 m	JAXA

Nota: La tabla muestra el DEM del ALOS PALSAR con una resolución de 12.5 metros. Fuente (Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA), 2011).

3.3.2. Información Meteorológica

La información meteorológica fue recopilada de los planillones del SENAMHI y de la Oficina de Operación y Mantenimiento (OPEMAN) del Gore Ayacucho.

La selección de las estaciones fue realizada mediante el empleo del polígono de Thiessen como se muestra en la Figura 13. Para ello se usó el software QGIS.

A continuación, en la Tabla 21 se presentan un listado con el nombre y ubicación de las estaciones que serán utilizadas para la monografía técnica.

Tabla 21

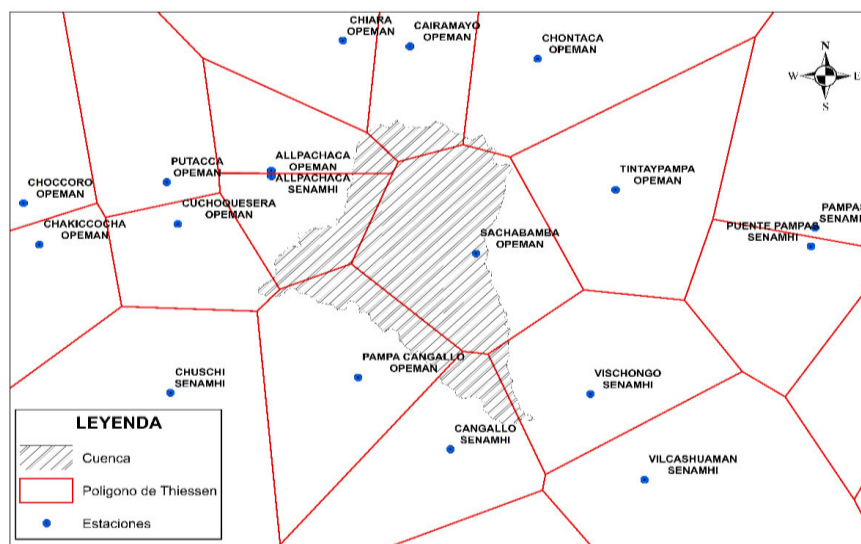
Estaciones Pluviométricas

<i>ID</i>	<i>Estación</i>	<i>Altitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	<i>Periodo de Registro</i>	<i>Operado</i>
01	Allpachaca	3 550	74°16'00.00"O	13°22'60.00"S	1992 – 2010	Senamhi
02	Cangallo	3 351	74°07'00.00"O	13°38'00.00"S	Inoperativa	Senamhi
03	Sachabamba	3 555	74°05'45.00"O	13°27'27.00"S	1992 – 2020	Opeman
04	Pampa Cangallo	3 375	74°11'37.00"O	13°34'09.00"S	2013 – 2020	Opeman
05	Allpachaca	3 328	74°15'60.00"O	13°23'19.00"S	1995 - 2020	Opeman

Nota: La tabla muestra las estaciones que tienen mayor rango de influencia dentro de la cuenca de estudio. Fuente (SENAMHI, 2020) & (OPEMAN, 2020).

Figura 13

Polígonos de Thiessen



Nota: Elaboración Propia

En la Figura 13 se puede apreciar la influencia que las estaciones tienen dentro de la cuenca. La estación Cangallo registrada por Senamhi no se encuentra operativa, por lo que no se ha podido conseguir datos de esta estación. Además, debido a la poca influencia de la estación Cangallo se ha tomado datos de la estación Pampa Cangallo en ese sector debido a la similitud de altitudes y a la cercanía entre ambas estaciones (10 km aproximadamente).

3.3.3. Información Granulométrica

Se realizaron 2 calicatas en los puntos cercanos a los estribos del puente, ya que no existirá pilares, las cuales fueron analizadas con el objetivo de conocer los indicadores granulométricos como el D50.

Tabla 22

Coordenadas de las Calicatas

<i>Calicatas</i>	<i>Coordenadas</i>	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
CH-01	600 804.33	8 503 329.37
CH-02	600 825.99	8 503 287.52

Nota: La tabla muestra la ubicación de calicatas en los estribos.

3.4. Caracterización Fisiográfica de la Cuenca

Utilizando el software QGIS (QGIS, 2002) se ha determinado las características físicas de la cuenca de acuerdo a la ubicación del puente, los cuales son imprescindibles para calcular los caudales máximos de diseño.

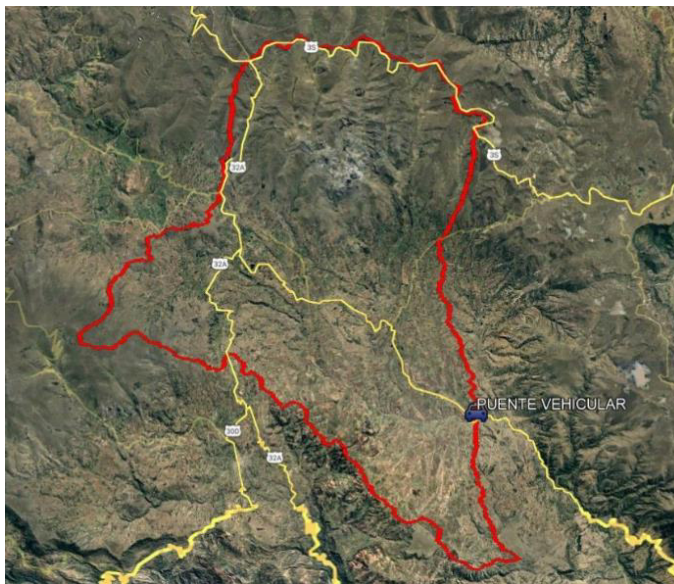
3.4.1. Parámetros Físicos de la Cuenca

a. Área de la Cuenca

Tiene un área aproximadamente de 359.929 km², abarcando altitudes de 4 363 msnm y 3 307 msnm como se muestra en la siguiente figura.

Figura 14

Área de la Cuenca



Nota: En la figura se muestra la cuenca delimitada. Elaboración Propia.

b. Perímetro de la Cuenca

El perímetro es de 145.85 km.

3.4.2. Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

a. Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius

Se consigue al reemplazar la ecuación (1) como se aprecia:

$$K_c = \frac{145.85}{\left(2\pi \sqrt{\frac{359.929}{\pi}}\right)}$$

$$K_c = 0.28 \frac{145.85}{\sqrt{359.929}}$$

$$K_c = 2.153$$

b. Rectángulo Equivalente

Se calculó al reemplazar las ecuaciones (2) y (3), respectivamente.

- Lado mayor del rectángulo

$$L = \frac{2.153\sqrt{359.929}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{2.153}\right)^2}\right)$$

$$L = 67.62 \text{ km}$$

- Lado menor del rectángulo

$$l = \frac{2.153\sqrt{359.929}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{2.153}\right)^2}\right)$$

$$l = 5.32 \text{ km}$$

c. Factor de Forma

Se obtuvo al reemplazar la ecuación (4) como se muestra:

$$K_f = \frac{359.93}{23.57^2}$$

$$K_f = 0.647$$

d. Longitud del Cauce Principal

A continuación, la longitud del cauce principal para la cuenca del río

Moyoc.

$$L_c = 23.57 \text{ km}$$

3.4.3. Parámetros de Relieve de la Cuenca

a. Pendiente Media de la Cuenca

Es el grado de desnivel de la cuenca y se calculó usando el criterio de Alvord ecuación (5), teniendo como resultado una pendiente media del 20.05 %.

b. Curva Hipsométrica

En la Tabla 23 se observa los resultados, mientras que en la Figura 15 se aprecia la curva hipsométrica de la cuenca.

Tabla 23

Áreas Parciales a Diferencia de Cotas de la Cuenca

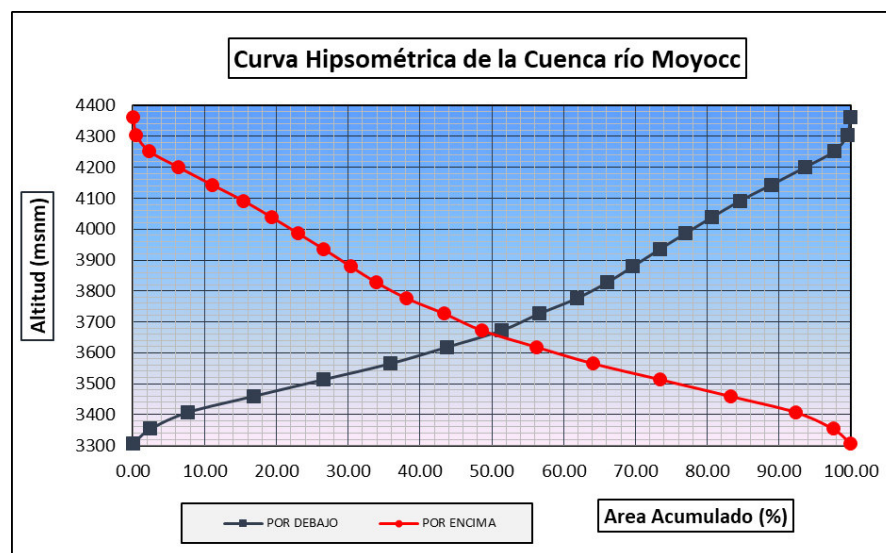
<i>Altitud m.s.n.m</i>	<i>Áreas parciales</i>		<i>Áreas acumuladas</i>			
	<i>Km²</i>	<i>%</i>	<i>Áreas acum. por debajo Km</i>	<i>%</i>	<i>Áreas acum. por encima Km</i>	<i>%</i>
Punto más bajo						
3307	0	0	0	0	359.62	100.00
3354	8.73	2.43	8.73	2.43	350.88	97.57
3408	18.88	5.25	27.61	7.68	332.01	92.32
3460	32.76	9.11	60.37	16.79	299.24	83.21
3514	35.08	9.75	95.45	26.54	264.17	73.46
3566	33.74	9.38	129.19	35.92	230.43	64.08
3619	28.25	7.86	157.44	43.78	202.18	56.22
3673	27.34	7.60	184.78	51.38	174.84	48.62
3727	18.78	5.22	203.56	56.60	156.06	43.40
3777	19.00	5.28	222.55	61.89	137.07	38.11
3828	15.08	4.19	237.63	66.08	121.99	33.92
3880	12.93	3.60	250.56	69.67	109.06	30.33
3936	13.50	3.75	264.05	73.43	95.57	26.57
3987	12.84	3.57	276.89	77.00	82.73	23.00
4038	12.99	3.61	289.88	80.61	69.73	19.39
4092	14.22	3.95	304.11	84.56	55.51	15.44
4143	15.53	4.32	319.64	88.88	39.98	11.12
4201	17.17	4.78	336.81	93.66	22.81	6.34
4253	14.72	4.09	351.54	97.75	8.08	2.25
4305	6.34	1.76	357.88	99.52	1.74	0.48
4363	1.74	0.48	359.62	100.00	0.00	0.00
Punto más alto						

Nota: En la tabla se muestra las sub-áreas siguiendo las curvas de nivel de la cuenca de estudio.

Elaboración propia.

Figura 15

Curva Hipsométrica de la cuenca



Nota: En la figura se muestra el porcentaje de área de la cuenca que existe por encima y por debajo de cierta cota. Elaboración propia.

c. Altitud Mediana

Se elaboró al interceptar las curvas en la Figura 15, obteniéndose una altitud media de 3 670 msnm.

d. Altitud Media Simple

Se obtuvo calculando el promedio entre la elevación más elevada y la elevación más inferior de la cuenca.

$$H_{ms} = \frac{4363 - 3307}{2}$$

$$H_{ms} = 3835 \text{ msnm}$$

e. Altitud Media Ponderada

Se obtuvo al reemplazar los datos de la Tabla 24 en la ecuación (6).

Tabla 24

Cálculo de Áreas Parciales de la Cuenca

N°	ai	ci	$ai.ci$	N°	ai	ci	$ai.ci$
1	8.73	3330.5	29085.15	11	12.93	3854.0	49828.00
2	18.88	3381.0	63820.07	12	13.50	3908.0	52738.46
3	32.76	3434.0	112512.86	13	12.84	3961.5	50858.85
4	35.08	3487.0	122315.24	14	12.99	4012.5	52135.54
5	33.74	3540.0	119427.43	15	14.22	4065.0	57814.46
6	28.25	3592.5	101481.95	16	15.53	4117.5	63940.91
7	27.34	3646.0	99679.93	17	17.17	4172.0	71650.84
8	18.78	3700.0	69492.36	18	14.72	4227.0	62241.91
9	19	3752.0	71270.41	19	6.34	4279.0	27145.57
10	15.08	3802.5	57328.63	20	1.74	4334.0	7536.42
					359.62		1342305

Nota: Elaboración propia

$$H_{mp} = \frac{1342305}{359.62}$$

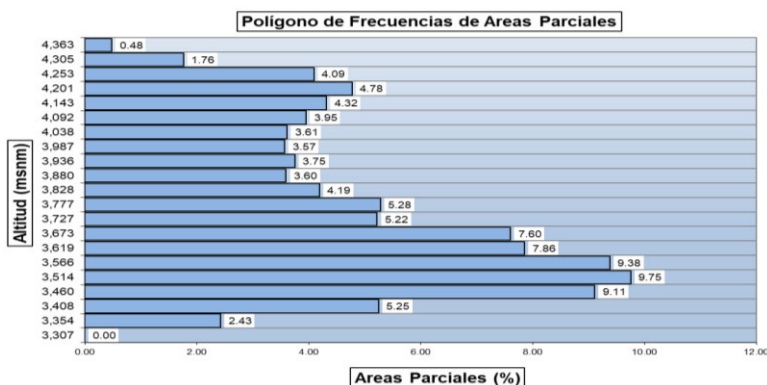
$$H_{mp} = 3732.59 \text{ msnm}$$

f. Polígono de Frecuencia

Se realizó una gráfica de las áreas parciales en (%) a altitudes diferentes.

Figura 16

Polígono de Frecuencia de la Cuenca



Nota: Elaboración propia.

3.4.4. Parámetros Hidráulicos del Cauce

a. Perfil Longitudinal del Río

En la Figura 17 se observa el perfil longitudinal del río principal, obtenidos con los datos de la Tabla 25.

Tabla 25

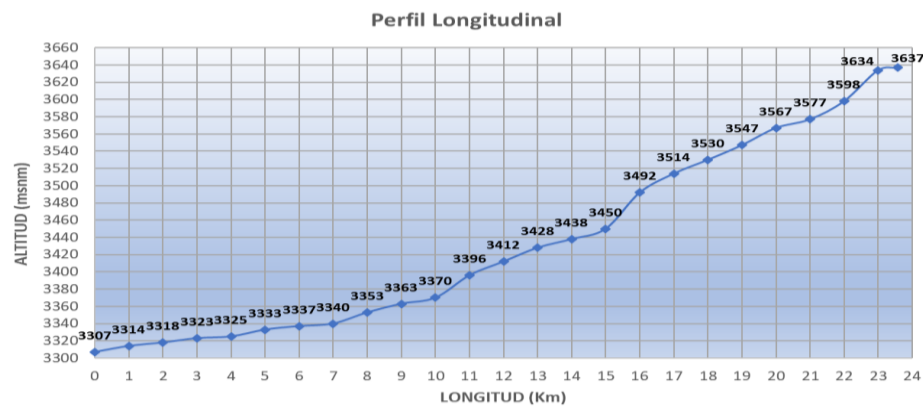
Longitud del Río a diferentes Altitudes

Nº	Cota m.s.n.m	Long. Km	Longitud Acumulada km	Nº	Cota m.s.n.m	Long. Km	Longitud Acumulada km
1	3307	0.00	0.00	14	3428	1.00	13.00
2	3314	1.00	1.00	15	3438	1.00	14.00
3	3318	1.00	2.00	16	3450	1.00	15.00
4	3323	1.00	3.00	17	3492	1.00	16.00
5	3325	1.00	4.00	18	3514	1.00	17.00
6	3333	1.00	5.00	19	3530	1.00	18.00
7	3337	1.00	6.00	20	3547	1.00	19.00
8	3340	1.00	7.00	21	3567	1.00	20.00
9	3353	1.00	8.00	22	3577	1.00	21.00
10	3363	1.00	9.00	23	3598	1.00	22.00
11	3370	1.00	10.00	24	3634	1.00	23.00
12	3396	1.00	11.00	25	3637	0.57	23.57
13	3412	1.00	12.00				

Nota: En la tabla se muestra las cotas cada 1 km de longitud del río. Elaboración propia.

Figura 17

Perfil longitudinal del Río



Nota: Elaboración Propia.

Nota: Elaboración Propia.

$$S = \left(\frac{24}{132.159}\right)^2$$

$$S = 0.033 \text{ m/m}$$

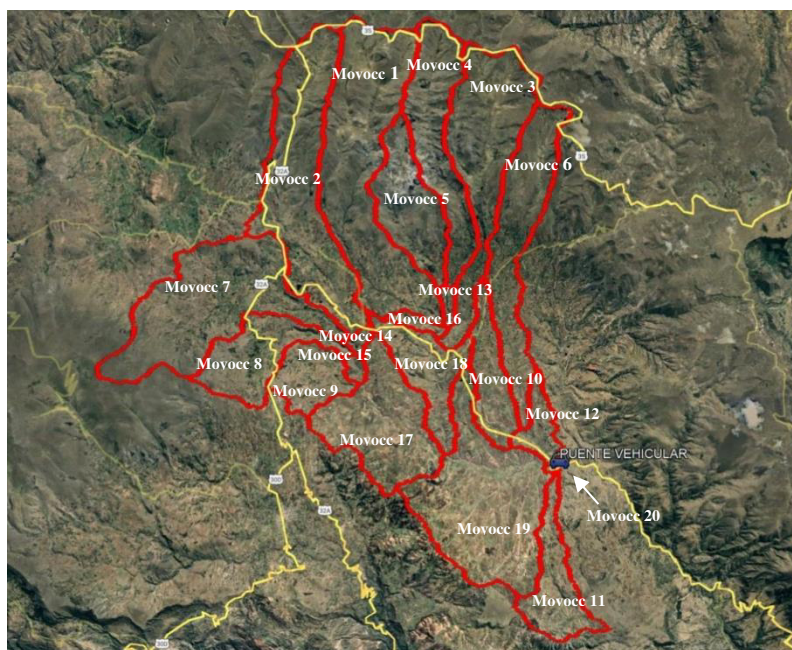
3.4.5. Número de Curva

Para la obtención de la curva número se ha tomado en consideración el estudio “Generación del mapa temático de curva número (CN)” (ANA, 2015).

Se subdividió la cuenca del río Moyocc en subcuencas menores que no excedan los 50 km² como se aprecia la Figura 18, con el objetivo de poder tener una mejor discretización del CN para condiciones normales. Los valores de CN en la cuenca de estudio varían desde un valor de 66 a 77, siendo el valor más repetitivo de 77 como se muestra en la Tabla 27.

Figura 18

Subcuenca de Estudio Subdividido en Subcuencas



Nota: Elaboración Propia

Tabla 27

Valores de CN

<i>Codigo Subcuenca</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>CN II</i>	<i>Codigo Subcuenca</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>CN II</i>
Moyocc 1	45.39	77	Moyocc 11	12.64	75
Moyocc 2	38.78	77	Moyocc 12	5.63	75
Moyocc 3	29.67	77	Moyocc 13	1.35	77
Moyocc 4	21.88	77	Moyocc 14	1.14	77
Moyocc 5	16.84	77	Moyocc 15	1.26	77
Moyocc 6	25.08	77	Moyocc 16	1.79	77
Moyocc 7	39.22	77	Moyocc 17	26.06	77
Moyocc 8	15.61	77	Moyocc 18	13.97	77
Moyocc 9	10.00	77	Moyocc 19	41.97	72
Moyocc 10	11.6	77	Moyocc 20	0.06	66

Nota: Adaptado del “Mapa de Número de Curva para condiciones normales” (ANA, 2015).

Elaboración propia.

3.4.6. Tiempo de Concentración

Se realizó el cálculo de los parámetros físicos de todas las subcuencas y se estimó el tiempo de concentración por los métodos de Kirpich y de retardo SCS utilizando las ecuaciones (9) y (10), respectivamente.

En base al tiempo de concentración promedio obtenidos por los métodos de Kirpich y la ecuación de retardo SCS, se calcula el Tlag o tiempo de retardo usando la ecuación (11) como se puede apreciar en la Tabla 30.

Tabla 28*Tiempo de Concentración por el Método de Kirpich*

<i>Código Subcuencas</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Long. cauce (km)</i>	<i>H. min (m.s.n.m)</i>	<i>H. máx. (m.s.n.m)</i>	<i>S (m/m)</i>	<i>Tc (min)</i>	<i>Tc (hr)</i>
Moyocc 1	45.39	20.24	3436	4253	0.0404	138.65	2.31
Moyocc 2	38.78	18.89	3478	4274	0.0421	129.26	2.15
Moyocc 3	29.67	17.36	3422	4320	0.0517	111.94	1.87
Moyocc 4	21.88	15.23	3501	4304	0.0527	100.47	1.67
Moyocc 5	16.84	10.76	3501	4276	0.0721	68.16	1.14
Moyocc 6	25.08	18.5	3348	4316	0.0523	117.07	1.95
Moyocc 7	39.22	19.07	3478	4246	0.0403	132.53	2.21
Moyocc 8	15.61	10.8	3446	4017	0.0529	77.01	1.28
Moyocc 9	10.00	6.83	3428	3702	0.0401	60.21	1.00
Moyocc 10	11.6	10.59	3348	3638	0.0274	97.7	1.63
Moyocc 11	12.64	10.32	3312	3812	0.0485	76.92	1.28
Moyocc 12	5.63	6.13	3314	3527	0.0347	58.59	0.98
Moyocc 13	1.35	2.65	3437	3579	0.0535	26.02	0.43
Moyocc 14	1.14	2.12	3446	3567	0.0571	21.36	0.36
Moyocc 15	1.26	2.24	3428	3555	0.0566	22.38	0.37
Moyocc 16	1.79	4.05	3422	3601	0.0442	38.83	0.65
Moyocc 17	26.06	9.44	3340	3558	0.0231	95.55	1.59
Moyocc 18	13.97	9.94	3340	3568	0.0229	99.71	1.66
Moyocc 19	41.97	10.3	3316	3451	0.0131	127.11	2.12
Moyocc 20	0.06	0.75	3310	3344	0.0452	10.52	0.18

Nota: En la tabla se muestra los parámetros fisiográficos de cada subcuenca con el objetivo de estimar el tiempo de concentración mediante la ecuación de Kirpich. Elaboración propia.

Tabla 29*Tiempo de Concentración Usando la Ecuación de Retardo SCS*

Código Subcuenca	Área (km²)	Long. cauce (km)	H. mín (m.s.n.m)	H. máx. (m.s.n.m)	S (m/m)	CN	Tc (min)	Tc (hr)
Moyocc 1	45.39	20.24	3436	4253	0.0404	77	496.6	8.28
Moyocc 2	38.78	18.89	3478	4274	0.0421	77	459.7	7.66
Moyocc 3	29.67	17.36	3422	4320	0.0517	77	387.9	6.47
Moyocc 4	21.88	15.23	3501	4304	0.0527	77	346.0	5.77
Moyocc 5	16.84	10.76	3501	4276	0.0721	77	224.1	3.74
Moyocc 6	25.08	18.5	3348	4316	0.0523	77	405.9	6.77
Moyocc 7	39.22	19.07	3478	4246	0.0403	77	473.9	7.90
Moyocc 8	15.61	10.8	3446	4017	0.0529	77	262.4	4.37
Moyocc 9	10.00	6.83	3428	3702	0.0401	77	208.9	3.48
Moyocc 10	11.6	10.59	3348	3638	0.0274	77	358.8	5.98
Moyocc 11	12.64	10.32	3312	3812	0.0485	75	280.2	4.67
Moyocc 12	5.63	6.13	3314	3527	0.0347	75	218.3	3.64
Moyocc 13	1.35	2.65	3437	3579	0.0535	77	84.9	1.42
Moyocc 14	1.14	2.12	3446	3567	0.0571	77	68.7	1.15
Moyocc 15	1.26	2.24	3428	3555	0.0566	77	72.1	1.20
Moyocc 16	1.79	4.05	3422	3601	0.0442	77	131.1	2.19
Moyocc 17	26.06	9.44	3340	3558	0.0231	77	356.6	5.94
Moyocc 18	13.97	9.94	3340	3568	0.0229	77	373.1	6.22
Moyocc 19	41.97	10.3	3316	3451	0.0131	72	585.7	9.76
Moyocc 20	0.06	0.75	3310	3344	0.0452	66	45.6	0.76

Nota: En la tabla se muestra los parámetros fisiográficos de cada subcuenca con el objetivo de estimar el tiempo de concentración mediante la ecuación de retardo SCS. Elaboración propia.

Tabla 30*Tiempo de Retardo Tlag*

<i>Codigo Subcuenca</i>	<i>Tc Kirpich (min)</i>	<i>Tc Kirpich (hrs)</i>	<i>Tc SCS (min)</i>	<i>Tc SCS (hrs)</i>	<i>Tc Prom. (min)</i>	<i>Tc Prom. (hrs)</i>	<i>Tlag (min)</i>	<i>Tlag (hr)</i>
Moyocc 1	138.65	2.31	496.65	8.28	317.65	5.29	190.59	3.18
Moyocc 2	129.26	2.15	459.77	7.66	294.52	4.91	176.71	2.95
Moyocc 3	111.94	1.87	387.9	6.47	249.92	4.17	149.95	2.50
Moyocc 4	100.47	1.67	346.01	5.77	223.24	3.72	133.94	2.23
Moyocc 5	68.16	1.14	224.11	3.74	146.13	2.44	87.68	1.46
Moyocc 6	117.07	1.95	405.91	6.77	261.49	4.36	156.89	2.61
Moyocc 7	132.53	2.21	473.98	7.90	303.25	5.05	181.95	3.03
Moyocc 8	77.01	1.28	262.43	4.37	169.72	2.83	101.83	1.70
Moyocc 9	60.21	1.00	208.92	3.48	134.57	2.24	80.74	1.35
Moyocc 10	97.7	1.63	358.85	5.98	228.27	3.80	136.96	2.28
Moyocc 11	76.92	1.28	280.26	4.67	178.59	2.98	107.15	1.79
Moyocc 12	58.59	0.98	218.38	3.64	138.48	2.31	83.09	1.38
Moyocc 13	26.02	0.43	84.9	1.42	55.46	0.92	33.28	0.55
Moyocc 14	21.36	0.36	68.71	1.15	45.04	0.75	27.02	0.45
Moyocc 15	22.38	0.37	72.18	1.20	47.28	0.79	28.37	0.47
Moyocc 16	38.83	0.65	131.16	2.19	85	1.42	51.00	0.85
Moyocc 17	95.55	1.59	356.69	5.94	226.12	3.77	135.67	2.26
Moyocc 18	99.71	1.66	373.13	6.22	236.42	3.94	141.85	2.36
Moyocc 19	127.11	2.12	585.75	9.76	356.43	5.94	213.86	3.56
Moyocc 20	10.52	0.18	45.63	0.76	28.07	0.47	16.84	0.28

Nota: En la tabla se muestra el tiempo de concentración promedio y el tiempo de retardo

calculado. Elaboración propia.

3.5. Análisis de Precipitaciones

3.5.1. Registro de Precipitación Máxima en 24 Horas

En la Tabla A del Apéndice A se muestra las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación Allpachaca operado por Senamhi y las estaciones Allpachaca, Sachabamba y Pampa Cangallo operados por Opeman.

Estos datos históricos fueron corregidos tal como se aprecia en la Tabla 31 en conformidad a la guía de prácticas hidrológicas de la (OMM, 2011), donde recomienda multiplicar los datos por el factor de observación diaria 1.13, ya que se acerca a valores reales.

Tabla 31

Precipitaciones Máximas en 24 Horas Corregidas

<i>Año</i>	<i>Estación Allpachaca Senamhi</i>	<i>Estación Allpachaca Opeman</i>	<i>Estación Sachabamba Opeman</i>	<i>Estación Pampa Cangallo Opeman</i>
1992	51.64	39.89		
1993	64.86	42.83		
1994	40.57	58.99		
1995	38.99	27.69	60.57	
1996	43.05	31.98	43.51	
1997	31.98	47.12	58.42	
1998	39.78	35.26	33.00	
1999	23.84	32.32	27.57	
2000	47.35	46.90	29.38	
2001	32.21	54.81	47.69	
2002	32.21	46.44	34.80	
2003	28.70	43.39	42.83	
2004	40.68	31.53	33.45	
2005	31.19	53.11	34.69	
2006	31.87	24.30	41.02	
2007	49.16	30.51	34.80	
2008	32.66	20.68	36.50	
2009	31.64	28.70	38.08	
2010	42.26	28.82	39.21	
2011		47.01	36.61	
2012		32.09	26.78	
2013		34.69	38.99	30.28
2014		29.38	44.07	38.42
2015		30.51	33.11	28.02
2016		25.99	24.63	38.42
2017		35.26	40.68	56.50
2018		23.39	49.38	29.95
2019		40.34	35.37	42.26

Nota: Elaboración propia.

3.5.2. Prueba de Datos Dudosos

La prueba de datos dudosos (outliers) tiene como fin obtener datos que se distancien de los demás datos históricos, ya que estos datos pueden afectar los cálculos estadísticos.

En el Apéndice B se muestran los cálculos realizados para cada estación evaluada, mientras que en la Tabla 32 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 32

Resultados de la Prueba de Datos Dudosos

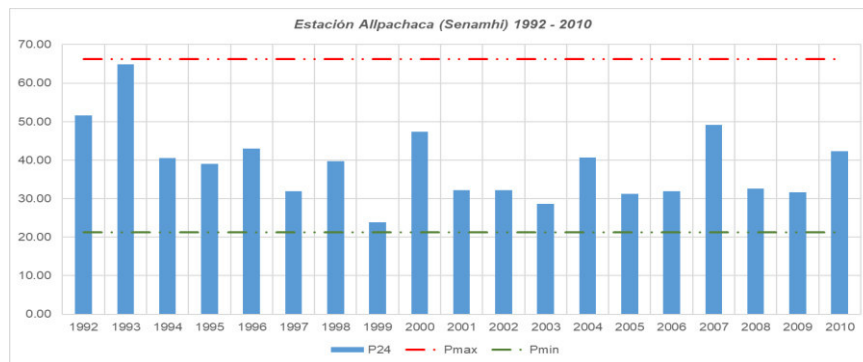
<i>Ítem</i>	<i>Estaciones</i>	<i>Operador</i>	<i>Resultados</i>
01	Allpachaca	Senamhi	No se presentan datos dudosos
02	Allpachaca	Opeman	No se presentan datos dudosos
03	Sachabamba	Opeman	No se presentan datos dudosos
04	Pampa Cangallo	Opeman	No se presentan datos dudosos

Nota: Elaboración propia.

Desde la Figura 19 a la Figura 22 se muestran los datos históricos de las precipitaciones dentro de los límites bajos y altos.

Figura 19

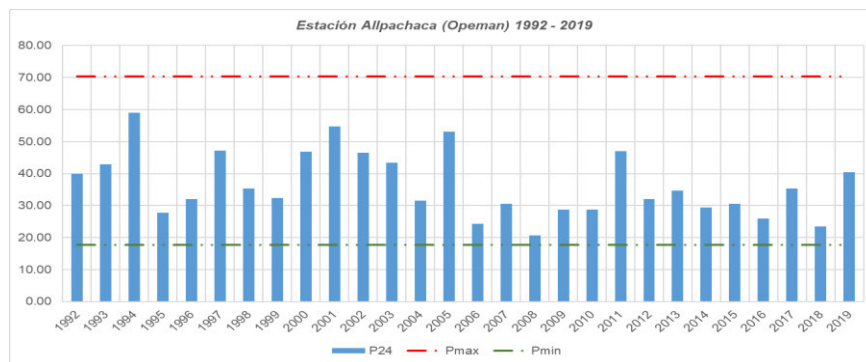
Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Allpachaca (SENAMHI)



Nota: Elaboración propia.

Figura 20

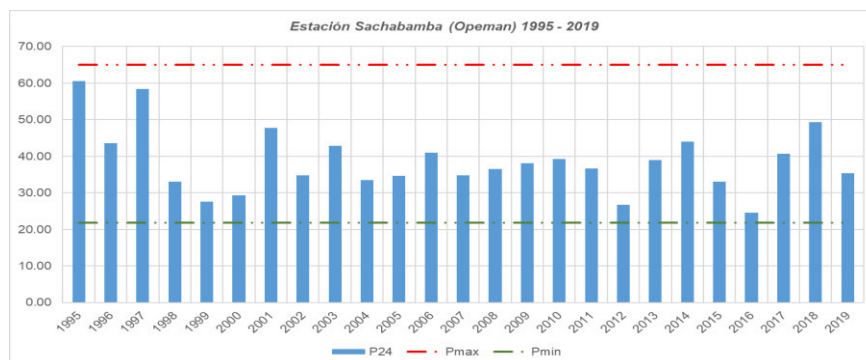
Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Allpachaca (OPEMAN)



Nota: Elaboración propia.

Figura 21

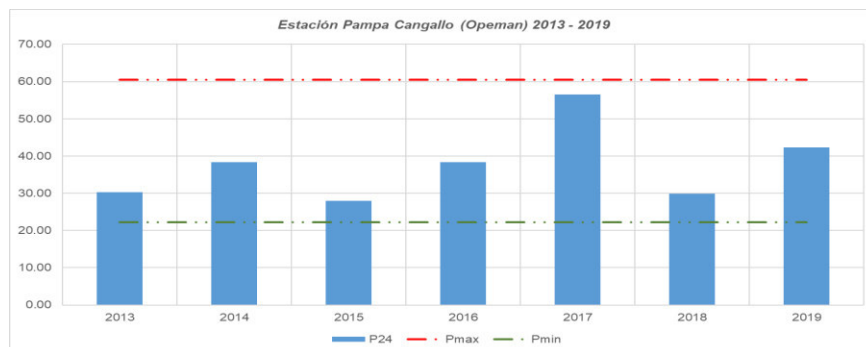
Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Sachabamba



Nota: Elaboración propia.

Figura 22

Gráfico de la Prueba de Datos Dudosos Estación Pampa Cangallo



Nota: Elaboración propia.

3.5.3. Análisis de Bondad de Ajuste

Con el registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas evaluadas a través de la prueba de los datos dudosos, se inició a estimar las máximas precipitaciones. Para ello se realizó la prueba de bondad de ajuste de K-S para encontrar la distribución de frecuencia con el mejor ajuste.

3.5.4. Análisis de Frecuencia

El análisis se desarrolló mediante el software Hydrognomon (Hydrognomon, 2012) para las distribuciones Normal, Log normal, Pearson III, Log Pearson III y Gumbel.

En el Apéndice C se presenta el análisis gráfico de la prueba de bondad de ajuste de K-S para cada una de las estaciones de estudio y distribuciones. En la Tabla 33 se muestran los resultados de los deltas de distribución.

Tabla 33

Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov - Smirnov

<i>Estaciones</i>	<i>Ateórico</i>	<i>Normal</i>	<i>Log Normal</i>	<i>Pearson III</i>	<i>Log Pearson III</i>	<i>Gumbel</i>
Allpachaca Senamhi	0.303	0.181	0.160	0.147	0.157	0.159
Allpachaca Opeman	0.251	0.146	0.108	0.117	0.109	0.101
Sachabamba	0.265	0.090	0.086	0.096	0.088	0.088
Pampa Cangallo	0.489	0.149	0.140	0.133	0.148	0.145

Nota: En la tabla se muestra que la distribución Pearson III es la distribución con una menor discrepancia. Elaboración propia.

3.5.5. Precipitación Máxima Para Diferentes Periodos de Retorno

Las distribuciones que mejor se ajustan a los datos de las precipitaciones máximas en 24 horas corresponden a las distribuciones de Pearson III, Gumbel y

Log Normal, usando estas distribuciones podemos obtener las precipitaciones máximas para distintos tiempos de retorno.

En la Tabla 34 se observan las precipitaciones máximas en 24 horas para los distintos periodos de retorno. Para mayor detalle de los cálculos obtenidos ver el Apéndice D.

Tabla 34

Precipitaciones Para Distintos Periodos de Retorno

<i>T</i> (años)	<i>P(X ≤ X_T)</i>	<i>Allpachaca</i> <i>Senamhi</i>	<i>Allpachaca</i> <i>Opeman</i>	<i>Sachabamaba</i>	<i>Pampa Cangallo</i>
2	0.5	37.0	34.9	37.7	35.8
5	0.8	46.0	43.8	45.4	44.9
10	0.9	51.7	49.7	49.9	50.8
20	0.95	57.0	55.4	54.1	56.5
25	0.96	58.7	57.2	55.4	58.2
50	0.98	63.7	62.7	59.2	63.6
100	0.99	68.6	68.2	62.8	68.9
140	0.993	70.9	70.9	64.5	71.4
200	0.995	73.3	73.7	66.3	74.1
300	0.997	76.1	76.9	68.4	77.1
500	0.998	79.5	80.9	70.9	80.9
1000	0.999	84.1	86.4	74.3	86.0

Nota: En la tabla se muestra las precipitaciones para distintos periodos de retorno aplicando las diferentes distribuciones. Elaboración propia.

3.5.6. Curvas de I–D–F

Se estimaron a partir del modelo de discretización Dick Peschke, ecuación (16). Desde las Tabla E1 a la Tabla E4 del Apéndice E se presentan los valores de las curvas I-D-F obtenidos para cada estación analizada. Además, en la Tabla

35 se presentan las ecuaciones de intensidad para cada estación, cuyos valores de k, m y n se obtuvieron al desarrollar una regresión múltiple.

Tabla 35

Ecuaciones de Intensidad por el Método de Dick Peschke

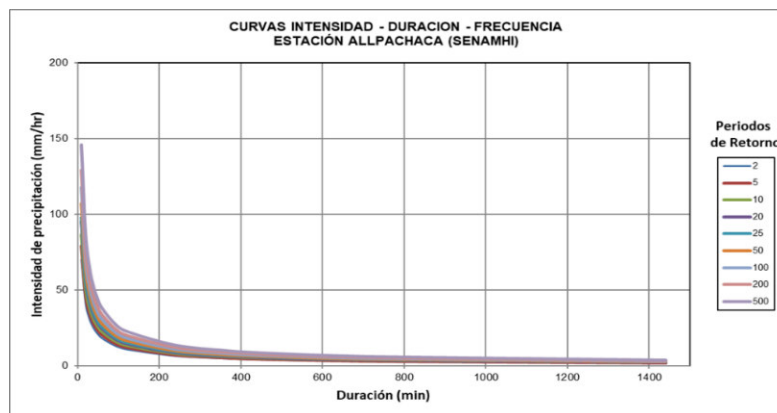
<i>Allpachaca Senamhi</i>	<i>Allpachaca Opeman</i>	<i>Sachabamaba</i>	<i>Pampa Cangallo</i>
$I = \frac{10^{2.5545} T^{0.1330}}{t^{0.75}}$	$I = \frac{10^{2.5241} T^{0.1470}}{t^{0.75}}$	$I = \frac{10^{2.5650} T^{0.1091}}{t^{0.75}}$	$I = \frac{10^{2.5378} T^{0.1422}}{t^{0.75}}$

Nota: Elaboración propia.

Por otro lado, desde la Figura 23 a la Figura 26 se muestran las curvas I-D-F para cada estación analizada y para diferentes periodos de retorno.

Figura 23

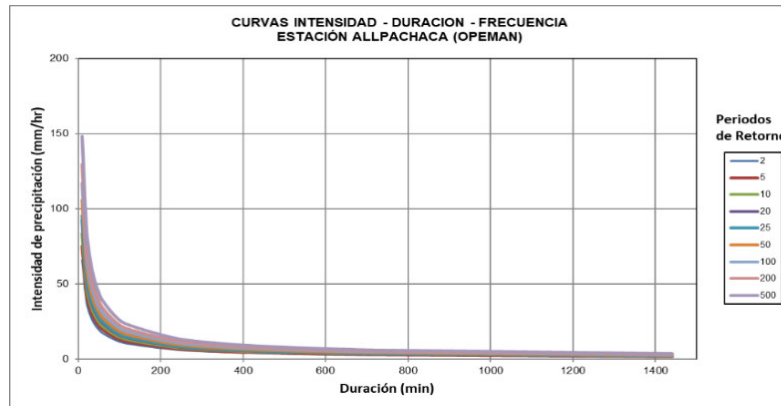
Curva IDF Estación Allpachaca (SENAMHI)



Nota: Elaboración propia

Figura 24

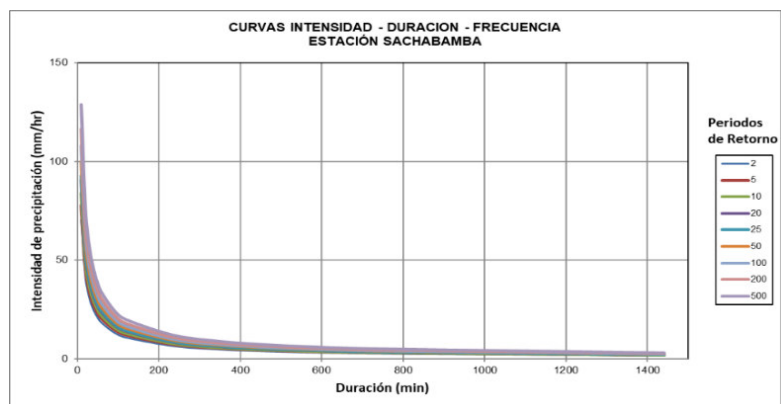
Curva IDF Estación Allpachaca (OPEMAN)



Nota: Elaboración propia

Figura 25

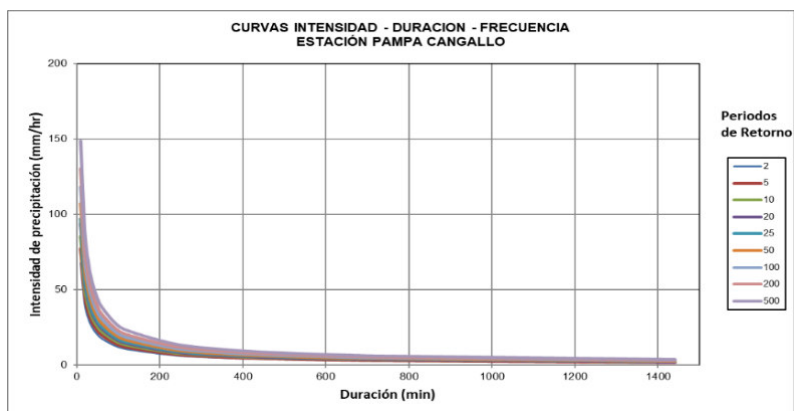
Curva IDF Estación Sachabamba



Nota: Elaboración propia

Figura 26

Curva IDF Estación Pampa Cangallo



Nota: Elaboración propia

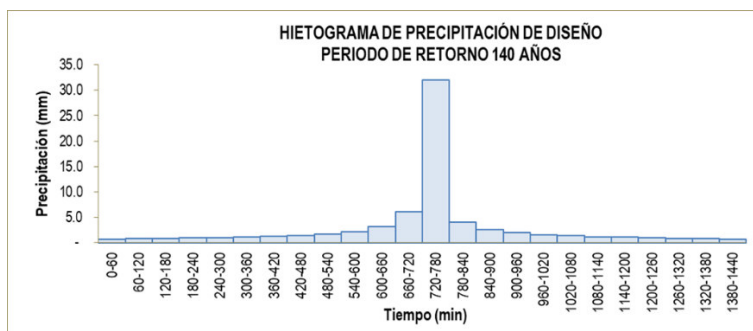
3.5.7. Hietograma de Diseño

Debido a que se dispone de las curvas I-D-F estimados por el método Disk Peschke para un intervalo de 1 hora, el hietograma de diseño fue desarrollado a través del método del bloque alterno para Tr de 140 y 500 años. Desde la Tabla F1 a la Tabla F4 del Apéndice F se presenta a mayor detalle los valores obtenidos por el método del bloque alterno para un Tr de 500 años.

Desde la Figura 27 a la Figura 34 se muestran los hietogramas de la precipitación de diseño para Tr de 140 y 500 años.

Figura 27

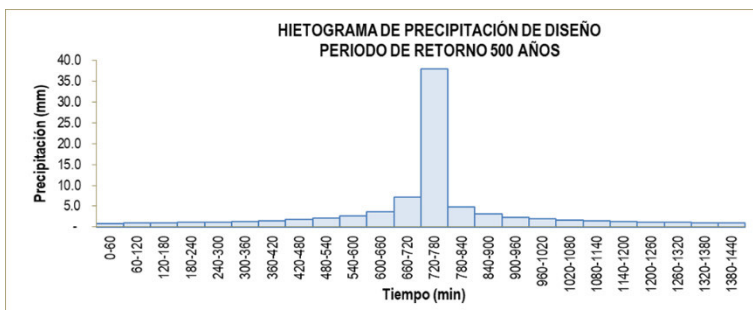
Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Allpachaca (SENAMHI)



Nota: Elaboración propia

Figura 28

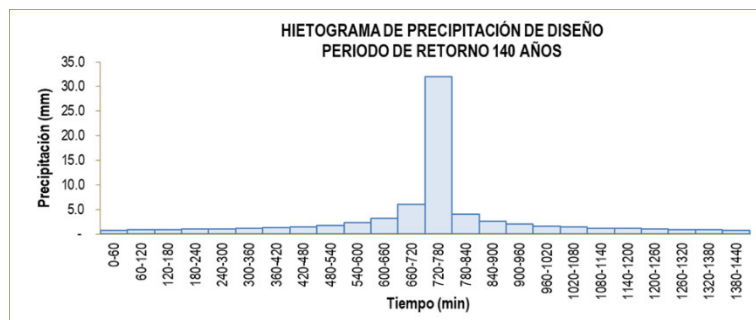
Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Allpachaca (SENAMHI)



Nota: Elaboración propia

Figura 29

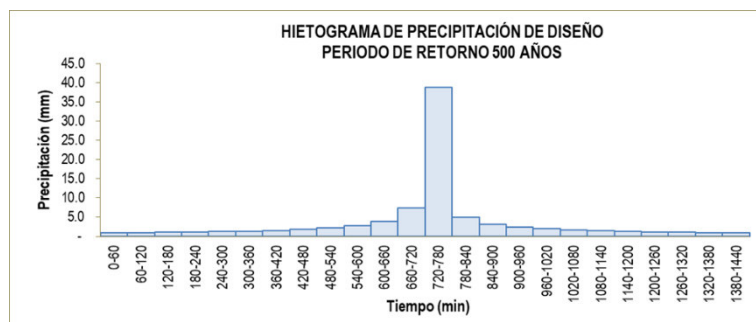
Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Allpachaca (OPEMAN)



Nota: Elaboración propia

Figura 30

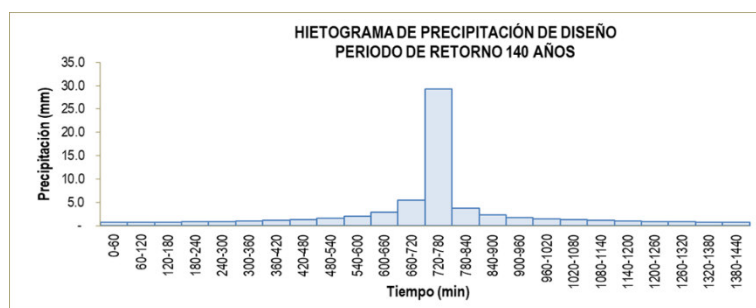
Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Allpachaca (OPEMAN)



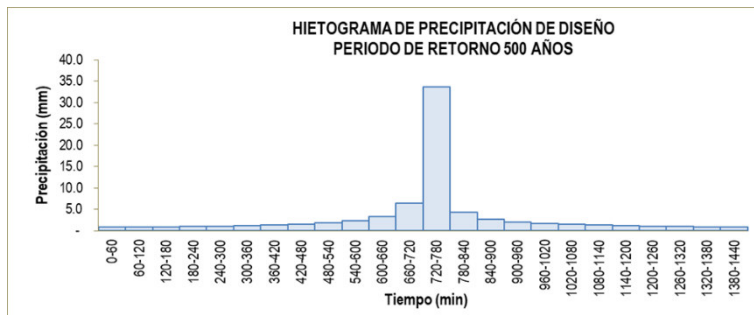
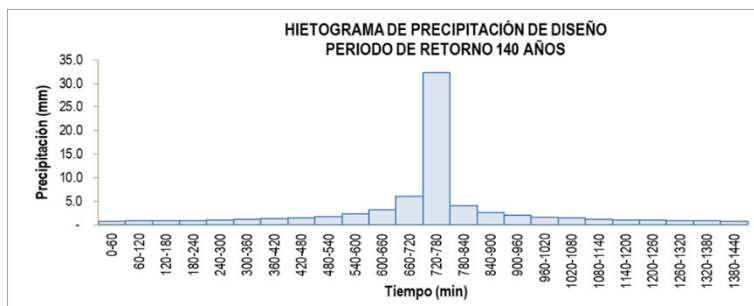
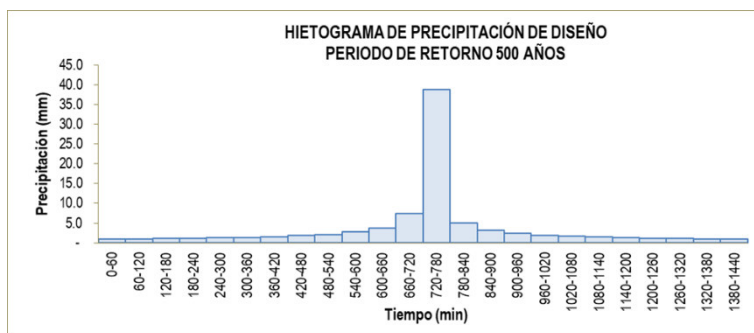
Nota: Elaboración propia

Figura 31

Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Sachabamba



Nota: Elaboración propia

Figura 32*Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Sachabamba**Nota: Elaboración propia***Figura 33***Hietograma de Diseño Tr 140 Estación Pampa Cangallo**Nota: Elaboración propia***Figura 34***Hietograma de Diseño Tr 500 Estación Pampa Cangallo**Nota: Elaboración propia*

3.6. Caudales Máximos

3.6.1. Método del Hidrograma Unitario del Soil Conservation Service (S.C.S)

El método del hidrograma unitario fue elaborado por el *Soil Conservation Service* de los Estados Unidos para el cálculo de los caudales máximos. Para la aplicación del método se recurre al empleo del software HEC-HMS.

Tabla 36

Parámetros de Entrada en las Subcuencas

<i>Subcuenca</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>CN II</i>	<i>Tlag (min)</i>	<i>Subcuenca</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>CN II</i>	<i>Tlag (min)</i>
Moyocc1	45.39	77	190.59	Moyocc11	12.64	75	107.15
Moyocc2	38.78	77	176.71	Moyocc12	5.63	75	83.09
Moyocc3	29.67	77	149.95	Moyocc13	1.35	77	33.28
Moyocc4	21.88	77	133.94	Moyocc14	1.14	77	27.02
Moyocc5	16.84	77	87.68	Moyocc15	1.26	77	28.37
Moyocc6	25.08	77	156.89	Moyocc16	1.79	77	51.00
Moyocc7	39.22	77	181.95	Moyocc17	26.06	77	135.67
Moyocc8	15.61	77	101.83	Moyocc18	13.97	77	141.85
Moyocc9	10.00	77	80.74	Moyocc19	41.97	72	213.86
Moyocc10	11.60	77	136.96	Moyocc20	0.07	66	16.84

Nota: Elaboración propia.

Figura 35

Modelo Hidrológico del HEC-HMS

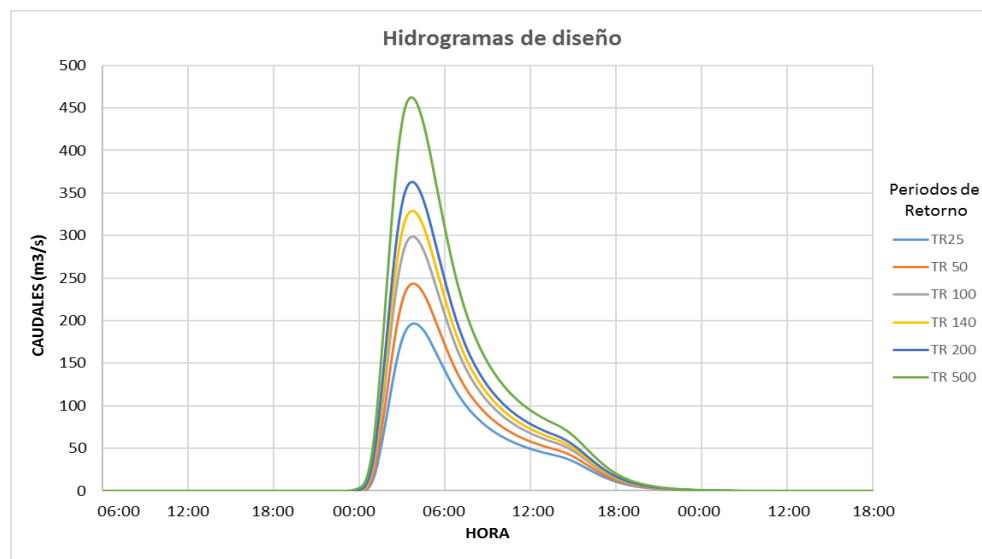


Nota: Elaboración propia

En la Figura 36 se aprecia los hidrogramas de diseño que da como resultado el HEC-HMS y la Tabla 37 se muestran los caudales estimados donde se incluye el caudal para un periodo de retorno de 500 años con lo que se estimará los cálculos de socavación.

Figura 36

Hidrogramas de Diseño



Nota: Elaboración propia

Tabla 37

Caudales Estimados Para el Puente

<i>Subcuenca</i>	<i>Caudal (m³/s)</i>
Caudal Tr 25 años	196.70
Caudal Tr 50 años	243.80
Caudal Tr 100 años	298.90
Caudal nivel de agua Tr 140 años	337.30
Caudal Tr 200 años	362.80
Caudal socavación Tr 500 años	462.40

Nota: Elaboración propia

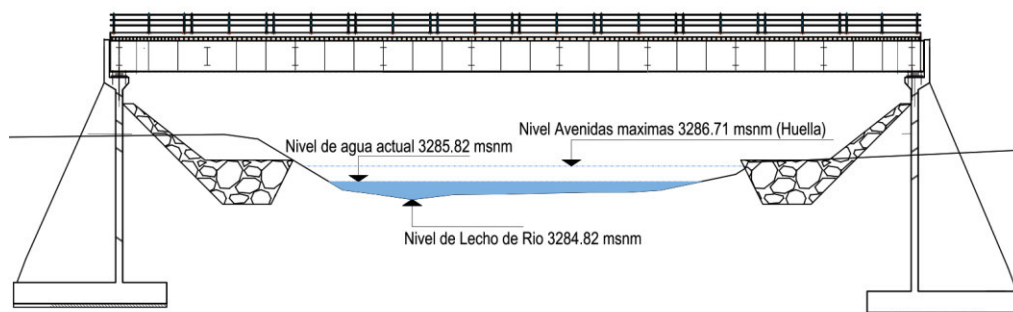
3.7. Calibración del Modelo

3.7.1. Huellas Máximas Recientes

La zona de estudio no cuenta con información hidrométrica, por ese motivo se realizó una visita de campo para identificar una huella probable en el río conjuntamente con el testimonio de los pobladores de la zona. A través de esta información recopilada en campo se procedió a determinar la relación entre los parámetros a fin de indicar que se cuenta con los caudales apropiados para la determinación de las dimensiones correspondientes del puente ya que la zona está conformada por llanuras de inundación que disminuyen considerablemente las velocidades del flujo. La huella de avenida máxima encontrada en campo tiene una altura de 1.89 m a partir del nivel del lecho del río. Cabe indicar, que esta huella no tiene un caudal representativo para algún periodo de retorno.

Figura 37

Bosquejo de los Niveles de Aguas Tomados en Campo



Nota: Elaboración propia

3.7.2. Aforo

El objetivo de la campaña de aforo es la cuantificación del caudal superficial escurrido en la zona cercana a la proyección del puente.

El aforo se realizó el 10 de agosto del 2020 bajo condiciones de déficit de lluvias, dado a la escasa precipitación propia de la temporada de estiaje (mayo-agosto). El instrumental utilizado fue un correntómetro magnético-inductivo para medir velocidades llamado OTT MF pro.

El aforo realizado en el río Moyoc mostró una velocidad media de 2.38 m/s y un caudal total de 0.45 m³/s, este caudal se sustenta en el Apéndice G.

3.7.3. Selección del Coeficiente de Manning

Para la selección del coeficiente de Manning se utilizó el método de Cowan. Para ello se toma en cuenta las observaciones realizadas en campo, además se realizó una comparación entre fotografías de ríos similares a fin de poner tener una mejor referencia del valor de Manning.

Los elementos vinculados a la geomorfología, vegetación y propiedades geométricas se presentan a continuación:

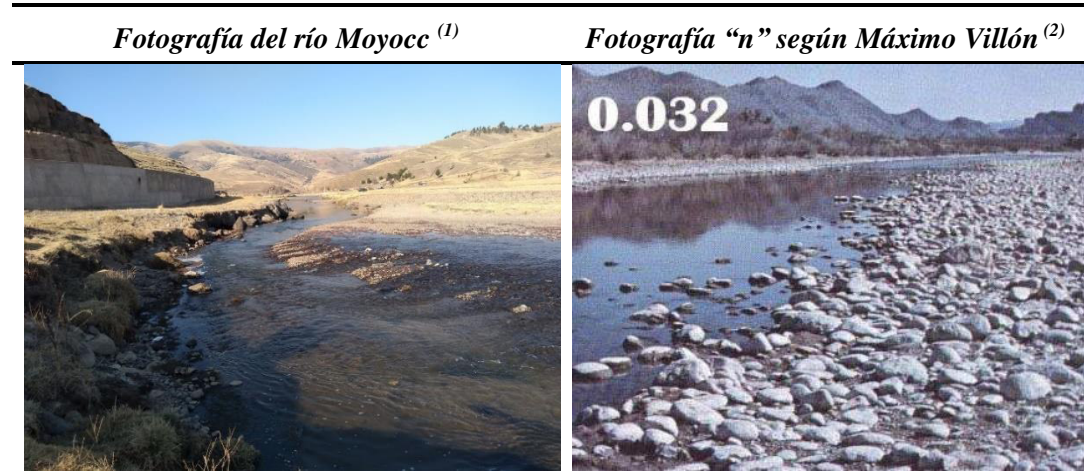
- ✓ Rugosidad del material: Gravoso fino ($n_0=0.024$)
- ✓ Rugosidad por Irregularidad: Suave ($n_1=0.000$)
- ✓ Variaciones en la sección transversal: Gradual ($n_2=0.000$)
- ✓ Producida por obstrucciones: Insignificante ($n_3=0.000$)
- ✓ Vegetación: Bajo ($n_4=0.002$)
- ✓ Por efecto de meandros: Apreciable ($n_5=1.150$)

Reemplazando en la ecuación (19) se tiene un valor de Manning adoptado según Cowan de $n = 0.030$.

Posteriormente se comparó fotografías con similares características.

Figura 38

Cálculo de Coeficiente de Manning



Nota: Elaboración propia.

- (1) Fotografía tomada en dirección aguas abajo de la ubicación del puente.
- (2) Fotografía tomada del libro “Cálculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas” (Villón, 2002).

De la comparación entre ambas metodologías se toma el mayor valor de Manning ($n=0.032$) con el fin de tener una evaluación más conservadora para los cálculos posteriores.

3.7.4. Estimación de Caudal Mediante el Método de Huellas para Calibración

Para conocer los niveles y gastos extremos en el lugar del proyecto correspondientemente al nivel de aguas máximas, se debió tener en cuenta la información de campo de las huellas de crecidas y las características hidráulicas del río (cauce, riberas, llanuras de inundación, etc). Esto significa realizar una descripción exhaustiva de la zona de estudio.

Según José Luis Batista (2011) la velocidad media para el nivel máximo se calcula con la fórmula de Chezy:

$$V_m = C\sqrt{RS} \quad (36)$$

Donde:

V_m : Velocidad media en m/s.

C : Coeficiente de rugosidad del cauce.

R : Radio Hidráulico.

S : Pendiente.

Batista (2011) sugiere que “se sustituye el radio hidráulico por la profundidad media del río siempre y cuando la forma del cauce y las riberas tengan forma de U o V y el ancho del río sea más de diez veces la profundidad” (pp. 55–62).

Por lo tanto, la profundidad media del río (h_m) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$h_m = \frac{\omega}{B} \quad (37)$$

Donde:

h_m : Profundidad media del río en m.

B : Ancho del río en m.

ω : Área de la sección transversal en m^2 .

Disponiendo con los datos tomados en campo y de la información topográfica se elabora el perfil longitudinal para obtener la pendiente del río en el tramo seleccionado, todo ello con el objetivo de calcular el gasto para cada altura de agua mediante la ecuación siguiente:

$$Q = V_m \omega \quad (38)$$

Donde:

Q : Gasto en m^3/s .

V_m : Velocidad media en m/s .

ω : Área de la sección transversal en m^2 .

Reemplazando las ecuaciones (36) y (37) en la ecuación (38) se procedió con el cálculo de caudal.

En la Tabla 38 se menciona los datos obtenidos y en la Tabla 39 se muestra los resultados del cálculo del caudal hidráulico.

Tabla 38

Datos Disponibles Tomados en Campo

<i>Datos</i>		<i>Unidades</i>
Coefficiente de Manning (n):	0.032	-
Coefficiente de Chezy (C):	31.25	-
Altura de la huella (y):	1.89	m
Pendiente del cauce (S):	0.004	m/m
Ancho del cauce (B):	25.18	m

Nota: Elaboración propia

Tabla 39

Cálculo del Caudal Hidráulico

<i>Cálculo del caudal hidráulico</i>		<i>Unidades</i>
Área de la sección (w)	47.59	m^2
Velocidad media (Vm):	2.72	m/s
Caudal (Q):	129.31	m^3/s

Nota: Elaboración propia

3.7.5. Calibración de Caudales

Con el caudal estimado por el método hidráulico se desarrolló un modelamiento hidráulico unidimensional usando el programa HEC-RAS a fin de evaluar los niveles de agua y parámetros hidráulicos en los sectores cercanos al puente y en el sector del puente, con el fin de saber el comportamiento del río en esos sectores. Además, se incluyó el análisis en el puente peatonal tomando los valores recopilados en campo como el caudal aforado y la huella del tirante a fin de extrapolarlo en el estudio.

En la Tabla 40 se aprecia las variaciones de los tirantes del modelo con respecto a lo encontrado en campo. Para mayor detalle de los resultados del modelo HEC-RAS ver el anexo Apéndice H.

Tabla 40

Niveles de Agua del Modelo y Nivel del Agua Encontrado en Campo

<i>Tirantes</i>			
<i>Sección</i>	<i>Tirante del modelo</i>	<i>Tirante medido</i>	<i>Certeza (%)</i>
300	1.86	1.89	98.41%
320	1.33	1.89	70.37%
340	1.53	1.89	80.95%
350 (sección del puente actual)	1.56	1.89	82.53%

Nota: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenido se tuvo una certeza de un 83% en promedio para la sección cercana al puente y donde se han tomado los niveles. El valor promedio es aceptable para este tipo de estimaciones de acuerdo a las

incertidumbres de los valores tomados. Es por ello que los valores de la metodología para la determinación del caudal son correctos.

3.8. Características Hidráulicas

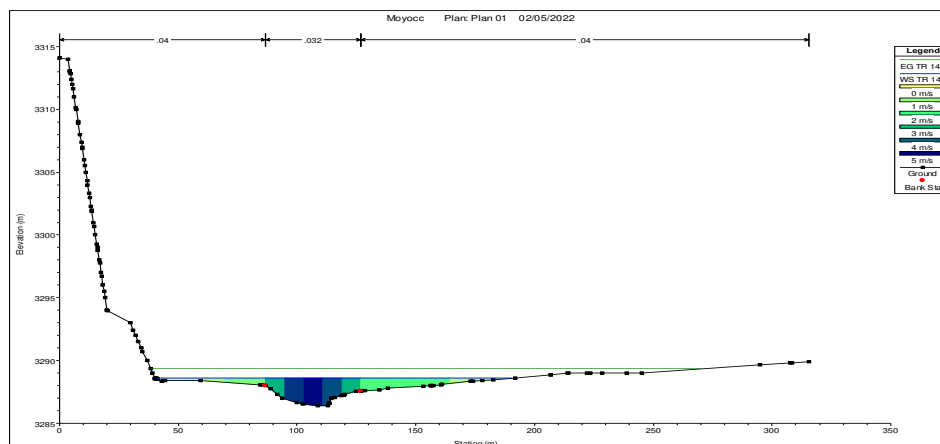
3.8.1. Características Hidráulicas del Río Sin Puente

En base al modelamiento realizado en el software unidimensional HEC RAS v.6.0 se determinó los parámetros hidráulicos en el río Moyocc sin incluir la estructura del puente. En el Apéndice I se puede apreciar a mayor detalle los resultados del modelamiento en las secciones cercanas al puente a proyectar para un periodo de retorno de 140 años.

En la Figura 39 y Figura 40 se aprecian la secciones cercanas *upstream* y *downstream* del puente. Por otro lado, la Figura 41 muestra las secciones hacia aguas arriba en vista en planta.

Figura 39

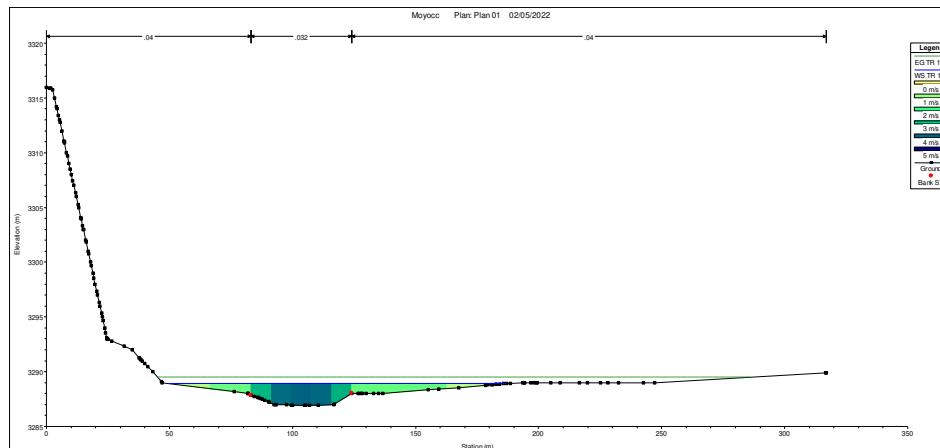
Nivel de Sección Aguas Abajo del Puente TR 140 años



Nota: El tirante máximo en la sección es de 2.21 metros con una cota de elevación de 3288.59 msnm y las velocidades varían entre 0.1 a 5 m/s. Elaborado mediante el Software HEC-RAS (USACE, 1995).

Figura 40

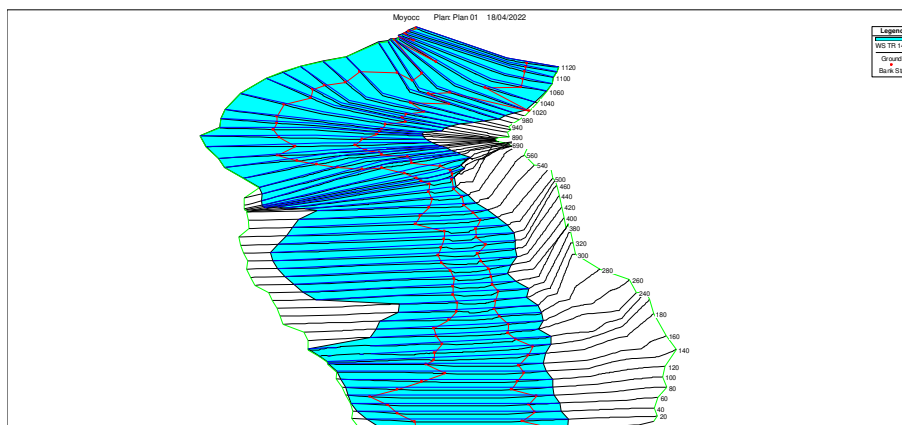
Nivel de Sección Aguas Arriba del Puente TR 140 años



Nota: El tirante máximo en la sección es de 2.02 metros con una cota de elevación de 3288.93 msnm y las velocidades varían entre 0.1 a 5 m/s. Elaborado mediante el Software HEC-RAS.

Figura 41

Niveles Vista en Planta TR 140



Nota: Elaborado usando el Software HEC-RAS (USACE, 1995).

Se puede apreciar que en la zona del puente a proyectarse se presentan planicies de inundación en ambas márgenes como se observa en la Figura 41. Además, se puede observar que existen velocidades que varían entre los sectores, esto se debe a que la topografía es casi plana en la zona del proyecto.

3.8.2. Características Hidráulicas del Río con Puente

En base al modelamiento unidimensional realizado en el programa HEC-RAS se determinó los parámetros hidráulicos en el río Moyocc incluyendo la sección del puente con el fin de determinar el comportamiento de la estructura.

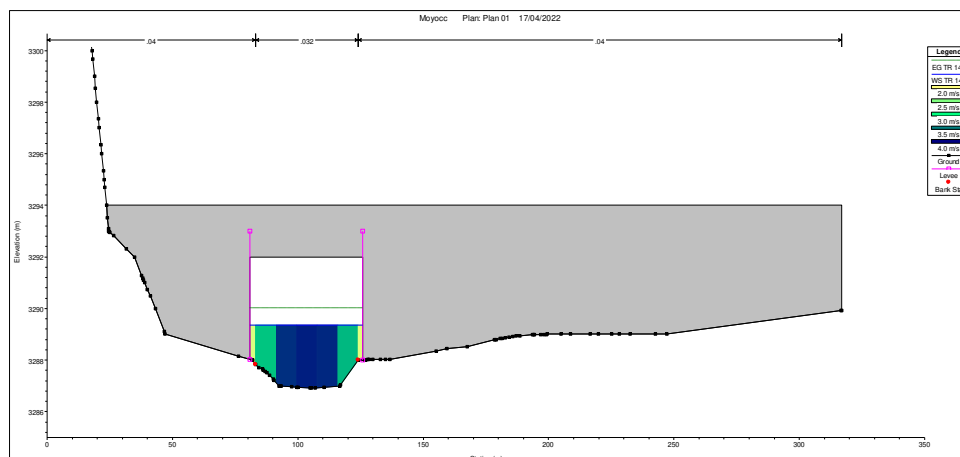
En el Apéndice J se puede apreciar a mayor detalle los resultados del modelamiento del río para los Tr de 140 y 500 años de las secciones *upstream* y *downstream* cercanas al puente.

En la Figura 42 y la Figura 43 se aprecian la secciones *upstream* del puente proyectado para un Tr de 140 y 500 años, respectivamente.

Asimismo, en la Figura 44 y en la Figura 45 se aprecian la secciones *downstream* del puente proyectado para un Tr de 140 y 500 años, respectivamente.

Figura 42

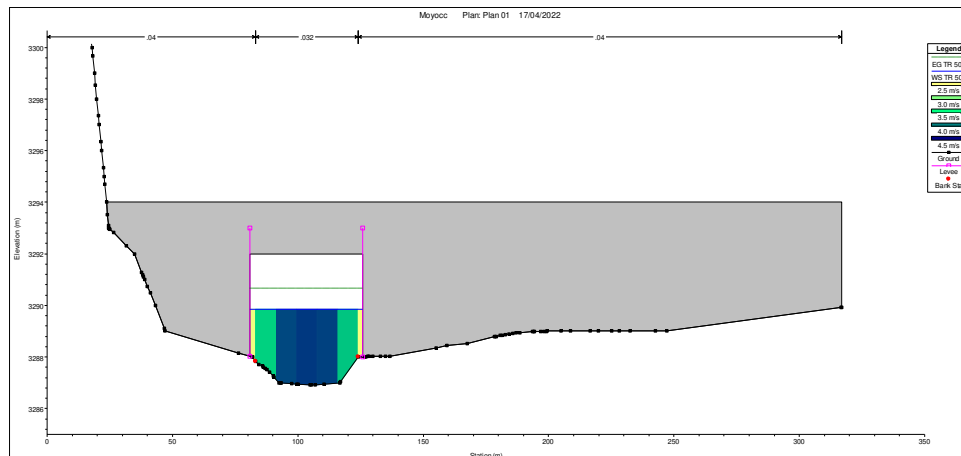
Sección Hidráulica Aguas Arriba del Puente TR 140 años



Nota: El tirante máximo en la sección es de 2.44 metros con una cota de elevación de 3289.35 msnm y las velocidades varían entre 2 a 4 m/s. Elaborado usando el Software HEC-RAS.

Figura 43

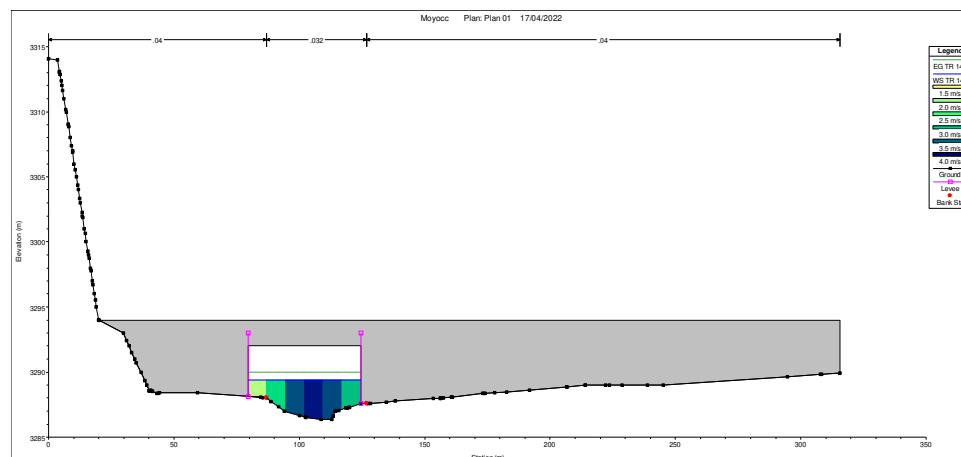
Sección Hidráulica Aguas Arriba del Puente TR 500 años



Nota: El tirante máximo en la sección es de 2.93 metros con una cota de elevación de 3289.84 msnm y las velocidades varían entre 2.5 a 4.5 m/s. Elaborado usando el Software HEC-RAS.

Figura 44

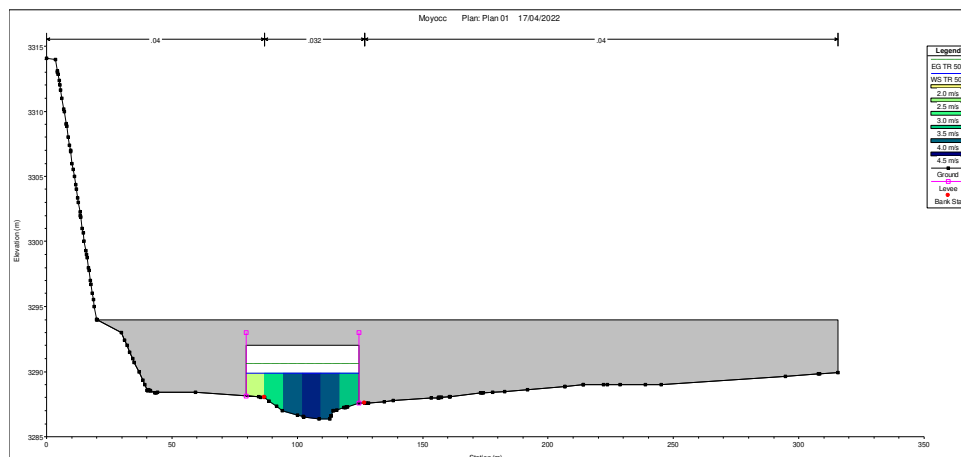
Sección Hidráulica Aguas Abajo del Puente TR 140 años



Nota: El tirante máximo en la sección es de 2.99 metros con una cota de elevación de 3289.37 msnm y las velocidades varían entre 1.5 a 4.0 m/s. Elaborado usando el Software HEC-RAS.

Figura 45

Sección Hidráulica Aguas Abajo del Puente TR 500 años



Nota: El tirante máximo en la sección es de 3.48 metros con una cota de elevación de 3289.86 msnm y las velocidades varían entre 2.0 a 4.5 m/s. Elaborado usando el Software HEC-RAS.

Además, en la Figura 46 se puede mostrar el NAME en la sección del puente para un Tr de 140 años, la cual resulta tener un tirante máximo de aproximadamente 3.00 m.

Figura 46

Resultados en la Sección del Puente, TR 140 años

Plan: Plan 01 Moyocc rio RS: 310 Profile: TR 140				
E.G. US. (m)	3290.02	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	3289.34	E.G. Elev (m)	3290.01	3289.97
Q Total (m3/s)	337.30	W.S. Elev (m)	3289.35	3289.37
Q Bridge (m3/s)	337.30	Crit W.S. (m)	3289.06	3288.97
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	2.44	2.99
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	3.56	3.34
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	94.84	101.02
Weir Submerg		Froude # Chl	0.79	0.72
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	226.61	238.17
Min El Weir Flow (m)	3294.00	Hydr Depth (m)	2.11	2.24
Min El Prs (m)	3292.00	W.P. Total (m)	45.12	45.25
Delta EG (m)	0.16	Conv. Total (m3/s)	4854.6	5426.4
Delta WS (m)	0.39	Top Width (m)	45.00	45.00
BR Open Area (m2)	214.21	Frctn Loss (m)	0.02	0.07
BR Open Vel (m/s)	3.56	C & E Loss (m)	0.02	0.03
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	99.51	84.59
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	353.91	282.45

Nota: Resultados del software HEC-RAS (USACE, 1995).

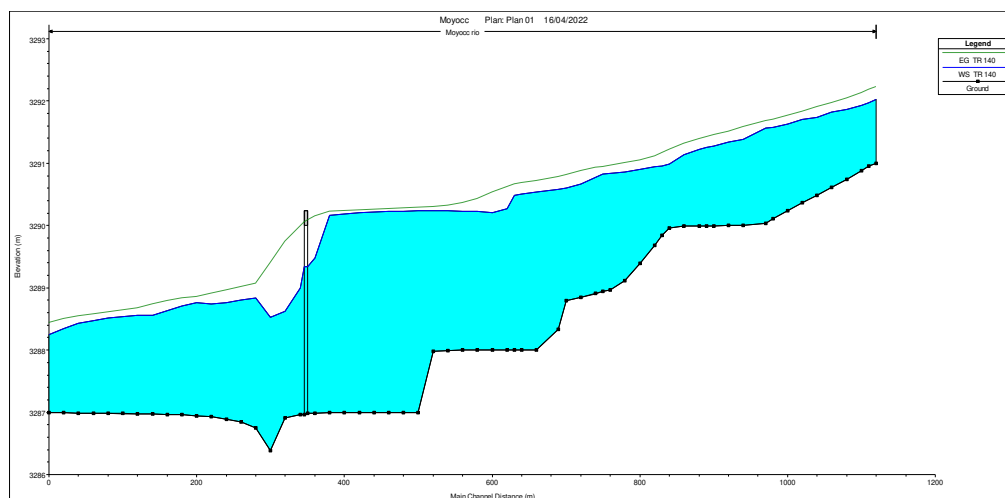
En los resultados de los sectores cercanos al puente se observó planicies de inundación lo cual indica que el puente necesita la implementación de obras de

encauzamiento que permitan direccionar el flujo a través de la sección hidráulica.

Asu vez, debido a la contracción que origina el puente se produce un remanso aguas arriba como se puede apreciar en la Figura 47 y en la Figura 48.

Figura 47

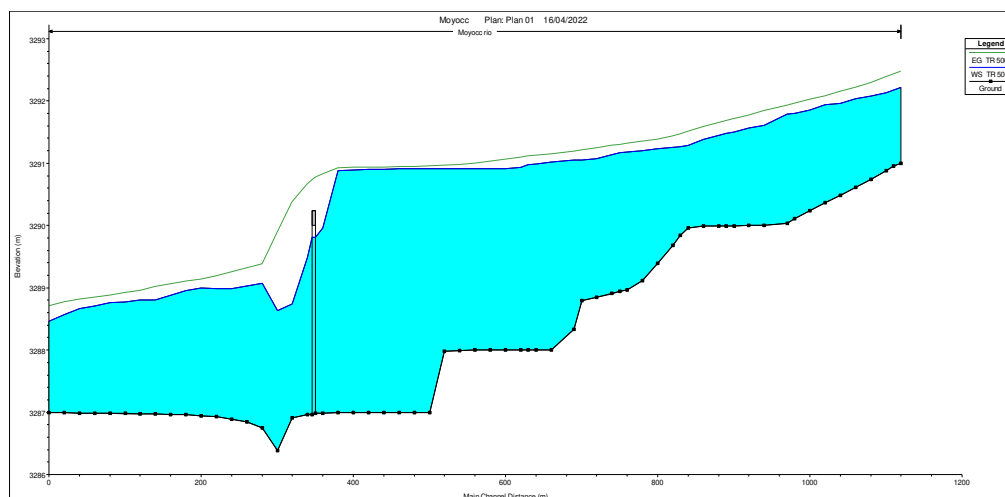
Perfil Hidráulico del Puente, TR 140 años



Nota: Elaborado usando el Software HEC-RAS (USACE, 1995).

Figura 48

Perfil Hidráulico del Puente, TR 500 años



Nota: Elaborado usando el Software HEC-RAS (USACE, 1995).

3.8.3. Ancho Estable del Cauce

Usando el software River elaborado por especialistas de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se estimó el ancho estable del cauce, el cual ayudará para estimar el ancho tentativo del puente.

a. Recomendación Práctica

Dicho método está en relación al caudal. Según la Figura 49 el ancho estable es 52.67 m.

Figura 49

Ancho Estable, Recomendación Práctica



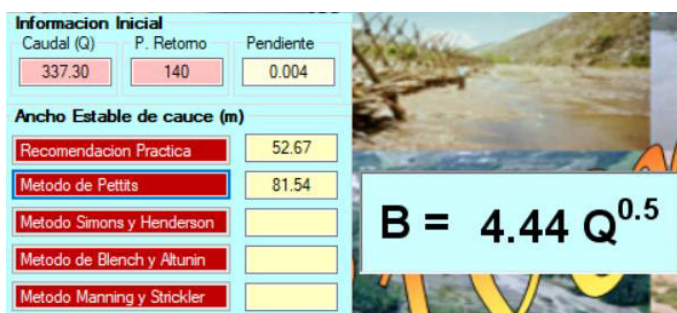
Nota: Elaborado usando software River (ANA, 2013).

b. Método de Pettits

Al emplear la ecuación (21) resulta que el ancho estable es 81.54 m.

Figura 50

Ancho Estable, Pettits



Nota: Elaborado usando software River (ANA, 2013).

c. Método de Simons y Henderson

Observando un fondo de arena y orilla de material no cohesivo y la ecuación (22), el ancho estable es 51.42 m.

Figura 51

Ancho estable, Simons y Henderson

Metodo de Smons y Henderson

$$B = K_1 Q^{1/2}$$

- Fondo y Orillas de arenaK1 = 5.70
- Fondo Arena y Orillas de Material Cohesivo.....K1 = 4.20
- Fondo y Orillas de Material Cohesivo.....K1 = 3.60
- Fondo y Orillas del Cauce con Grava.....K1 = 2.90
- Fondo Arena y Orillas de Material no Cohesivo.....K1 = 2.80

Nota: Elaborado usando software River (ANA, 2013).

d. Método de Blench y Altunin

Tomando un factor de fondo (Fb) de 1.20, un factor de orilla (Fs) de 0.10 y la ecuación (23), el resultado del ancho estable es 94.02 m.

Figura 52

Ancho estable, Blench y Altunin

Metodo de Blench y Altunin

$$B = 1.81(Q F_b/F_s)^{1/2}$$

Factor de Fondo (Fb)

- 0.80 - Mat. Fino (Dm<0.50 mm)
- 1.20 - Mat. Gueso (Dm=>0.50 mm)

Factor de Orilla (Fs)

- 0.10 - Mat. Suelto
- 0.20 Mat. ligeramente Cohesivo
- 0.30 Mat. Cohesivo

Nota: Elaborado usando software River (ANA, 2013).

e. Método de Manning y Strickler

Considerando un valor de rugosidad (n) de 0.032, un tipo de material del cauce (k) de 10, un coeficiente de cauce (m) de 0.50 y la ecuación (24), el ancho estable es 64.27 m.

Figura 53

Ancho estable, Manning y Strickler



Nota: Elaborado usando software River (ANA, 2013).

f. Método de Lacey

Considerando un coeficiente de Lacey (C) de 2.0 que depende del tipo de material del lecho del río y la ecuación (25), el ancho estable es 36.73 m.

En resumen, los valores del ancho estable se pueden apreciar en la Tabla 41.

Tabla 41

Ancho Estable del Río

<i>Metodología</i>	<i>Ancho estable (m)</i>
Recomendación práctica	52.67
Método de Pettits	81.54
Método de Simons y Henserson	51.42
Método de Blench y Altunin	94.02
Método de Manning y Strickler	64.27
Método de Lacey	36.73

Nota: Elaboración propia.

Los valores han sido comparados con la topografía y considerando que el puente actuará como contracción del río, se asume un ancho promedio de 45 m, tomando en cuenta que los métodos de Pettits y Blench y Altunin asumen valores muy altos los cuales no son recomendados con respecto a los demás resultados.

3.9. Socavación en el Sitio de Interés

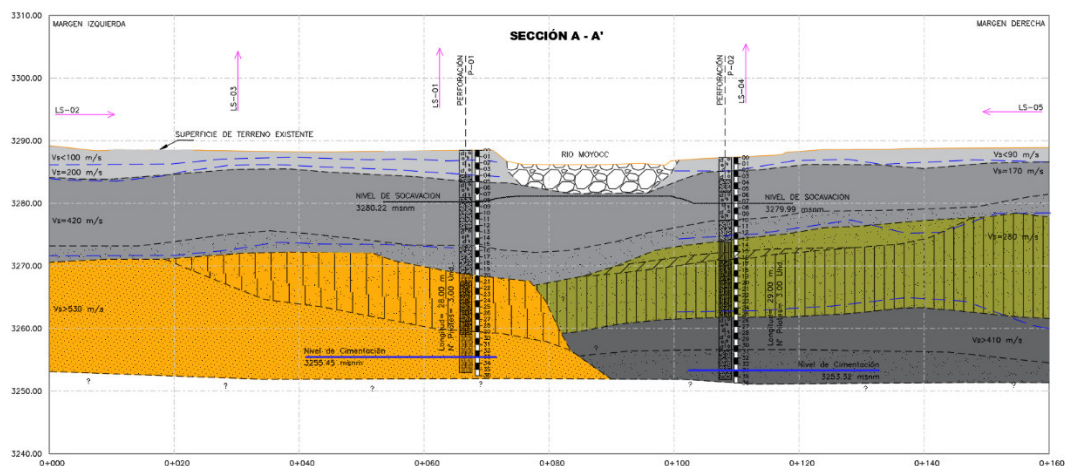
3.9.1. Socavación General

Para el cálculo de la socavación general del río se empleó el método de Lischtván – Levediev para suelos granulares (ecuación 26). De acuerdo a los resultados de los estudios granulométricos se considera que el suelo del cauce del río es un suelo no cohesivo.









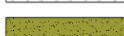

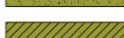
Para el análisis se ha considerado los resultados del estudio geotécnico en cada sector de los estribos (Ver Figura 54) a fin de diferenciar la socavación general y evaluarla por estratos.

Figura 54

Perfil Estratigráfico en la Zona del Puente



Unidades Geológicas

	Material de cobertura, gravas, arenas, limos.		Arenas limosas, compacidad baja.
	Arenas de grano grueso color marrón con gravas subangulosas, 1 a 5cm, comp. suelta.		Conglomerados con matriz arenosa medianamente compacta.
	Arenas de grano grueso de color gris de composición suelta.		Arenas limosas color marrón de composición compacta.
	Gravas subredondeadas de variado tamaño, con arenas de grano fino y limos.		Arenas de grano grueso color marrón con gravas subangulosas, 1 a 4cm, no compacto.
	Arenas grano fino con limos color gris oscuro de compacidad media a baja.		Arenas de grano fino con mínima presencia de limos, color gris de compacidad media.
	Limos arcillosos no compactos		

Nota: Perfil estratigráfico tomado del estudio geotécnico de la Memoria Descriptiva del puente Moyoc (Gobierno Regional de Ayacucho, 2021).

Los resultados de las perforaciones realizadas se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 42

Resultados del Estudio Geotécnico

<i>Capa</i>	<i>Descripción</i>	<i>Margen</i>	<i>Prof.</i>	<i>Nombre</i>	<i>Cohesivo</i>	<i>Dm</i>
<i>Estribo Izquierdo</i>						
1	Arena con gravilla – prof. 7.5 m – Izq.	Izq.	7.50	Arena con gravilla	No	0.10
2	Grava arenosa – prof. 12.5 m – Izq.	Izq.	12.50	Grava arenosa	No	0.20
3	Grava arenosa – prof. 15.1 m – Izq.	Izq.	15.10	Grava arenosa	No	0.30
<i>Cauce</i>						
1	Grava – prof. 6.08 m – Cauce.	Cauce	6.08	Grava	No	12.00
2	Arena de grano grueso color marrón con gravas subangulosas 1 a 5 cm, comp. Suelta – prof. 18.4 m – Cauce.	Cauce	18.40	Arena de grano grueso color marrón con gravas subangulosas 1 a 5 cm, comp. Suelta	No	0.10
<i>Estribo Derecho</i>						

1	Arena con gravilla – prof. 10 m – Der.	Der.	10.00	Arena con gravilla	No	0.30
2	Arena arenosa – prof. 3.5 m – Der.	Der.	3.50	Arena arenosa	No	0.67
3	Grava –prof. 16.1 m – Der.	Der.	16.10	Grava	No	0.14

Nota: Resultados tomados del estudio geotécnico de la Memoria Descriptiva del puente Moyoc (Gobierno Regional de Ayacucho, 2021).

Para la estimación de la socavación general se consideraron los siguientes valores.

1. Valor de β que depende del caudal de diseño:

Para un caudal de diseño (Tr 500 años) = 462.4 m³/s el valor de β es 1.05.

2. Valor de z que depende del Dm de acuerdo al resultado estratigráfico en la sección del puente:

Para el Dm del Estribo Izquierdo = 0.10 mm el valor de z es 0.425.

Para el Dm del Estribo Derecho = 0.30 mm el valor de z es 0.416.

Para el Dm del Cauce = 12 mm el valor de z es 0.336.

3. Valor de μ que depende de la luz hidráulica del puente:

Para una luz hidráulica de 45 m el valor de μ es 0.973.

4. Valor de ψ que depende del peso específico de la mezcla agua - sedimento:

Para un peso específico de la muestra agua – sedimento $\gamma_m = 1$ (agua clara)

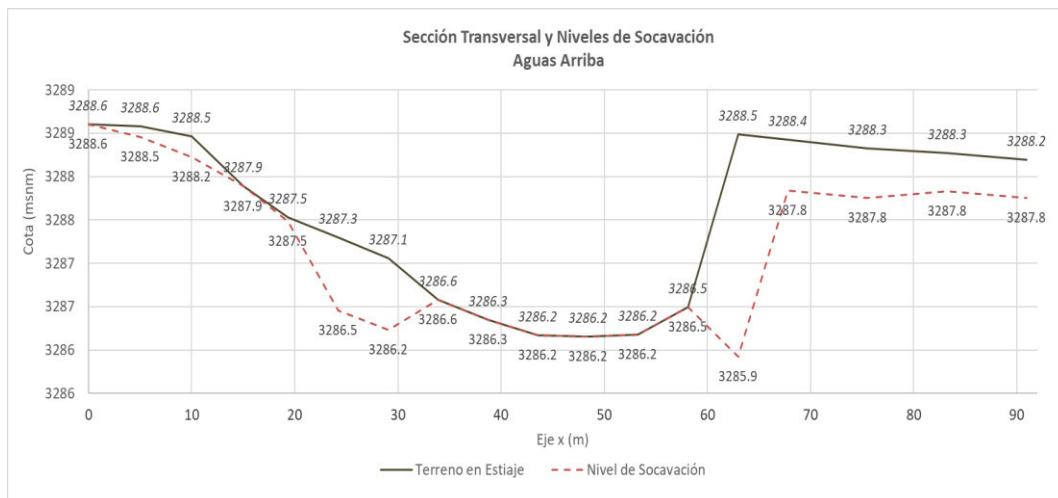
el valor de ψ es 1.

En el Apéndice K se presenta a mayor detalle los cálculos y resultados de la socavación general para cada sección *upstream* y *downstream* cercana al puente. Por último, en la Figura 55 y Figura 56 se puede apreciar los niveles de la

socavación general por el método de Lischtvan – Levediev para las secciones cercanas al puente.

Figura 55

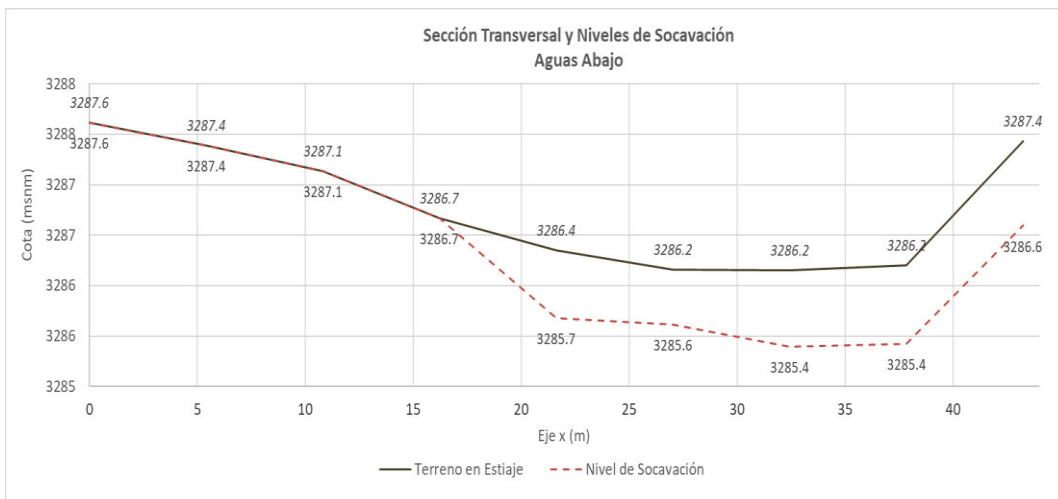
Sección Transversal y Niveles de Socavación Aguas Arriba



Nota: Elaboración propia.

Figura 56

Sección Transversal y Niveles de Socavación Aguas Abajo



Nota: Elaboración propia.

Considerando el diámetro medio de cada perfil estratigráfico y los resultados obtenidos por el modelamiento hidráulico mediante el programa HEC-RAS como velocidad media y tirantes de agua para un Tr de 500 años; se obtiene el resultado de la socavación general estimada para el cauce en la sección aguas arriba del puente con un valor máximo de altura de socavación de 2.57 m, mientras que la sección aguas abajo tiene un valor de 0.84 m. Para el presente caso se toma como valor de la socavación general la profundidad mayor que es 2.57 m en el cauce, 0.59 m en el estribo izquierdo y 0.85 m en el estribo derecho por considerarse un valor mucho más conservador.

3.9.2. Socavación por Contracción

Para el cálculo de la socavación por contracción del río se empleó el método de Laursen.

Para el siguiente análisis se ha considerado la información de dos calicatas que se encuentran en los estribos del puente proyectado, las cuales se describen en el ítem 3.3.3 Información Granulométrica.

El diámetro medio (D_m) que es considerado igual al D_{50} , el cual se consigue según la curva granulométrica del ensayo de análisis granulométrico por tamizado mostrado en el Apéndice L es de 4.76 mm; por lo que se asumió el inmediato cercano que corresponde a 5 mm.

Para el cálculo de la socavación por contracción se utilizó el software HEC-RAS.

Para ello se consideró los siguientes valores:

1. El valor de h_1 que depende de la profundidad media aguas arriba del puente para un Tr de 500 años.
La profundidad media del cauce es 2.52 m.
La profundidad media de ladera derecha es 1.79 m.
La profundidad media de ladera izquierda es 1.40 m.
2. El valor de la velocidad media V más próxima a la sección del puente para un Tr de 500 años.
La velocidad media del cauce es 1.27 m/s.
La velocidad media de ladera derecha es 0.63 m/s.
La velocidad media de ladera izquierda es 0.65 m/s.
3. El valor de h_2 que depende de la profundidad media en la sección estrechada del puente para un Tr de 500 años.
La profundidad promedio del cauce en la sección contraída es 2.67 m.
La profundidad media de ladera derecha en la sección contraída es 1.83 m.
La profundidad media de ladera izquierda en la sección contraída 1.87 m.
4. El valor del caudal en la sección aguas arriba del puente Q_1 para un Tr de 500 años.
El caudal en el cauce es 213.73 m³/s.
El caudal en la ladera derecha es 204.95 m³/s.
El caudal en la ladera izquierda es 43.72 m³/s.
5. El valor del caudal en la sección contraída del puente Q_2 para un Tr de 500
El caudal en el cauce en la sección contraída es 443.10 m³/s.

El caudal en la ladera derecha en la sección contraída es $7.77 \text{ m}^3/\text{s}$.

El caudal en la ladera izquierda en la sección contraída es $11.53 \text{ m}^3/\text{s}$.

6. El valor del ancho en la sección aguas arriba que transporta sedimentos B_1 .

El ancho en el cauce principal es de 48.46 m.

El ancho en la ladera derecha es de 37.38 m.

El ancho en la ladera izquierda es de 193.61 m.

7. El valor del ancho en la sección contraída del puente B_2 .

El ancho en el cauce principal en la sección contraída es 40.92 m.

El ancho en la ladera derecha en la sección contraída es 1.68 m.

El ancho en la ladera izquierda en la sección contraída es 2.40 m.

8. El valor de K_I que depende del gradiente hidráulico aguas arriba del puente es $S_I = 0.00313$, la velocidad de corte aguas arriba del puente es de $V_* = 0.09 \text{ m/s}$ para el cauce principal y para las laderas es de $V_* = 0.07 \text{ m/s}$, la temperatura del agua es $T=16 \text{ }^\circ\text{C}$ y la velocidad de caída del material del lecho es de $D50 w = 0.3708 \text{ m/s}$ (Ver Figura 7).

Según la Tabla 13 para un valor de $V_*/w = 0.243$ en el cauce principal y para las laderas $V_*/w = 0.189$ el valor de K_I es de 0.59.

Por último, se tiene como resultado la socavación por contracción mediante el método de Laursen (1960) para lecho móvil (ecuación 28) en el cauce principal de 2.53 m. Mientras que la socavación por contracción mediante el método de Laursen (1963) para aguas claras (ecuación 30) en la ladera derecha e izquierda es de 1.45 m y 1.52 m, respectivamente.

3.9.3. Socavación Local en Estribos

Para el cálculo de la socavación local en los estribos se empleó el método de Froehlich. Para ello se utilizó el programa HEC-RAS y se consideró los siguientes valores:

1. El valor de la profundidad en el sector de inundación obstruida h_e para un Tr de 500 años.

En el estribo derecho es de 1.68 m

En el estribo izquierdo es de 1.77 m

2. El valor de K_f que se basa de la forma del estribo (ver Tabla 14) que para el caso del proyecto se asume un estribo de pared vertical $K_f = 1.00$

3. El valor de K_θ que se basa del ángulo de la inclinación del estribo (ver Figura 9). Para el caso del proyecto el ángulo de inclinación será de 90° por lo que el valor es de $K_\theta = 1.00$

4. El valor de la longitud del estribo que se opone al paso del agua proyectada al flujo.

En el estribo derecho es de 5.00 m

En el estribo izquierdo es de 12.00 m

5. El valor de Froude F_{re} (ver ecuación 34)

En el estribo derecho es de 0.15

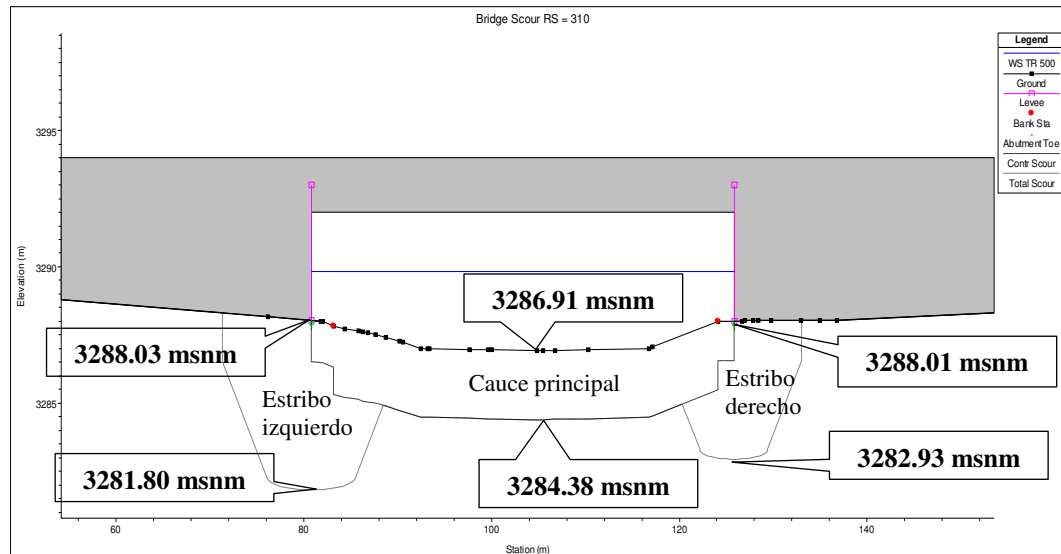
En el estribo izquierdo es de 0.16

El resultado de la socavación local por el método de Froehlich (ecuación 31) en el estribo derecho e izquierdo es de 3.63 m y 4.71 m respectivamente.

En la Figura 57 se aprecia la sección del puente y los niveles de socavación local por contracción y en los pilares para un Tr de 500 años.

Figura 57

Niveles de Socavación por Contracción y en Estribos



Nota: Elaborado usando el Software HEC-RAS (USACE, 1995).

De igual manera, desde el punto de vista hidráulico para el cálculo de la socavación local se consideró el D50 obtenido de las curvas granulométricas y los resultados obtenidos por el modelamiento hidráulico en el software HEC-RAS como: Velocidad media, tirantes de agua, número de Froude, entre otros. Por otra parte, desde el punto de vista hidrológico se consideró el caudal de diseño para un Tr de 500 años obtenido a través del modelamiento hidrológico en el programa HEC-HMS.

CAPITULO 4 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis Hidrológico

4.1.1. Parámetros Geomorfológicos

Con la información de las cartas nacionales del “Instituto Geográfico del Perú” (IGN) se obtuvo los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Moyoc hasta la zona del proyecto, necesarios para obtener el cálculo de caudal de diseño.

De acuerdo al marco teórico, la cuenca tiene una clasificación de Intermedia-pequeña de acuerdo a su área, la pendiente media de la cuenca tiene una clasificación accidentada y el factor de forma de la cuenca del río Moyoc indica que es amplia con una alta producción de caudales. Además, teniendo en cuenta el coeficiente de compacidad se puede decir que la cuenca tiene una forma rectangular oblonga.

4.1.2. Análisis de las Precipitaciones por Métodos Estadísticos

La información de la precipitación máxima en 24 horas corregida con el factor de ajuste 1.13 es evaluada por la prueba de datos dudosos con el fin de encontrar puntos que se alejan de la tendencia de la información restante.

Posteriormente, se determinó cuál es la distribución que mejor se adapta a la información histórica mediante el test de Kolmogorov - Smirnov. Las distribuciones que mejor ajuste mostraron fueron el de Gumbel, Log Normal y Pearson III.

A partir de escoger la mejor distribución que se ajusta a cada estación, se obtiene las precipitaciones máximas para los periodos de retorno de 140 y 500 años a usar como se muestra en la Tabla 43.

Tabla 43

Precipitaciones Máximas para un TR 140 y 500 años

<i>T</i> <i>(años)</i>	<i>Allpachaca</i> <i>Senamhi</i>	<i>Allpachaca</i> <i>Opeman</i>	<i>Sachabamaba</i> <i>Opeman</i>	<i>Pampa Cangallo</i> <i>Opeman</i>
140	70.9	70.9	64.5	71.4
500	79.5	80.9	70.9	80.9

Nota: Elaboración propia.

Finalmente, se determina las curvas de intensidad-duración-frecuencia por el método de Dick Peschke para así obtener el hietograma de diseño a través del bloque alterno para todas las estaciones.

4.1.3. Caudal de Diseño

Mediante el método del hidrograma unitario del *Soil Conservation Service* (SCS) se estima los caudales de diseño mínimos. El caudal de 337.30 m³/s para un periodo de retorno de 140 años es estimado para el desarrollo del cálculo del nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) y el caudal de 462.40 m³/s para un periodo de retorno de 500 años es desarrollado con la finalidad de obtener los valores de socavación.

4.2. Análisis Hidráulico

De acuerdo a los caudales estimados en el análisis hidrológico, estos se usarán como input para el cálculo de la socavación por contracción, local y general del puente.

4.2.1. Selección del Manning

Mediante el método de Cowan y de acuerdo a las observaciones de campo (fotografías) se calculó el coeficiente Manning de 0.032 para el cauce y 0.04 para ambas laderas.

4.2.2. Estimación de Caudal Mediante el Método de Huellas y el Aforo

La zona de estudio no cuenta con información hidrométrica, por este motivo durante los trabajos en campo se ha identificado una huella probable en el río de acuerdo con los testimonios de los pobladores, la cual mide 1.89 m.

Posteriormente, se realizó una estimación del caudal mediante el método hidráulico usando la fórmula de Chezy, teniendo en cuenta los valores recopilados en campo. El caudal estimado tuvo como resultado 129.31 m³/s. Dicho valor calculado fue ingresado junto con la topografía al software HEC-RAS con el fin de evaluar la certeza de los niveles de agua, comparando la altura de la huella tomada en campo con los valores de los tirantes que da como resultado el software.

4.2.3. Características Hidráulicas Sin Proyecto y Con Proyecto

Se determinaron los parámetros hidráulicos en el río Moyoc sin incluir la estructura de diseño. Dicho análisis se realiza usando un periodo de retorno de 140 año.

Por otro lado, se ejecutó un modelamiento incluyendo la sección del puente a proyectar con el fin de determinar el comportamiento del puente. Dicho análisis se realizó usando un periodo de retorno de 140 años y de 500 años.

4.2.4. Longitud de la Luz del Puente

La selección de la luz del puente tiene como criterio fundamental dar paso al caudal del río en un evento extraordinario sin el peligro de obstrucción por flujo de detritos (huaycos).

De acuerdo por lo antes mencionado y tomando en cuenta el resultado obtenido del ancho estable del cauce, se asume que la longitud recomendada para la luz del puente sobre el río Moyocc desde el punto de vista hidráulico es de 45 metros.

4.2.5. Niveles de Aguas Probables

Los niveles de agua de diseño para el puente fueron calculados de acuerdo a la calibración del modelos hidrológico e hidráulico mediante los niveles de agua tomados en campo. En la Tabla 44 se muestra los niveles calculados en el puente.

Tabla 44

Niveles de Agua en el Puente Sobre el Río Moyocc

<i>Periodo de retorno (años)</i>	<i>Q (m³/s)</i>	<i>Tirante (m)</i>	<i>Nivel de agua (msnm)</i>
140	337.30	2.99	3289.37
500	462.40	3.48	3289.86

Nota: Elaboración propia.

4.2.6. Gálibo del Puente

De acuerdo al Manual de Puentes del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTC, 2016), los puentes sobre ríos que no arrastran palizadas se considera mínimo una altura libre de 1.50 m. Mientras que para el

caso de ríos que acarrean troncos y palizadas se considerará como mínimo una altura libre de 2.50 m.

Debido a que la subcuenca del río Moyocc presenta gran cantidad de vegetación que no corresponde a troncos ni elementos de gran dimensión en la cuenca, por lo tanto, se asume que el río Moyocc contiene una corriente relativamente limpia. Es por ello que se consideró un gálibo de 2.0 m por encima del NAME.

4.2.7. Determinación de la Socavación

El cálculo de la socavación general en el lecho del río se realizó mediante el método propuesto por Lischtvan-Ledeviev, recomendado por el Manual de Hidrología y Drenaje (MTC, 2019). Se obtuvo una socavación general para un periodo de retorno de 500 años de 2.57 m en el cauce, y de 0.59 m y 0.85 m en el estribo izquierdo y derecho, respectivamente.

De igual manera, el cálculo de la socavación por contracción y local en los estribos se realizó mediante los métodos propuesto por Laursen y Froehlich. Se calculó una socavación local por contracción en el cauce de 2.53 m, una socavación local en el estribo izquierdo de 6.23 m y una socavación local en el estribo derecho de 5.08 m.

CONCLUSIONES

- En el estudio hidrológico se determinaron los parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Moyocc mediante el software QGIS y las cartas nacionales 27ñ y 28ñ del Instituto Geográfico Nacional; los parámetros que se calcularon se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 45

Resultados de las Características Principales de la Cuenca

<i>Cálculo</i>	<i>Resultados</i>
Área de la cuenca	359.93 km ²
Perímetro de la cuenca	145.85 km
Cota máxima de la cuenca	4363 msnm
Cota mínima de la cuenca	3307 msnm
Longitud del cauce principal	23.57 km
Coefficiente de compacidad	2.15
Rectángulo equivalente lado mayor	67.62 km
Rectángulo equivalente lado menor	5.32 km
Factor de forma	0.65
Pendiente media de la cuenca	20.05 %
Altitud media de la cuenca	3732.59 msnm
Pendiente media del cauce principal	0.033 m/m

Nota: Elaboración propia.

- Se estimó un caudal máximo de 337.30 m³/s para un periodo de retorno de 140 años.
- Se estimó un caudal máximo de 462.40 m³/s para un periodo de retorno de 500 años.
- Con la estimación del caudal de diseño para un tiempo de retorno de 140 años, se obtuvo las siguientes características hidráulicas del puente:

Tabla 46*Resultados de las Características Hidráulicas del Puente*

<i>Características</i>	<i>Valores</i>
Luz del puente	45.00 m
Nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME)	3289.37 msnm
Gálibo o borde libre recomendado	2.00 m

Nota: Elaboración propia.

- Con la estimación del caudal de diseño para un tiempo de retorno de 500 años se calculó las socavaciones producidas en el puente con los siguientes valores:

Tabla 47*Resultados de las Socavaciones en el Puente*

<i>Ubicación</i>	<i>Socavación</i>				<i>Nivel de Terreno Mínimo (msnm)</i>	<i>Nivel de Socavación Final (msnm)</i>
	<i>General (m)</i>	<i>Contracción (m)</i>	<i>Estribos (m)</i>	<i>Total (m)</i>		
Estribo Izq.	0.59	1.52	4.71	6.82	3288.03	3281.21
Cauce	2.57	2.53	0.00	5.10	3286.15	3281.05
Estribo Der.	0.85	1.45	3.63	5.93	3288.01	3282.08

Nota: Elaboración propia.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda prevenir la contracción del cauce natural del río en la medida que sea posible.
- Se recomienda la implementación de una estación hidrométrica debidamente calibrada en el puente.
- Se recomienda realizar un análisis de los parámetros hidráulicos fluviales de la cuenca como la determinación de la capacidad de arrastre y el transporte de sólidos de fondo con el fin de ampliar el trabajo de investigación.
- Se recomienda evaluar la proyección de defensas ribereñas tipo dique con el fin de proteger los terrenos adyacentes contra inundaciones y e implementar un dique que permita direccionar el flujo a través de la sección hidráulica del puente.

BIBLIOGRAFÍAS

- AASHTO. (1994). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications : Customary U.S. Units* (1st ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA). (2011). *ALOS PALSAR DEM a 12.5 m y 30 m*. Alaska Satellite Facility.
<https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>
- ANA. (2013). *River*. Autoridad Nacional del Agua - Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales. <http://www.irhperu.com/programas/river-diseo-de-defensas-ribereas-ana>
- ANA. (2015). *Generación del mapa temático de curva número (CN)*.
- Aparicio, F. (1987). *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (Limusa SAC (ed.); Primera Ed). Grupo Noriega Editores.
- Batista, J. L. (2011). Cálculo de niveles y gastos máximos según el método hidráulico. *Revista Voluntad Hidráulica*, 104(0505–9461), 55–62.
- Campos, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3331>
- Gobierno Regional de Ayacucho. (2012a). *Desarrollo de Capacidades para la Zonificación Ecológica, Económica y Ordenamiento Territorial en la región Ayacucho. Climatología* (Gerencia R).
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/zonificacion-ecologica-economica-ayacucho>
- Gobierno Regional de Ayacucho. (2012b). *Desarrollo de Capacidades para la Zonificación Ecológica, Económica y Ordenamiento Territorial en la región Ayacucho. Cobertura Vegetal* (Gerencia R).
http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Ayacucho/Memoria_Descriptiva_Vegetacion.pdf
- Gobierno Regional de Ayacucho. (2012c). *Desarrollo de Capacidades para la Zonificación Ecológica, Económica y Ordenamiento Territorial en la región Ayacucho. Fisiografía, Suelo y Capacidad de Uso Mayor* (Gerencia R).
<http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Ayacucho/Memor>

ia_Descriptiva_Suelos_CUM_Fisiografia.pdf

Gobierno Regional de Ayacucho. (2021). *Resumen Ejecutivo Puente Vehicular Sobre el Río Moyoc*. MEF.

<https://ofi5.mef.gob.pe/invierte/ejecucion/verFichaEjecucion/2475574>

Hydrognomon. (2012). *Hydrognomon* (v. 4.1). National Technical University of Athens.

<http://hydrognomon.org/>

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2013). *Cartas Nacionales del Perú*. GEO GPS PERÚ. <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>

Juárez, E., & Rico, A. (1974). *Mecánica de Suelos. Flujo de Agua en Suelos* (Limusa S.A. (ed.); Tomo III).

Maza, J. . (1967). Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente. *Ingeniería Hidráulica en México*, 21.

Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería* (Segunda Ed). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

MTC. (2016). *Manual de puentes*. 699.

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUAL DE PUENTES PDF.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUAL_DE_PUENTES_PDF.pdf)

MTC. (2019). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. 222.

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

OMM. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas: Vol. II*.

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10038

OPEMAN. (2020). *Oficina de Operación y Mantenimiento Hidráulico*. Gobierno Regional de Ayacucho. <https://opemanayacucho.blogspot.com>

QGIS. (2002). *QGIS* (v. 3.10). Equipo desarrollador QGIS.

<https://qgis.org/es/site/index.html>

Richardson, E. V., & Davis, S. R. (2001). Evaluating Scour at Bridges. 4th Ed. *Hydraulic Engineering Circular, No18*. (Publ.No FHWA-NHI-01-001), 378.

<http://trid.trb.org/view.aspx?id=412796>

Rocha, A. (2013). Introducción a la Hidráulica de las Obras Viales Arturo Rocha Felices. *Instituto de la Construcción y Gerencia, Tercera Ed*(Fondo Editorial ICG), 283.

www.construccion.org

- SCS. (1933). *Soil Conservation Service*. United States Department of Agriculture (USDA). <https://www.usda.gov/>
- SENAMHI. (2020). *Datos Hidrometeorológicos a Nivel Nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - Ministerio del Ambiente. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Te Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada* (NOMOS S.A.). MCGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.
- Terán, R. (1998). *Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas*. Escuela Superior de Aguas "Charles Sutton".
- USACE. (1995). *Hydrologic Engineering Center y River Analysis System HEC-RAS* (v. 6.0). US Army Carpos of Engineers - Hydrologic Engineering Center EEUU. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- USACE. (1998). *Hydrologic Modeling System - HEC-HMS* (v. 4.5). US Army Carpos of Engineers - Hydrologic Engineering Center EEUU. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- USDA. (2006). Keys to soil taxonomy. *Soil Conservation Service*, 10, 341. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052172.pdf
- Villón, M. (2002). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas*. Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza.
- Villón, M. (2011). *Hidrología* (MaxSoft (ed.); Tercera Ed). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

APÉNDICES

Apéndice A. Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas

Tabla A

AÑO	Estación Alpachaca SENAMHI	Estación Alpachaca Openam	Estación Sachabamba Openam	Estación Pampa Cangallo Openam
1992	45.70	35.30		
1993	57.40	37.90		
1994	35.90	52.20		
1995	34.50	24.50	53.60	
1996	38.10	28.30	38.50	
1997	28.30	41.70	51.70	
1998	35.20	31.20	29.20	
1999	21.10	28.60	24.40	
2000	41.90	41.50	26.00	
2001	28.50	48.50	42.20	
2002	28.50	41.10	30.80	
2003	25.40	38.40	37.90	
2004	36.00	27.90	29.60	
2005	27.60	47.00	30.70	
2006	28.20	21.50	36.30	
2007	43.50	27.00	30.80	
2008	28.90	18.30	32.30	
2009	28.00	25.40	33.70	
2010	37.40	25.50	34.70	
2011		41.60	32.40	
2012		28.40	23.70	
2013		30.70	34.50	26.80
2014		26.00	39.00	34.00
2015		27.00	29.30	24.80
2016		23.00	21.80	34.00
2017		31.20	36.00	50.00
2018		20.70	43.70	26.50
2019		35.70	31.30	37.40

Apéndice B. Prueba de Datos Dudosos

Estación Allpachaca (Senamhi)

Tabla B1

Nº	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
1	1992	2	51.64	1.7130
2	1993	1	64.86	1.8120
3	1994	8	40.57	1.6082
4	1995	10	38.99	1.5909
5	1996	5	43.05	1.6340
6	1997	14	31.98	1.5049
7	1998	9	39.78	1.5996
8	1999	19	23.84	1.3774
9	2000	4	47.35	1.6753
10	2001	12	32.21	1.5079
11	2002	13	32.21	1.5079
12	2003	18	28.70	1.4579
13	2004	7	40.68	1.6094
14	2005	17	31.19	1.4940
15	2006	15	31.87	1.5033
16	2007	3	49.16	1.6916
17	2008	11	32.66	1.5140
18	2009	16	31.64	1.5002
19	2010	6	42.26	1.6260

	P24	Log (P24)
Numero de datos n	19	19
Suma Σ	734.6	29.9274
Máximo	64.9	1.8120
Mínimo	23.8	1.3774
Promedio \bar{x}	38.7	1.5751
Desviación estándar s	9.7638	0.1043
Coficiente asimetría Cs	1.0504	0.3871
Cs/6 k	0.1751	0.0645

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)

$$n = 19$$

$$Kn^* = 2.361$$

Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)

** Referencia: (Tabla 12.5.3 - Ven Te Chow et al., 1994, p.416)*

Umbral de datos dudosos altos (xH: unid. logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s \quad xH = 1.8214$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_H} \quad PH = 66.28 \text{ mm}$$

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unid. logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s \quad xL = 1.3289$$

Precipitación mínima aceptada

$$PL = 10^{x_L} \quad PL = 21.33 \text{ mm}$$

Nota: Se observa que todos los valores 'P24' están dentro de los límites PH y PL, es decir, se encuentran entre 21.3 mm y 66.3 mm. **No existen datos dudosos.**

Estación Allpachaca (Openam)**Tabla B2**

Nº	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
1	1992	11	39.89	1.6009
2	1993	9	42.83	1.6317
3	1994	1	58.99	1.7707
4	1995	24	27.69	1.4422
5	1996	17	31.98	1.5049
6	1997	4	47.12	1.6732
7	1998	12	35.26	1.5472
8	1999	15	32.32	1.5094
9	2000	6	46.90	1.6711
10	2001	2	54.81	1.7388
11	2002	7	46.44	1.6669
12	2003	8	43.39	1.6374
13	2004	18	31.53	1.4987
14	2005	3	53.11	1.7252
15	2006	26	24.30	1.3855
16	2007	19	30.51	1.4844
17	2008	28	20.68	1.3155
18	2009	23	28.70	1.4579
19	2010	22	28.82	1.4596
20	2011	5	47.01	1.6722
21	2012	16	32.09	1.5064
22	2013	14	34.69	1.5402
23	2014	21	29.38	1.4681
24	2015	20	30.51	1.4844
25	2016	25	25.99	1.4148
26	2017	13	35.26	1.5472
27	2018	27	23.39	1.3690
28	2019	10	40.34	1.6057

	P24	Log (P24)
Numero de datos n	28	28
Suma Σ	1023.9	43.3296
Máximo	59.0	1.7707
Mínimo	20.7	1.3155
Promedio \bar{x}	36.6	1.5475
Desviación estándar s	10.0929	0.1184
Coficiente asimetría Cs	0.5698	0.1036
Cs/6 k	0.0950	0.0173

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)

$$n = 28$$

$$Kn^* = 2.534$$

Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

* Referencia: (Tabla 12.5.3 - Ven Te Chow et al., 1994, p.416)

Umbral de datos dudosos altos (xH: unid. logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s \quad xH = 1.8474$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_H} \quad PH = 70.38 \text{ mm}$$

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unid. logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s \quad xL = 1.2475$$

Precipitación mínima aceptada

$$PL = 10^{x_L} \quad PL = 17.68 \text{ mm}$$

Nota: Se observa que todos los valores ' P24 ' están dentro de los límites PH y PL, es decir, se encuentran entre 17.7 mm y 70.4 mm. **No existen datos dudosos.**

Estación Sachabamba (Openam)**Tabla B3**

N°	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
1	1995	1	60.57	1.7822
2	1996	6	43.51	1.6385
3	1997	2	58.42	1.7666
4	1998	21	33.00	1.5185
5	1999	23	27.57	1.4405
6	2000	22	29.38	1.4681
7	2001	4	47.69	1.6784
8	2002	16	34.80	1.5416
9	2003	7	42.83	1.6317
10	2004	19	33.45	1.5244
11	2005	18	34.69	1.5402
12	2006	8	41.02	1.6130
13	2007	17	34.80	1.5416
14	2008	14	36.50	1.5623
15	2009	12	38.08	1.5807
16	2010	10	39.21	1.5934
17	2011	13	36.61	1.5636
18	2012	24	26.78	1.4278
19	2013	11	38.99	1.5909
20	2014	5	44.07	1.6441
21	2015	20	33.11	1.5199
22	2016	25	24.63	1.3915
23	2017	9	40.68	1.6094
24	2018	3	49.38	1.6936
25	2019	15	35.37	1.5486

	P24	Log (P24)
Numero de datos n	25	25
Suma Σ	965.1	39.4112
Máximo	60.6	1.7822
Mínimo	24.6	1.3915
Promedio \bar{x}	38.6	1.5764
Desviación estándar s	8.7784	0.0952
Coficiente asimetría Cs	0.9068	0.2619
Cs/6 k	0.1511	0.0437

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)

$$n = 25$$

$$Kn^* = 2.486$$

Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)

** Referencia: (Tabla 12.5.3 - Ven Te Chow et al., 1994, p.416)*

Umbral de datos dudosos altos (xH: unid. logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s \quad xH = 1.8132$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_H} \quad PH = 65.05 \text{ mm}$$

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unid. logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s \quad xL = 1.3397$$

Precipitación mínima aceptada

$$PL = 10^{x_L} \quad PL = 21.86 \text{ mm}$$

Nota: Se observa que todos los valores 'P24' están dentro de los límites PH y PL, es decir, se encuentran entre 21.9 mm y 65.0 mm. **No existen datos dudosos.**

Estación Pampa Cangallo (Openam)

Tabla B4

N°	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
1	2013	5	30.28	1.4812
2	2014	3	38.42	1.5846
3	2015	7	28.02	1.4475
4	2016	4	38.42	1.5846
5	2017	1	56.50	1.7520
6	2018	6	29.95	1.4763
7	2019	2	42.26	1.6260

	P24	Log (P24)
Numero de datos n	7	7
Suma Σ	263.9	10.9522
Máximo	56.5	1.7520
Mínimo	28.0	1.4475
Promedio \bar{x}	37.7	1.5646
Desviación estándar s	9.8662	0.1066
Coficiente asimetría Cs	1.2078	0.7636
Cs/6 k	0.2013	0.1273

PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)

$$n = 7$$

$$Kn^* = 2.036$$

Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia: 10%)

** Referencia: (Tabla 12.5.3 - Ven Te Chow et al., 1994, p.416)*

Umbral de datos dudosos altos (xH: unid. logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s \quad xH = 1.7816$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_H} \quad PH = 60.48 \text{ mm}$$

Umbral de datos dudosos bajos (xL: unid. logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s \quad xL = 1.3476$$

Precipitación mínima aceptada

$$PL = 10^{x_L} \quad PL = 22.26 \text{ mm}$$

Nota: Se observa que todos los valores ' P24 ' están dentro de los límites PH y PL, es decir, se encuentran entre 22.3 mm y 60.5 mm. **No existen datos dudosos.**

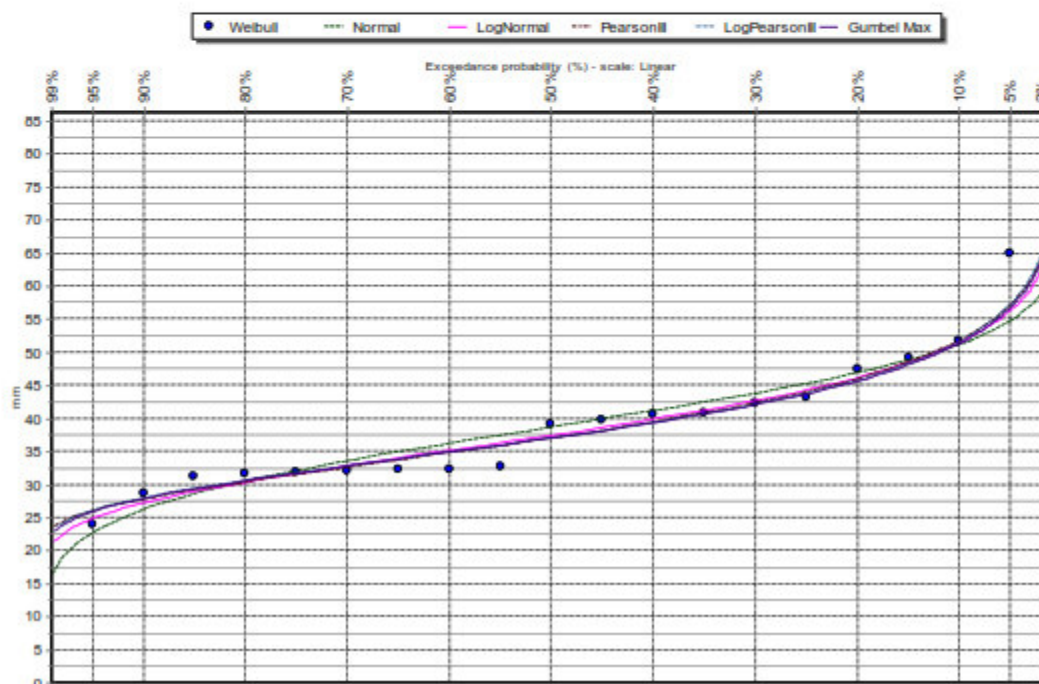
Apéndice C. Prueba de Bondad de Ajuste – Kolmogorov Smirnov

Estación Allpachaca (Senamhi)

Tabla C1 Parámetros Evaluados Mediante el Software Hydrognomon

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	46.55%	0.18075
Log Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.83%	0.16041
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	70.50%	0.1472
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	63.31%	0.1570
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	61.67%	0.1593

Figura C1 Gráfico de la Función de Distribución

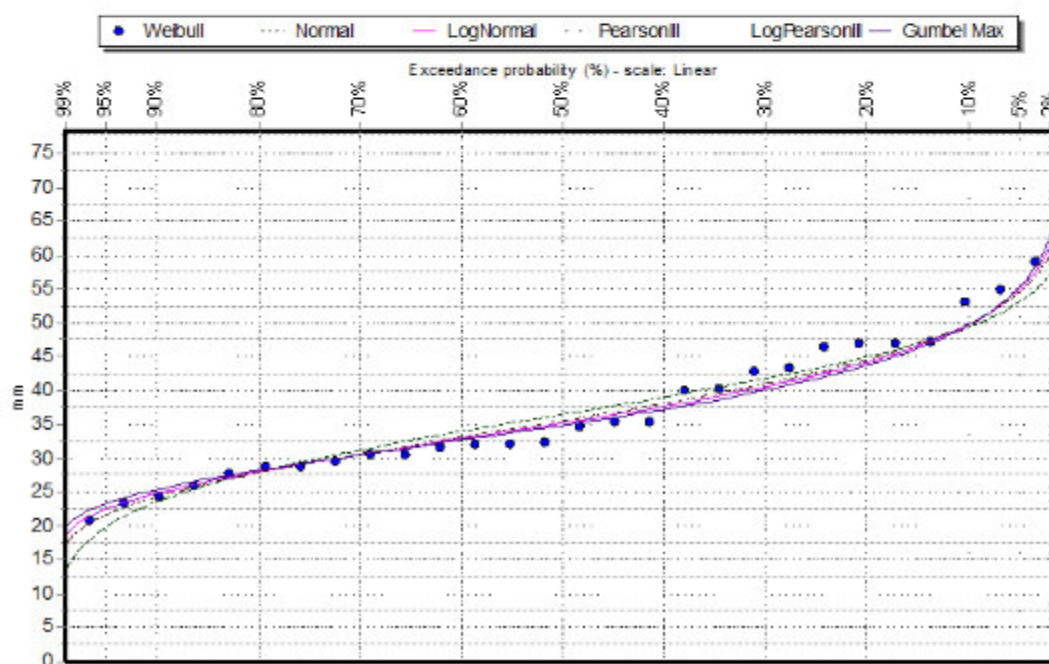


Estación Allpachaca (Openam)

Tabla C2 Parámetros Evaluados Mediante el Software Hydrognomon

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.85%	0.14587
Log Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84.01%	0.10841
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.20%	0.1169
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	83.74%	0.1088
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	89.09%	0.1011

Figura C2 Gráfico de la Función de Distribución

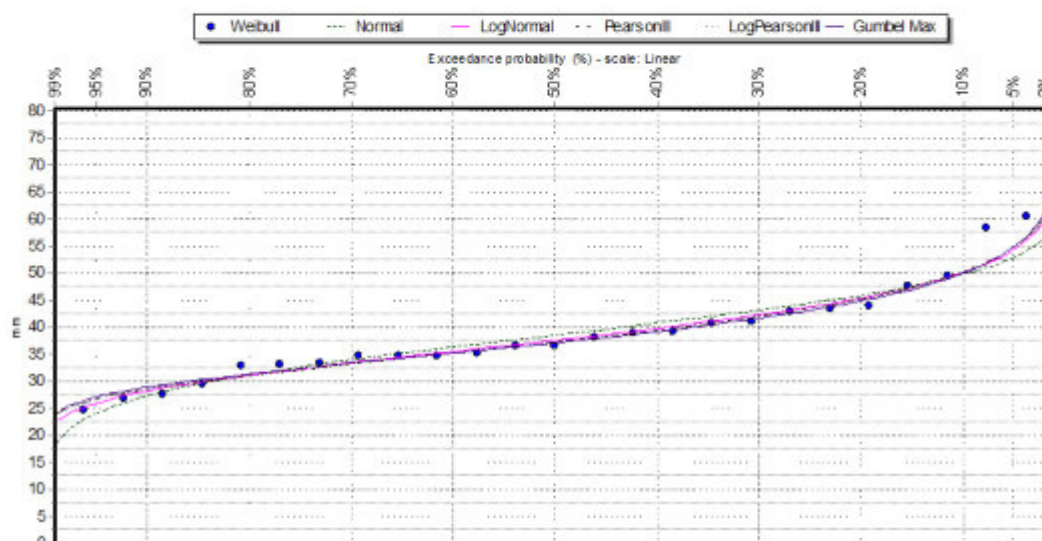


Estación Sachabamba (Openam)

Tabla C3 Parámetros Evaluados Mediante el Software Hydrognomon

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.42%	0.08991
Log Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.41%	0.08649
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.03%	0.0963
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.93%	0.0882
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.09%	0.0877

Figura C3 Gráfico de la Función de Distribución

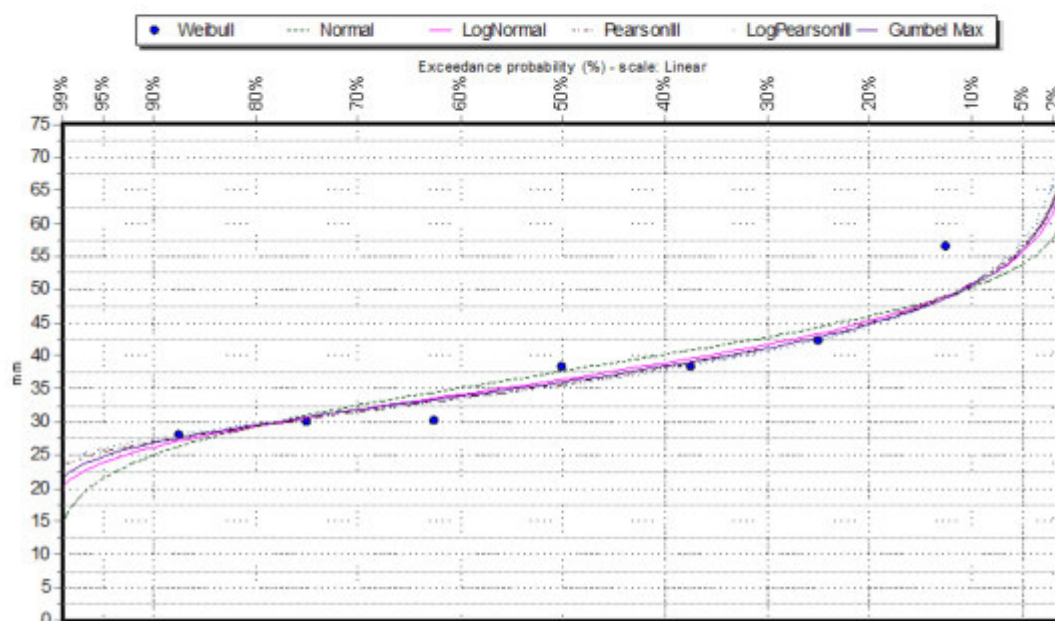


Estación Pampa Cangallo (Openam)

Tabla C4 Parámetros Evaluados Mediante el Software Hydrognomon

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.55%	0.14877
Log Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.55%	0.13983
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.11%	0.1326
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.72%	0.1475
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.98%	0.1453

Figura C4 Gráfico de la Función de Distribución



Apéndice D. Precipitaciones Máximas Anuales

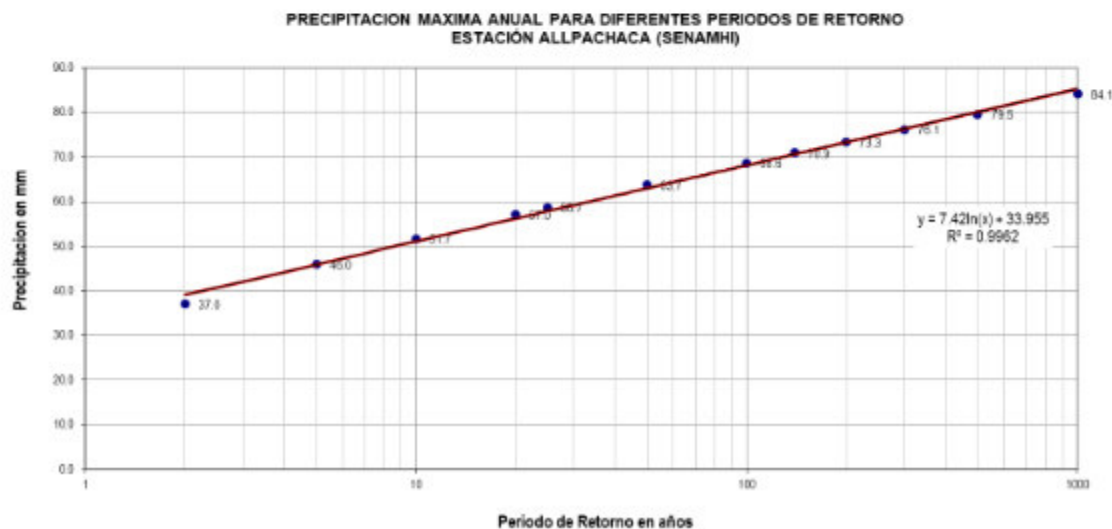
Estación Allpachaca (Senamhi)

Tabla D1 Precipitación Máxima Para Diferentes Periodos de Retorno

Promedio:	$x = 38.6638$	$y = 1.5751$
Desviación estándar:	$s = 9.7638$	$sy = 0.1043$
Cs/6:	$k = 0.1751$	$k = 0.0645$

T (años)	P(X≤X _T)	DISTRIBUCIÓN PEARSON III		Pmax (mm)
		K _T	X _T	
2	0.500	-0.1696	37.01	37.0
5	0.800	0.7475	45.96	46.0
10	0.900	1.3348	51.70	51.7
20	0.950	1.8805	57.02	57.0
25	0.960	2.0503	58.68	58.7
50	0.980	2.5644	63.70	63.7
100	0.990	3.0633	68.57	68.6
140	0.993	3.3013	70.90	70.9
200	0.995	3.5513	73.34	73.3
300	0.997	3.8328	76.09	76.1
500	0.998	4.1841	79.52	79.5
1000	0.999	4.6561	84.13	84.1

Figura D1



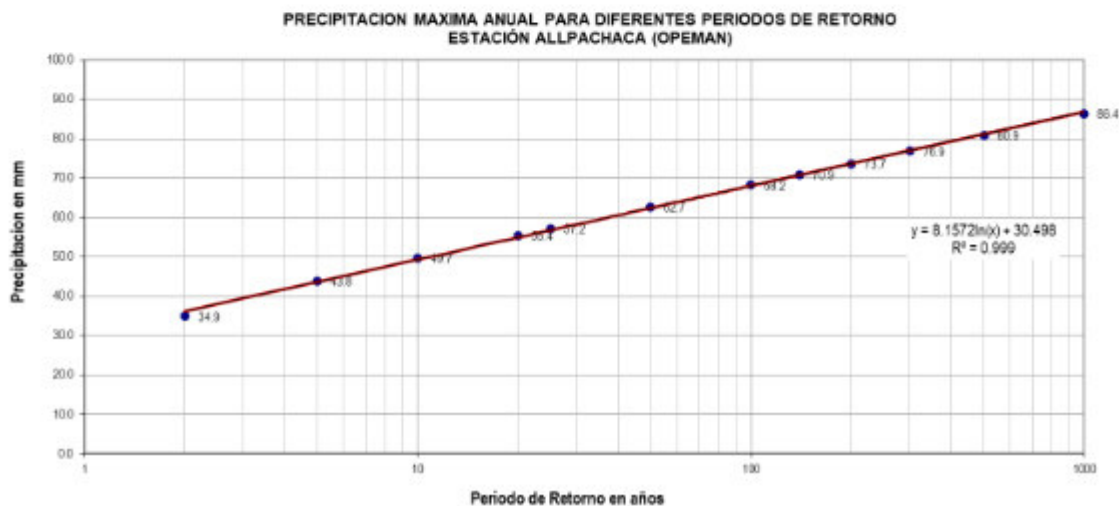
Estación Allpachaca (Opeman)

Tabla D2 Precipitación Máxima Para Diferentes Periodos de Retorno

Promedio:	$x = 36.5676$	$y = 1.5475$
Desviación estándar:	$s = 10.0929$	$sy = 0.1184$
Cs/6:	$k = 0.0950$	$k = 0.0173$

T (años)	P(X≤X _T)	DISTRIBUCIÓN GUMBELL		Pmax (mm)
		K _T	X _T	
2	0.500	-0.1643	34.91	34.9
5	0.800	0.7195	43.83	43.8
10	0.900	1.3046	49.73	49.7
20	0.950	1.8658	55.40	55.4
25	0.960	2.0438	57.20	57.2
50	0.980	2.5923	62.73	62.7
100	0.990	3.1367	68.23	68.2
140	0.993	3.4001	70.89	70.9
200	0.995	3.6791	73.70	73.7
300	0.997	3.9959	76.90	76.9
500	0.998	4.3947	80.92	80.9
1000	0.999	4.9355	86.38	86.4

Figura D2



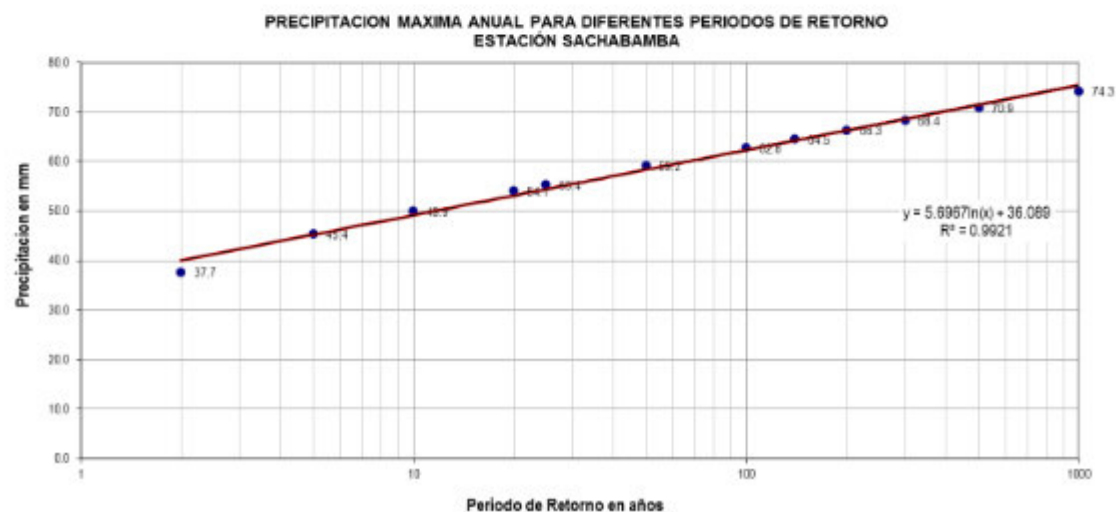
Estación Sachabamba (Openam)

Tabla D3 Precipitación Máxima Para Diferentes Periodos de Retorno

Promedio:	$x = 38.6053$	$y = 1.5764$
Desviación estándar:	$s = 8.7784$	$sy = 0.0952$
Cs/6:	$k = 0.1511$	$k = 0.0437$

T (años)	P(X≤X _T)	DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL			Pmax (mm)
		K _T	X _T	10 ^{X_T}	
2	0.500	0.0000	1.58	37.71	37.7
5	0.800	0.8416	1.66	45.35	45.4
10	0.900	1.2816	1.70	49.95	49.9
20	0.950	1.6449	1.73	54.09	54.1
25	0.960	1.7507	1.74	55.36	55.4
50	0.980	2.0537	1.77	59.16	59.2
100	0.990	2.3263	1.80	62.81	62.8
140	0.993	2.4500	1.81	64.53	64.5
200	0.995	2.5758	1.82	66.34	66.3
300	0.997	2.7131	1.83	68.37	68.4
500	0.998	2.8782	1.85	70.89	70.9
1000	0.999	3.0902	1.87	74.26	74.3

Figura D3



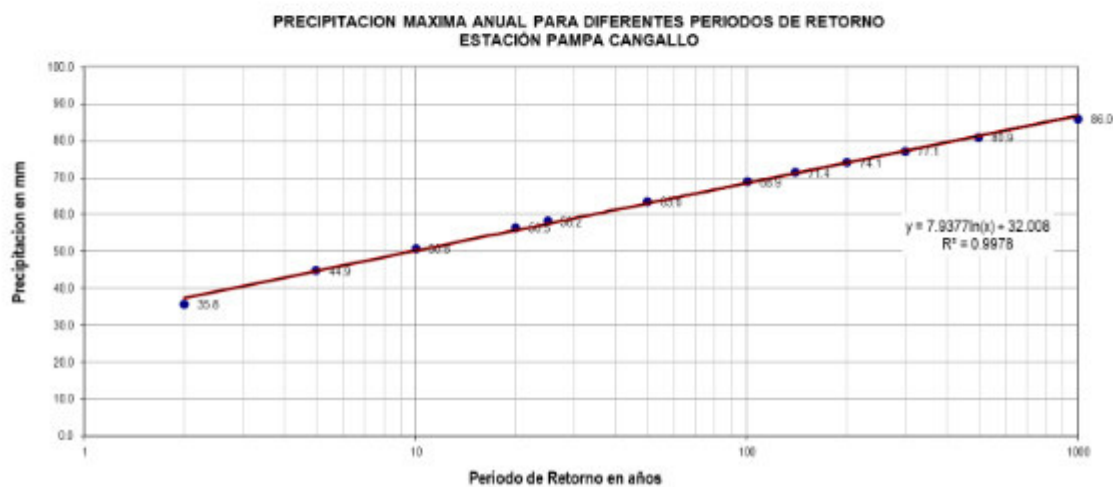
Estación Pampa Cangallo (Openam)

Tabla D4 Precipitación Máxima Para Diferentes Periodos de Retorno

Promedio:	$x = 37.6936$	$y = 1.5646$
Desviación estándar:	$s = 9.8662$	$sy = 0.1066$
Cs/6:	$k = 0.2013$	$k = 0.1273$

T (años)	P(X≤X _T)	DISTRIBUCIÓN PEARSON III		Pmax (mm)
		K _T	X _T	
2	0.500	-0.1930	35.79	35.8
5	0.800	0.7266	44.86	44.9
10	0.900	1.3324	50.84	50.8
20	0.950	1.9039	56.48	56.5
25	0.960	2.0831	58.25	58.2
50	0.980	2.6293	63.64	63.6
100	0.990	3.1640	68.91	68.9
140	0.993	3.4204	71.44	71.4
200	0.995	3.6906	74.11	74.1
300	0.997	3.9960	77.12	77.1
500	0.998	4.3787	80.89	80.9
1000	0.999	4.8949	85.99	86.0

Figura D4



Apéndice E. Intensidad-Duración-Frecuencia

Estación Allpachaca (Senamhi)

Ecuación de Intensidad - Duración - Frecuencia

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + m * \text{Log}(T) - n * \text{Log}(t)$$

$$I = \frac{10^k T^m}{t^n}$$

$$I = \frac{10^{2.5545} T^{0.1330}}{t^{0.75}}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Período de retorno en años

t: Duración de la precipitación (min)

Nota: Los valores k, m y n se obtuvieron al realizar una regresión múltiple de los valores de intensidad de diseño para duraciones menores a 24 horas.

Tabla E1 Intensidad Para Diferentes Periodos de Retorno

DURACIÓN		PERIODOS DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	69.90	78.96	86.59	94.95	97.81	107.25	117.61	128.96	145.67
0.33	20.00	41.56	46.95	51.48	56.46	58.16	63.77	69.93	76.68	86.62
0.50	30.00	30.67	34.64	37.98	41.65	42.91	47.05	51.59	56.57	63.91
0.67	40.00	24.71	27.92	30.61	33.57	34.58	37.92	41.58	45.60	51.50
0.83	50.00	20.91	23.61	25.90	28.40	29.25	32.08	35.17	38.57	43.57
1.00	60.00	18.23	20.60	22.59	24.77	25.51	27.98	30.68	33.64	38.00
1.50	90.00	13.45	15.20	16.66	18.27	18.82	20.64	22.63	24.82	28.04
2.00	120.00	10.84	12.25	13.43	14.73	15.17	16.63	18.24	20.00	22.59
4.00	240.00	6.45	7.28	7.99	8.76	9.02	9.89	10.85	11.89	13.43
6.00	360.00	4.76	5.37	5.89	6.46	6.65	7.30	8.00	8.77	9.91
7.00	420.00	4.24	4.79	5.25	5.75	5.93	6.50	7.13	7.82	8.83
8.00	480.00	3.83	4.33	4.75	5.21	5.36	5.88	6.45	7.07	7.99
10.00	600.00	3.24	3.66	4.02	4.40	4.54	4.97	5.46	5.98	6.76
11.00	660.00	3.02	3.41	3.74	4.10	4.22	4.63	5.08	5.57	6.29
12.00	720.00	2.83	3.19	3.50	3.84	3.96	4.34	4.76	5.22	5.89
24.00	1440.00	1.68	1.90	2.08	2.28	2.35	2.58	2.83	3.10	3.50

Estación Alpachaca (Opeman)

Ecuación de Intensidad - Duración - Frecuencia

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + m * \text{Log}(T) - n * \text{Log}(t)$$

$$I = \frac{10^k T^m}{t^n}$$

$$I = \frac{10^{2.5241} T^{0.1470}}{t^{0.75}}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Período de retorno en años

t: Duración de la precipitación (min)

Nota: Los valores k, m y n se obtuvieron al realizar una regresión múltiple de los valores de intensidad de diseño para duraciones menores a 24 horas.

Tabla E2 Intensidad Para Diferentes Periodos de Retorno

DURACIÓN		PERIODOS DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	65.82	75.31	83.39	92.33	95.41	105.64	116.97	129.51	148.18
0.33	20.00	39.14	44.78	49.58	54.90	56.73	62.81	69.55	77.01	88.11
0.50	30.00	28.88	33.04	36.58	40.50	41.85	46.34	51.31	56.82	65.01
0.67	40.00	23.27	26.63	29.48	32.64	33.73	37.35	41.35	45.79	52.39
0.83	50.00	19.69	22.52	24.94	27.61	28.53	31.59	34.98	38.73	44.32
1.00	60.00	17.17	19.64	21.75	24.08	24.89	27.56	30.51	33.78	38.65
1.50	90.00	12.67	14.49	16.05	17.77	18.36	20.33	22.51	24.92	28.52
2.00	120.00	10.21	11.68	12.93	14.32	14.80	16.38	18.14	20.09	22.98
4.00	240.00	6.07	6.95	7.69	8.51	8.80	9.74	10.79	11.94	13.67
6.00	360.00	4.48	5.12	5.67	6.28	6.49	7.19	7.96	8.81	10.08
7.00	420.00	3.99	4.56	5.05	5.60	5.78	6.40	7.09	7.85	8.98
8.00	480.00	3.61	4.13	4.57	5.06	5.23	5.79	6.41	7.10	8.13
10.00	600.00	3.05	3.49	3.87	4.28	4.43	4.90	5.43	6.01	6.87
11.00	660.00	2.84	3.25	3.60	3.99	4.12	4.56	5.05	5.59	6.40
12.00	720.00	2.66	3.05	3.37	3.74	3.86	4.27	4.73	5.24	6.00
24.00	1440.00	1.58	1.81	2.01	2.22	2.30	2.54	2.81	3.12	3.56

Estación Sachabamba (Opeman)

Ecuación de Intensidad - Duración - Frecuencia

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + m * \text{Log}(T) - n * \text{Log}(t)$$

$$I = \frac{10^k T^m}{t^n}$$

$$I = \frac{10^{2.5650} T^{0.1091}}{t^{0.75}}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Período de retorno en años

t: Duración de la precipitación (min)

Nota: Los valores k, m y n se obtuvieron al realizar una regresión múltiple de los valores de intensidad de diseño para duraciones menores a 24 horas.

Tabla E3 Intensidad Para Diferentes Periodos de Retorno

DURACIÓN		PERIODOS DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	70.45	77.86	83.97	90.57	92.81	100.10	107.96	116.45	128.69
0.33	20.00	41.89	46.29	49.93	53.86	55.18	59.52	64.20	69.24	76.52
0.50	30.00	30.90	34.16	36.84	39.73	40.71	43.91	47.36	51.08	56.46
0.67	40.00	24.91	27.53	29.69	32.02	32.81	35.39	38.17	41.17	45.50
0.83	50.00	21.07	23.28	25.11	27.09	27.76	29.94	32.29	34.83	38.49
1.00	60.00	18.38	20.31	21.90	23.63	24.21	26.11	28.16	30.38	33.57
1.50	90.00	13.56	14.98	16.16	17.43	17.86	19.26	20.78	22.41	24.77
2.00	120.00	10.93	12.08	13.02	14.05	14.39	15.53	16.75	18.06	19.96
4.00	240.00	6.50	7.18	7.74	8.35	8.56	9.23	9.96	10.74	11.87
6.00	360.00	4.79	5.30	5.71	6.16	6.31	6.81	7.35	7.92	8.76
7.00	420.00	4.27	4.72	5.09	5.49	5.63	6.07	6.54	7.06	7.80
8.00	480.00	3.86	4.27	4.60	4.97	5.09	5.49	5.92	6.39	7.06
10.00	600.00	3.27	3.61	3.90	4.20	4.30	4.64	5.01	5.40	5.97
11.00	660.00	3.04	3.36	3.63	3.91	4.01	4.32	4.66	5.03	5.56
12.00	720.00	2.85	3.15	3.40	3.66	3.75	4.05	4.37	4.71	5.21
24.00	1440.00	1.69	1.87	2.02	2.18	2.23	2.41	2.60	2.80	3.10

Estación Pampa Cangallo (Opeman)

Ecuación de Intensidad - Duración - Frecuencia

$$\text{Log}(I) = \text{Log}(K) + m * \text{Log}(T) - n * \text{Log}(t)$$

$$I = \frac{10^k T^m}{t^n}$$

$$I = \frac{10^{2.5378} T^{0.1422}}{t^{0.75}}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Período de retorno en años

t: Duración de la precipitación (min)

Nota: Los valores k , m y n se obtuvieron al realizar una regresión múltiple de los valores de intensidad de diseño para duraciones menores a 24 horas.

Tabla E4 Intensidad Para Diferentes Periodos de Retorno

DURACIÓN		PERIODOS DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	67.70	77.13	85.12	93.94	96.97	107.01	118.10	130.34	148.48
0.33	20.00	40.26	45.86	50.61	55.86	57.66	63.63	70.22	77.50	88.29
0.50	30.00	29.70	33.84	37.34	41.21	42.54	46.95	51.81	57.18	65.14
0.67	40.00	23.94	27.27	30.09	33.21	34.28	37.84	41.76	46.08	52.50
0.83	50.00	20.25	23.07	25.46	28.09	29.00	32.00	35.32	38.98	44.41
1.00	60.00	17.66	20.12	22.20	24.50	25.29	27.91	30.81	34.00	38.73
1.50	90.00	13.03	14.84	16.38	18.08	18.66	20.59	22.73	25.08	28.58
2.00	120.00	10.50	11.96	13.20	14.57	15.04	16.60	18.32	20.22	23.03
4.00	240.00	6.24	7.11	7.85	8.66	8.94	9.87	10.89	12.02	13.69
6.00	360.00	4.61	5.25	5.79	6.39	6.60	7.28	8.04	8.87	10.10
7.00	420.00	4.10	4.67	5.16	5.69	5.88	6.49	7.16	7.90	9.00
8.00	480.00	3.71	4.23	4.67	5.15	5.32	5.87	6.48	7.15	8.14
10.00	600.00	3.14	3.58	3.95	4.36	4.50	4.96	5.48	6.05	6.89
11.00	660.00	2.92	3.33	3.68	4.06	4.19	4.62	5.10	5.63	6.41
12.00	720.00	2.74	3.12	3.44	3.80	3.92	4.33	4.78	5.27	6.01
24.00	1440.00	1.63	1.86	2.05	2.26	2.33	2.57	2.84	3.14	3.57

Apéndice F. Hietogramas de Precipitación de Diseño

Estación Allpachaca (Senamhi)

Tabla F1 Hietograma de Precipitación de Diseño Para un Tr de 500 Años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN (mln)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (mln)	PROFUNDIDAD INCREMENTAL (mln)	TIEMPO (mln)	PRECIPITACIÓN (mln)
60	38.00	38.00	38.00	0-60	0.89
120	22.59	45.19	7.19	60-120	0.95
180	16.67	50.01	4.82	120-180	1.02
240	13.43	53.74	3.73	180-240	1.11
300	11.36	56.82	3.08	240-300	1.22
360	9.91	59.47	2.65	300-360	1.35
420	8.83	61.81	2.34	360-420	1.52
480	7.99	63.91	2.10	420-480	1.76
540	7.31	65.82	1.91	480-540	2.10
600	6.76	67.57	1.76	540-600	2.65
660	6.29	69.20	1.63	600-660	3.73
720	5.89	70.72	1.52	660-720	7.19
780	5.55	72.15	1.43	720-780	38.00
840	5.25	73.50	1.35	780-840	4.82
900	4.99	74.78	1.28	840-900	3.08
960	4.75	76.00	1.22	900-960	2.34
1020	4.54	77.16	1.16	960-1020	1.91
1080	4.35	78.27	1.11	1020-1080	1.63
1140	4.18	79.33	1.07	1080-1140	1.43
1200	4.02	80.36	1.02	1140-1200	1.28
1260	3.87	81.34	0.99	1200-1260	1.16
1320	3.74	82.30	0.95	1260-1320	1.07
1380	3.62	83.22	0.92	1320-1380	0.99
1440	3.50	84.11	0.89	1380-1440	0.92

Estación Allpachaca (Opeman)

Tabla F2 Hietograma de Precipitación de Diseño Para un Tr de 500 Años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (min)	PROFUNDIDAD INCREMENTAL (min)	TIEMPO (min)	PRECIPITACIÓN (min)
60	38.65	38.65	38.65	0-60	0.91
120	22.98	45.97	7.31	60-120	0.97
180	16.96	50.87	4.90	120-180	1.04
240	13.67	54.66	3.79	180-240	1.13
300	11.56	57.80	3.14	240-300	1.24
360	10.08	60.50	2.70	300-360	1.37
420	8.98	62.87	2.38	360-420	1.55
480	8.13	65.01	2.13	420-480	1.79
540	7.44	66.95	1.94	480-540	2.13
600	6.87	68.74	1.79	540-600	2.70
660	6.40	70.39	1.66	600-660	3.79
720	6.00	71.94	1.55	660-720	7.31
780	5.65	73.40	1.45	720-780	38.65
840	5.34	74.77	1.37	780-840	4.90
900	5.07	76.07	1.30	840-900	3.14
960	4.83	77.31	1.24	900-960	2.38
1020	4.62	78.49	1.18	960-1020	1.94
1080	4.42	79.62	1.13	1020-1080	1.66
1140	4.25	80.70	1.08	1080-1140	1.45
1200	4.09	81.74	1.04	1140-1200	1.30
1260	3.94	82.75	1.00	1200-1260	1.18
1320	3.81	83.71	0.97	1260-1320	1.08
1380	3.68	84.65	0.94	1320-1380	1.00
1440	3.56	85.55	0.91	1380-1440	0.94

Estación Sachabamba (Opeman)

Tabla F3 *Hietograma de Precipitación de Diseño Para un Tr de 500 Años*

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (min)	PROFUNDIDAD INCREMENTAL (min)	TIEMPO (min)	PRECIPITACIÓN (min)
60	33.57	33.57	33.57	0-60	0.79
120	19.96	39.92	6.35	60-120	0.84
180	14.73	44.18	4.26	120-180	0.90
240	11.87	47.47	3.29	180-240	0.98
300	10.04	50.20	2.72	240-300	1.07
360	8.76	52.54	2.34	300-360	1.19
420	7.80	54.60	2.06	360-420	1.34
480	7.06	56.46	1.85	420-480	1.55
540	6.46	58.14	1.69	480-540	1.85
600	5.97	59.70	1.55	540-600	2.34
660	5.56	61.14	1.44	600-660	3.29
720	5.21	62.48	1.34	660-720	6.35
780	4.90	63.74	1.26	720-780	33.57
840	4.64	64.93	1.19	780-840	4.26
900	4.40	66.06	1.13	840-900	2.72
960	4.20	67.14	1.07	900-960	2.06
1020	4.01	68.16	1.03	960-1020	1.69
1080	3.84	69.15	0.98	1020-1080	1.44
1140	3.69	70.09	0.94	1080-1140	1.26
1200	3.55	70.99	0.90	1140-1200	1.13
1260	3.42	71.86	0.87	1200-1260	1.03
1320	3.30	72.70	0.84	1260-1320	0.94
1380	3.20	73.52	0.81	1320-1380	0.87
1440	3.10	74.30	0.79	1380-1440	0.81

Estación Pampa Cangallo (Opeman)

Tabla F4 Hietograma de Precipitación de Diseño Para un Tr de 500 Años

MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACIÓN (min)	INTENSIDAD (mm/hr)	PROF. ACUMULADA (min)	PROFUNDIDAD INCREMENTAL (min)	TIEMPO (min)	PRECIPITACIÓN (min)
60	38.73	38.73	38.73	0-60	0.91
120	23.03	46.06	7.33	60-120	0.97
180	16.99	50.97	4.91	120-180	1.04
240	13.69	54.77	3.80	180-240	1.13
300	11.58	57.92	3.14	240-300	1.24
360	10.10	60.62	2.70	300-360	1.38
420	9.00	63.00	2.38	360-420	1.55
480	8.14	65.14	2.14	420-480	1.79
540	7.45	67.08	1.95	480-540	2.14
600	6.89	68.88	1.79	540-600	2.70
660	6.41	70.54	1.66	600-660	3.80
720	6.01	72.09	1.55	660-720	7.33
780	5.66	73.54	1.46	720-780	38.73
840	5.35	74.92	1.38	780-840	4.91
900	5.08	76.22	1.30	840-900	3.14
960	4.84	77.46	1.24	900-960	2.38
1020	4.63	78.65	1.18	960-1020	1.95
1080	4.43	79.78	1.13	1020-1080	1.66
1140	4.26	80.86	1.09	1080-1140	1.46
1200	4.10	81.91	1.04	1140-1200	1.30
1260	3.95	82.91	1.01	1200-1260	1.18
1320	3.81	83.88	0.97	1260-1320	1.09
1380	3.69	84.82	0.94	1320-1380	1.01
1440	3.57	85.73	0.91	1380-1440	0.94

Apéndice G. Resultado de Aforo

Tabla G Ficha de Aforo del río Moyocc

ID	Profundidad (m)	Velocidad al 20% (m/s)	Velocidad al 60% (m/s)	Velocidad al 80% (m/s)	Promedio Velocidad (m/s)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
1	0.030		0.001		0.001	0.036	0.00004
2	0.067		0.017		0.017	0.060	0.001
3	0.051		0.056		0.056	0.060	0.003
4	0.072		0.061		0.061	0.069	0.004
5	0.080		0.060		0.060	0.088	0.005
6	0.118		0.086		0.086	0.010	0.001
7	0.103	0.108		0.084	0.096	0.106	0.010
8	0.108	0.111		0.069	0.090	0.109	0.010
9	0.118	0.156		0.116	0.136	0.124	0.017
10	0.151	0.172		0.134	0.153	0.146	0.022
11	0.163	0.191		0.141	0.166	0.166	0.027
12	0.185	0.201		0.179	0.190	0.190	0.036
13	0.226	0.257		0.144	0.201	0.218	0.044
14	0.236	0.269		0.180	0.225	0.230	0.052
15	0.222	0.262		0.186	0.224	0.235	0.053
16	0.260	0.241		0.098	0.170	0.247	0.042
17	0.244	0.246		0.153	0.200	0.259	0.052
18	0.289	0.221		0.172	0.197	0.285	0.056
19	0.316	0.058		0.005	0.032	0.305	0.010
20	0.252	0.004		0.004	0.004	0.273	0.001
21	0.352	0.007		0.014	0.011	0.318	0.003
22	0.178	0.001		0.014	0.008	0.225	0.002
Total					2.38	3.76	0.45

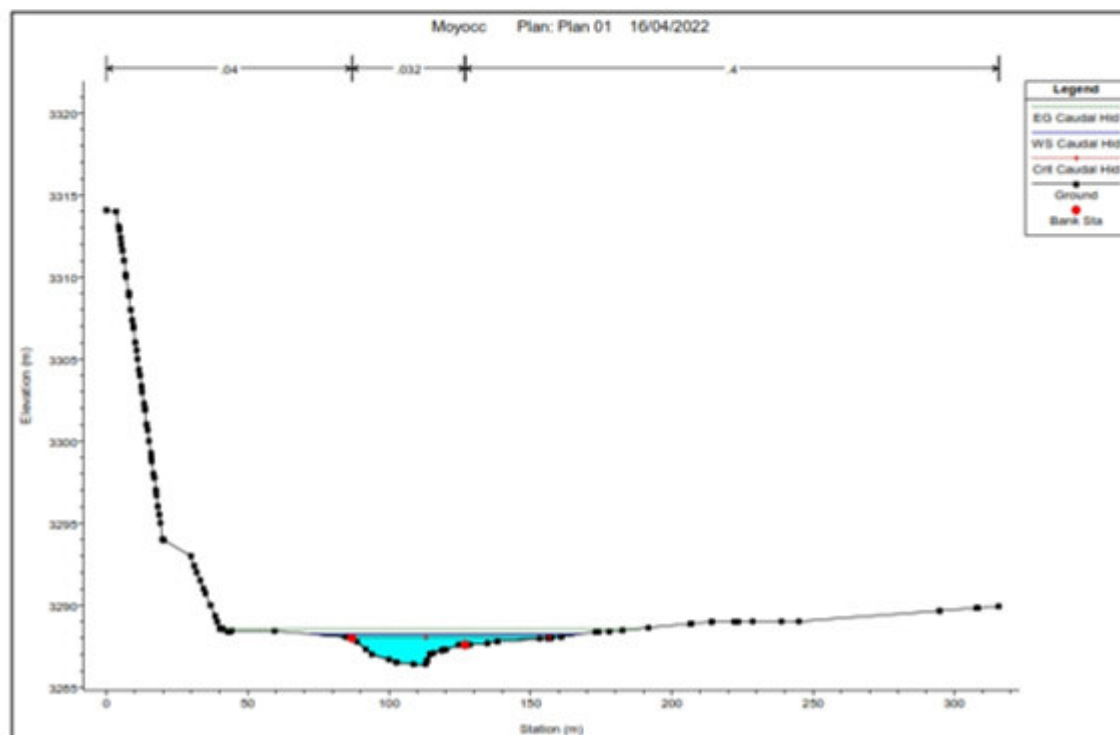
Apéndice H. Resultados Obtenidos Con La Calibración

Sección 300

Figura H1 Resultados Obtenidos Con el Software *Hec-Ras* Para la Sección

Plan: Plan 01 Moyocc rio RS: 300 Profile: Caudal Hid					
E.G. Elev (m)	3288.49	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.25	Wt. n-Val.	0.040	0.032	0.040
W.S. Elev (m)	3288.25	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	1.72	50.58	14.77
E.G. Slope (m/m)	0.004038	Area (m2)	1.72	50.58	14.77
Q Total (m3/s)	129.31	Flow (m3/s)	0.64	116.86	11.81
Top Width (m)	96.63	Top Width (m)	15.22	40.06	41.35
Vel Total (m/s)	1.93	Avg. Vel. (m/s)	0.37	2.31	0.80
Max Chl Dpth (m)	1.86	Hydr. Depth (m)	0.11	1.26	0.36
Conv. Total (m3/s)	2035.0	Conv. (m3/s)	10.1	1839.1	185.8
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)	15.23	40.31	41.36
Min Ch El (m)	3286.38	Shear (N/m2)	4.48	49.69	14.14
Alpha	1.31	Stream Power (N/m s)	1.66	114.81	11.31
Frctn Loss (m)	0.06	Cum Volume (1000 m3)	1.21	29.60	4.03
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)	5.01	31.48	13.82

Figura H2 Resultados en la Sección Transversal

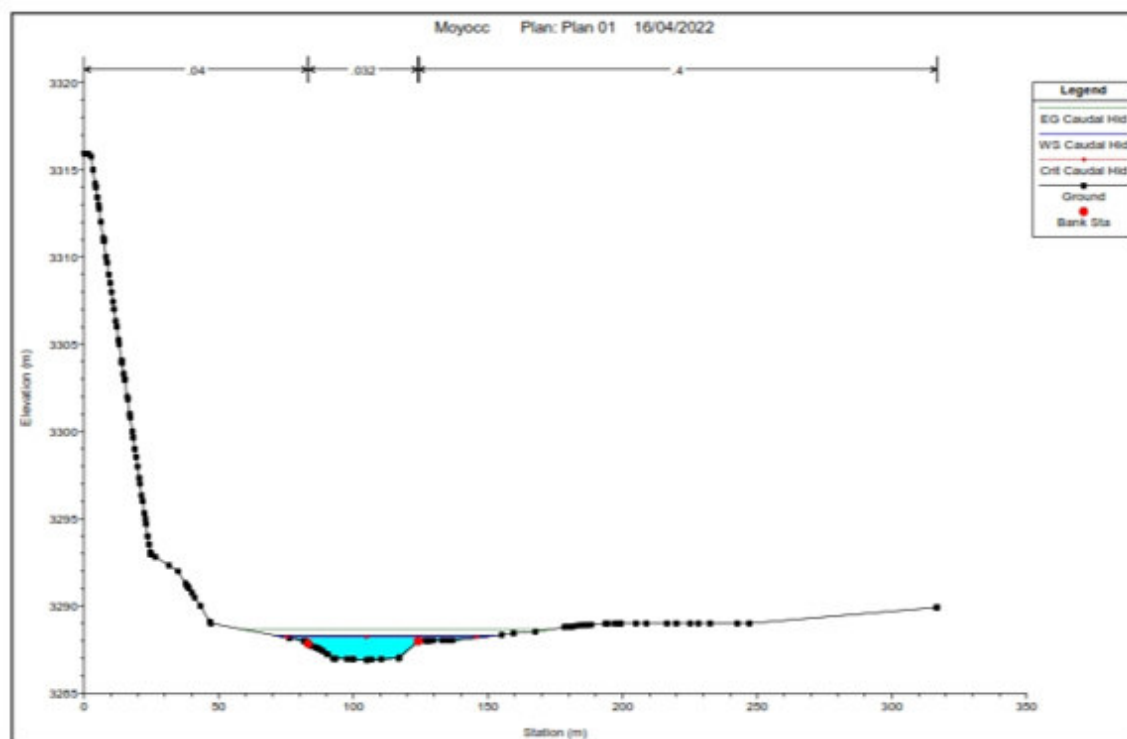


Sección 320

Figura H3 Resultados Obtenidos Con el Software Hec-Ras Para la Sección

Plan: Plan 01 Moyocc rio RS: 320 Profile: Caudal Hid					
Element	Left OB	Channel	Right OB		
E.G. Elev (m)	3288.65				
Vel Head (m)	0.40				
W.S. Elev (m)	3288.25				
Crit W.S. (m)	3288.23				
E.G. Slope (m/m)	0.007558				
Q Total (m3/s)	129.31				
Top Width (m)	75.98				
Vel Total (m/s)	2.60				
Max Chl Dpth (m)	1.33				
Conv. Total (m3/s)	1487.4				
Length Wtd. (m)	20.00				
Min Ch El (m)	3286.91				
Alpha	1.17				
Frctn Loss (m)	0.11				
C & E Loss (m)	0.05				
Wt. n-Val.	0.040	0.032	0.040		
Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00		
Flow Area (m2)	1.51	44.09	4.15		
Area (m2)	1.51	44.09	4.15		
Flow (m3/s)	0.93	125.66	2.72		
Top Width (m)	10.02	40.92	25.03		
Avg. Vel. (m/s)	0.62	2.85	0.66		
Hydr. Depth (m)	0.15	1.08	0.17		
Conv. (m3/s)	10.7	1445.4	31.3		
Wetted Per. (m)	10.03	41.03	25.04		
Shear (N/m2)	11.17	79.64	12.27		
Stream Power (N/m s)	6.88	227.00	8.04		
Cum Volume (1000 m3)	1.24	30.55	4.22		
Cum SA (1000 m2)	5.26	32.29	14.49		

Figura H4 Resultados en la Sección Transversal

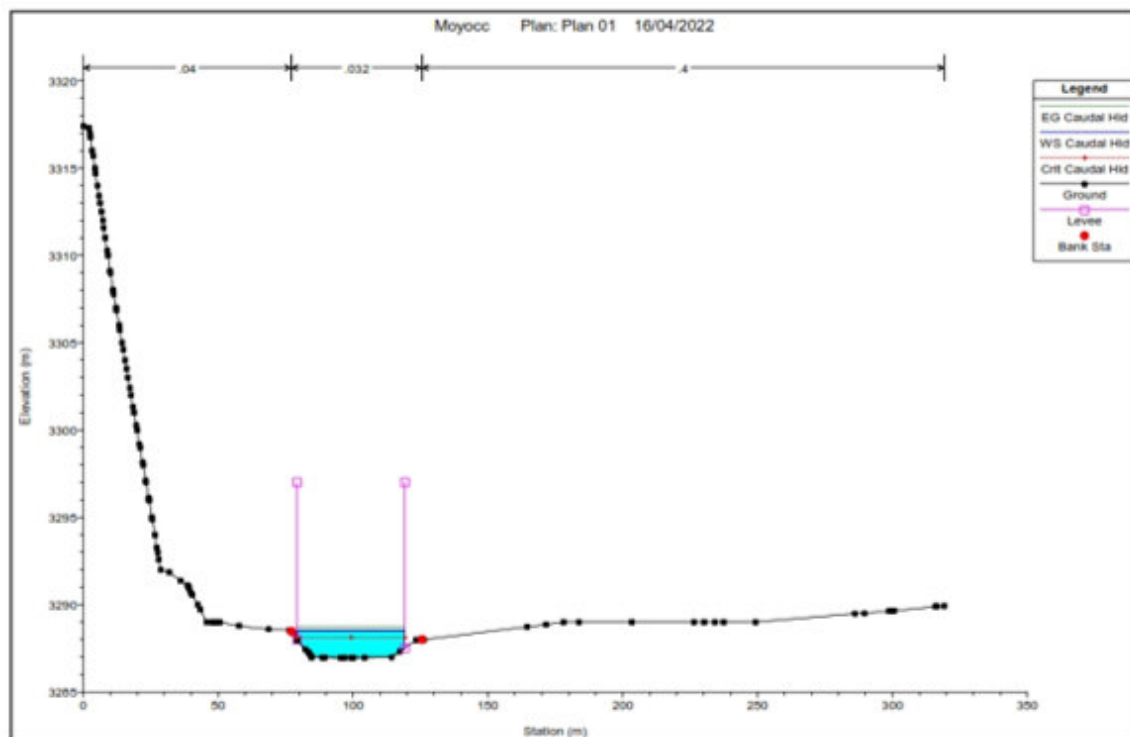


Sección 340

Figura H5 Resultados Obtenidos Con el Software Hec-Ras Para la Sección

Plan: Plan 01 Moyocc rio RS: 340 Profile: Caudal Hid					
E.G. Elev (m)	3288.76	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.27	Wt. n-Val.		0.032	
W.S. Elev (m)	3288.49	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)	3288.12	Flow Area (m2)		56.19	
E.G. Slope (m/m)	0.003629	Area (m2)		56.19	
Q Total (m3/s)	129.31	Flow (m3/s)		129.31	
Top Width (m)	40.00	Top Width (m)		40.00	
Vel Total (m/s)	2.30	Avg. Vel. (m/s)		2.30	
Max Chl Dpth (m)	1.53	Hydr. Depth (m)		1.40	
Conv. Total (m3/s)	2146.7	Conv. (m3/s)		2146.7	
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)		41.57	
Min Ch El (m)	3286.96	Shear (N/m2)		48.09	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		110.67	
Frctn Loss (m)	0.10	Cum Volume (1000 m3)	1.26	31.55	4.26
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	5.36	33.10	14.74

Figura H6 Resultados en la Sección Transversal

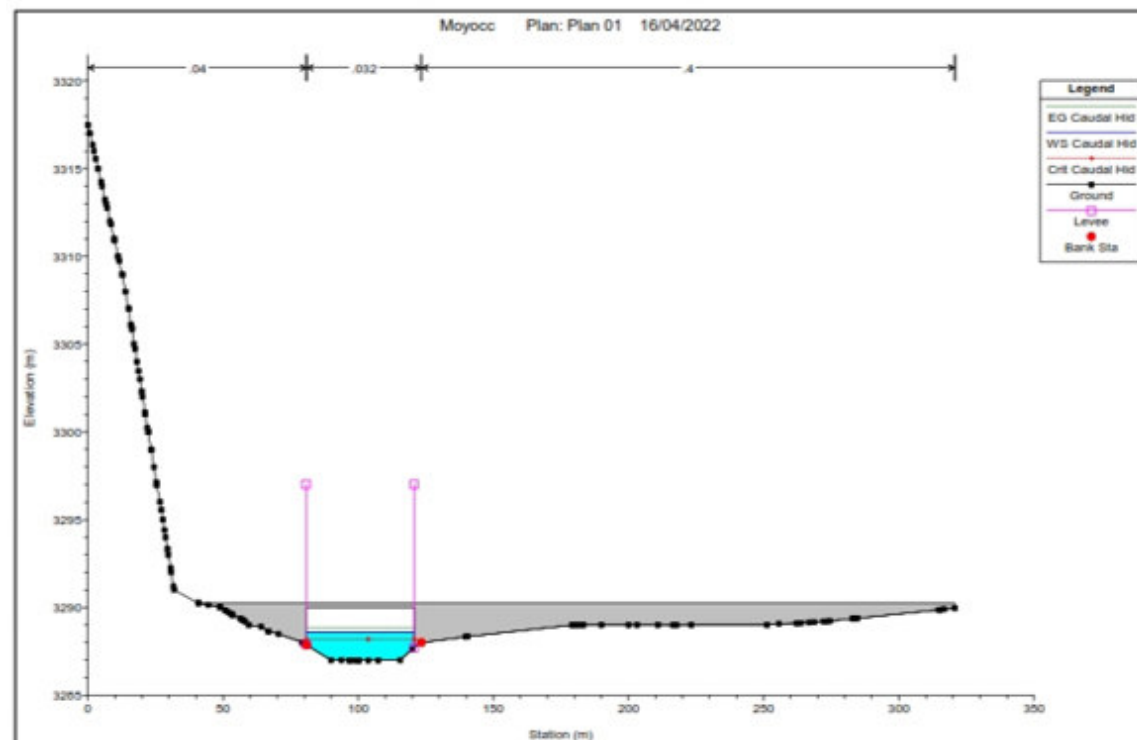


Sección 350 (Sección del Puente Actual)

Figura H7 Resultados Obtenidos Con el Software Hec-Ras Para la Sección

Plan: Plan 01 Moyocc rio RS: 350 Profile: Caudal Hid				
E.G. US. (m)	3288.84	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	3288.58	E.G. Elev (m)	3288.81	3288.78
Q Total (m3/s)	129.31	W.S. Elev (m)	3288.53	3288.52
Q Bridge (m3/s)	129.31	Crit W.S. (m)	3288.17	3288.12
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	1.54	1.56
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.34	2.25
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	55.26	57.41
Weir Submerg		Froude # Chl	0.64	0.60
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	70.30	71.91
Min El Weir Flow (m)	3290.24	Hydr Depth (m)	1.38	1.44
Min El Prs (m)	3290.00	W.P. Total (m)	40.09	40.12
Delta EG (m)	0.08	Conv. Total (m3/s)	2140.2	2278.0
Delta WS (m)	0.09	Top Width (m)	40.00	40.00
BR Open Area (m2)	114.20	Frctn Loss (m)	0.02	0.02
BR Open Vel (m/s)	2.34	C & E Loss (m)	0.01	0.00
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	49.34	45.21
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	115.46	101.84

Figura H8 Resultados en la Sección Transversal



Apéndice I. Características Hidráulicas Sin Puente

Tabla I Resultados Obtenidos con el Software Hec-Ras Para la Situación Sin Proyecto

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)
1120	337.3	3291.0	3292.0	3291.8	3292.2	0.0	2.0	174.9	183.8	0.6	1.2	
1110	337.3	3291.0	3292.0		3292.2	0.0	2.1	171.9	190.5	0.7	1.1	
1100	337.3	3290.9	3291.9		3292.1	0.0	2.1	173.9	194.3	0.7	1.1	
1080	337.3	3290.7	3291.9		3292.1	0.0	2.0	186.7	204.1	0.6	1.0	1.4
1060	337.3	3290.6	3291.8		3292.0	0.0	1.8	200.9	214.9	0.6	0.8	1.0
1040	337.3	3290.5	3291.7		3291.9	0.0	2.1	203.2	220.0	0.6	1.1	1.4
1020	337.3	3290.4	3291.7		3291.8	0.0	1.5	219.6	231.8	0.5		
1000	337.3	3290.2	3291.6		3291.8	0.0	2.1	222.1	236.5	0.6	1.0	1.4
980	337.3	3290.1	3291.6		3291.7	0.0	2.1	231.4	241.0	0.6	1.1	1.4
970	337.3	3290.0	3291.6		3291.7	0.0	1.7	241.5	247.0	0.5	0.7	1.1
940	337.3	3290.0	3291.4		3291.6	0.0	2.2	192.7	230.7	0.6	0.9	1.0
920	337.3	3290.0	3291.3		3291.5	0.0	2.0	200.2	233.4	0.6	0.6	1.1
900	337.3	3290.0	3291.3		3291.5	0.0	2.0	201.6	232.9	0.6	0.8	0.9
890	337.3	3290.0	3291.3		3291.4	0.0	2.0	204.0	231.0	0.6	0.9	0.9
880	337.3	3290.0	3291.2		3291.4	0.0	2.0	201.1	231.7	0.6	0.8	1.0
860	337.3	3290.0	3291.1		3291.3	0.0	2.1	196.3	235.2	0.6	1.0	1.1
840	337.3	3290.0	3291.0		3291.2	0.0	2.4	169.1	219.6	0.8	1.2	1.3
830	337.3	3289.8	3291.0		3291.2	0.0	2.2	179.7	218.2	0.7	1.0	1.3
820	337.3	3289.7	3290.9		3291.1	0.0	2.0	199.1	219.0	0.6	0.9	1.2
800	337.3	3289.4	3290.9		3291.1	0.0	1.9	226.9	241.7	0.5	0.9	0.9
780	337.3	3289.1	3290.9		3291.0	0.0	2.0	235.4	240.5	0.5	1.0	0.9
760	337.3	3289.0	3290.8		3291.0	0.0	1.7	246.5	236.5	0.4	0.8	0.6
750	337.3	3288.9	3290.8		3291.0	0.0	1.7	255.2	239.7	0.4	0.7	0.7
740	337.3	3288.9	3290.8		3290.9	0.0	2.0	233.7	232.9	0.5	0.9	0.8
720	337.3	3288.9	3290.7		3290.9	0.0	2.2	198.8	229.6	0.6	0.9	0.8
700	337.3	3288.8	3290.6		3290.8	0.0	2.4	203.3	236.7	0.6	1.1	1.0
690	337.3	3288.3	3290.6		3290.8	0.0	2.6	220.5	247.8	0.6	1.2	1.0
660	337.3	3288.0	3290.5		3290.7	0.0	2.2	249.5	253.4	0.5	0.9	0.7
640	337.3	3288.0	3290.5		3290.7	0.0	2.3	237.7	235.4	0.5	1.0	0.8
630	337.3	3288.0	3290.5		3290.7	0.0	2.3	236.8	236.3	0.5	1.0	0.9
620	337.3	3288.0	3290.3	3290.2	3290.6	0.0	3.3	177.5	204.6	0.7	1.0	1.3
600	337.3	3288.0	3290.1	3290.1	3290.5	0.0	3.5	161.9	190.5	0.8	1.2	1.4
580	337.3	3288.0	3289.8	3290.0	3290.4	0.0	4.0	132.7	177.7	1.0	1.3	1.6
560	337.3	3288.0	3289.6	3289.8	3290.2	0.0	4.0	125.8	171.3	1.1	1.2	1.7

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)
540	337.3	3288.0	3289.8	3289.4	3290.0	0.0	2.2	210.5	203.9	0.6	1.0	1.1
520	337.3	3288.0	3289.8		3289.9	0.0	1.9	245.1	220.2	0.5	0.8	1.0
500	337.3	3287.0	3289.8		3289.9	0.0	2.0	281.5	237.3	0.4	0.9	0.9
480	337.3	3287.0	3289.8		3289.9	0.0	1.9	299.7	254.1	0.4	0.8	0.8
460	337.3	3287.0	3289.8		3289.8	0.0	1.6	319.4	263.2	0.4	0.8	0.8
440	337.3	3287.0	3289.7		3289.8	0.0	1.7	312.5	260.4	0.4	0.8	0.7
420	337.3	3287.0	3289.7		3289.8	0.0	1.9	285.1	257.5	0.4	0.8	0.8
400	337.3	3287.0	3289.6		3289.8	0.0	2.2	254.9	244.0	0.4	0.9	0.8
380	337.3	3287.0	3289.5		3289.7	0.0	2.5	216.9	230.4	0.5	1.1	0.9
360	337.3	3287.0	3289.4		3289.7	0.0	2.6	202.1	230.5	0.6	1.1	0.8
340	337.3	3287.0	3289.4	3289.0	3289.6	0.0	2.6	196.4	231.3	0.6	0.9	0.8
320	337.3	3286.9	3288.9	3288.9	3289.5	0.0	3.7	123.0	137.1	0.9	1.3	1.4
300	337.3	3286.4	3288.6	3288.8	3289.3	0.0	4.2	110.8	150.3	1.1	1.1	1.6
280	337.3	3286.8	3288.8	3288.6	3289.1	0.0	2.5	185.4	173.9	0.6	1.2	1.1
260	337.3	3286.9	3288.8		3289.0	0.0	2.1	193.2	180.2	0.5	0.9	0.8
240	337.3	3286.9	3288.8		3289.0	0.0	2.2	193.2	180.8	0.5	1.0	0.8
220	337.3	3286.9	3288.7		3288.9	0.0	2.0	219.3	224.9	0.5	0.9	0.8
200	337.3	3287.0	3288.8		3288.9	0.0	1.5	263.7	203.0	0.4	0.4	0.9
180	337.3	3287.0	3288.7		3288.8	0.0	1.7	252.4	233.5	0.4	0.5	0.8
160	337.3	3287.0	3288.6		3288.8	0.0	1.9	221.5	229.3	0.5	0.7	0.8
140	337.3	3287.0	3288.6		3288.7	0.0	2.1	206.4	222.7	0.6	0.8	1.0
120	337.3	3287.0	3288.6		3288.7	0.0	1.7	241.1	225.8	0.5	0.8	0.9
100	337.3	3287.0	3288.5		3288.6	0.0	1.6	252.3	221.4	0.4	0.7	0.8
80	337.3	3287.0	3288.5		3288.6	0.0	1.4	253.1	219.6	0.4	0.4	0.5
60	337.3	3287.0	3288.5		3288.6	0.0	1.5	243.0	223.0	0.4	0.5	0.7
40	337.3	3287.0	3288.4		3288.6	0.0	1.6	231.4	218.1	0.4	0.5	0.7
20	337.3	3287.0	3288.3		3288.5	0.0	1.9	207.9	215.5	0.5	0.8	0.9
0	337.3	3287.0	3288.3	3287.9	3288.4	0.0	2.0	181.4	201.3	0.6	0.5	0.8

Apéndice J. Características Hidráulicas Con Puente

Tabla J1 Resultados Obtenidos con el Software Hec-Ras Para un TR de 140 años

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)
1120	337.3	3291.0	3292.0	3291.8	3292.2	0.0	2.0	174.9	183.8	0.6	1.2	
1110	337.3	3291.0	3292.0		3292.2	0.0	2.1	171.9	190.5	0.7	1.1	
1100	337.3	3290.9	3291.9		3292.1	0.0	2.1	173.9	194.3	0.7	1.1	
1080	337.3	3290.7	3291.9		3292.1	0.0	2.0	186.7	204.1	0.6	1.0	1.4
1060	337.3	3290.6	3291.8		3292.0	0.0	1.8	200.9	214.9	0.6	0.8	1.0
1040	337.3	3290.5	3291.7		3291.9	0.0	2.1	203.2	220.0	0.6	1.1	1.4
1020	337.3	3290.4	3291.7		3291.8	0.0	1.5	219.6	231.8	0.5		
1000	337.3	3290.2	3291.6		3291.8	0.0	2.1	222.1	236.5	0.6	1.0	1.4
980	337.3	3290.1	3291.6		3291.7	0.0	2.1	231.4	241.0	0.6	1.1	1.4
970	337.3	3290.0	3291.6		3291.7	0.0	1.7	241.5	247.0	0.5	0.7	1.1
940	337.3	3290.0	3291.4		3291.6	0.0	2.2	192.7	230.7	0.6	0.9	1.0
920	337.3	3290.0	3291.3		3291.5	0.0	2.0	200.2	233.4	0.6	0.6	1.1
900	337.3	3290.0	3291.3		3291.5	0.0	2.0	201.6	232.9	0.6	0.8	0.9
890	337.3	3290.0	3291.3		3291.4	0.0	2.0	204.0	231.0	0.6	0.9	0.9
880	337.3	3290.0	3291.2		3291.4	0.0	2.0	201.1	231.7	0.6	0.8	1.0
860	337.3	3290.0	3291.1		3291.3	0.0	2.1	196.3	235.2	0.6	1.0	1.1
840	337.3	3290.0	3291.0		3291.2	0.0	2.4	169.1	219.6	0.8	1.2	1.3
830	337.3	3289.8	3291.0		3291.2	0.0	2.2	179.7	218.2	0.7	1.0	1.3
820	337.3	3289.7	3290.9		3291.1	0.0	2.0	199.1	219.0	0.6	0.9	1.2
800	337.3	3289.4	3290.9		3291.1	0.0	1.9	226.9	241.7	0.5	0.9	0.9
780	337.3	3289.1	3290.9		3291.0	0.0	2.0	235.4	240.5	0.5	1.0	0.9
760	337.3	3289.0	3290.8		3291.0	0.0	1.7	246.5	236.5	0.4	0.8	0.6
750	337.3	3288.9	3290.8		3291.0	0.0	1.7	255.2	239.7	0.4	0.7	0.7
740	337.3	3288.9	3290.8		3290.9	0.0	2.0	233.7	232.9	0.5	0.9	0.8
720	337.3	3288.9	3290.7		3290.9	0.0	2.2	198.8	229.6	0.6	0.9	0.8
700	337.3	3288.8	3290.6		3290.8	0.0	2.4	203.3	236.7	0.6	1.1	1.0
690	337.3	3288.3	3290.6		3290.8	0.0	2.6	220.5	247.8	0.6	1.2	1.0
660	337.3	3288.0	3290.5		3290.7	0.0	2.2	249.5	253.4	0.5	0.9	0.7
640	337.3	3288.0	3290.5		3290.7	0.0	2.3	237.7	235.4	0.5	1.0	0.8
630	337.3	3288.0	3290.5		3290.7	0.0	2.3	236.8	236.3	0.5	1.0	0.9
620	337.3	3288.0	3290.3	3290.2	3290.6	0.0	3.3	177.5	204.6	0.7	1.0	1.3
600	337.3	3288.0	3290.1	3290.1	3290.5	0.0	3.5	161.9	190.5	0.8	1.2	1.4
580	337.3	3288.0	3289.8	3290.0	3290.4	0.0	4.0	132.7	177.7	1.0	1.3	1.6
560	337.3	3288.0	3289.6	3289.8	3290.2	0.0	4.0	125.8	171.3	1.1	1.2	1.7

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)
540	337.3	3288.0	3289.8	3289.4	3290.0	0.0	2.2	210.5	203.9	0.6	1.0	1.1
520	337.3	3288.0	3289.8		3289.9	0.0	1.9	245.1	220.2	0.5	0.8	1.0
500	337.3	3287.0	3289.8		3289.9	0.0	2.0	281.5	237.3	0.4	0.9	0.9
480	337.3	3287.0	3289.8		3289.9	0.0	1.9	299.7	254.1	0.4	0.8	0.8
460	337.3	3287.0	3289.8		3289.8	0.0	1.6	319.4	263.2	0.4	0.8	0.8
440	337.3	3287.0	3289.7		3289.8	0.0	1.7	312.5	260.4	0.4	0.8	0.7
420	337.3	3287.0	3289.7		3289.8	0.0	1.9	285.1	257.5	0.4	0.8	0.8
400	337.3	3287.0	3289.6		3289.8	0.0	2.2	254.9	244.0	0.4	0.9	0.8
380	337.3	3287.0	3289.5		3289.7	0.0	2.5	216.9	230.4	0.5	1.1	0.9
360	337.3	3287.0	3289.4		3289.7	0.0	2.6	202.1	230.5	0.6	1.1	0.8
340	337.3	3287.0	3289.4	3289.0	3289.6	0.0	2.6	196.4	231.3	0.6	0.9	0.8
320	337.3	3286.9	3288.9	3288.9	3289.5	0.0	3.7	123.0	137.1	0.9	1.3	1.4
300	337.3	3286.4	3288.6	3288.8	3289.3	0.0	4.2	110.8	150.3	1.1	1.1	1.6
280	337.3	3286.8	3288.8	3288.6	3289.1	0.0	2.5	185.4	173.9	0.6	1.2	1.1
260	337.3	3286.9	3288.8		3289.0	0.0	2.1	193.2	180.2	0.5	0.9	0.8
240	337.3	3286.9	3288.8		3289.0	0.0	2.2	193.2	180.8	0.5	1.0	0.8
220	337.3	3286.9	3288.7		3288.9	0.0	2.0	219.3	224.9	0.5	0.9	0.8
200	337.3	3287.0	3288.8		3288.9	0.0	1.5	263.7	203.0	0.4	0.4	0.9
180	337.3	3287.0	3288.7		3288.8	0.0	1.7	252.4	233.5	0.4	0.5	0.8
160	337.3	3287.0	3288.6		3288.8	0.0	1.9	221.5	229.3	0.5	0.7	0.8
140	337.3	3287.0	3288.6		3288.7	0.0	2.1	206.4	222.7	0.6	0.8	1.0
120	337.3	3287.0	3288.6		3288.7	0.0	1.7	241.1	225.8	0.5	0.8	0.9
100	337.3	3287.0	3288.5		3288.6	0.0	1.6	252.3	221.4	0.4	0.7	0.8
80	337.3	3287.0	3288.5		3288.6	0.0	1.4	253.1	219.6	0.4	0.4	0.5
60	337.3	3287.0	3288.5		3288.6	0.0	1.5	243.0	223.0	0.4	0.5	0.7
40	337.3	3287.0	3288.4		3288.6	0.0	1.6	231.4	218.1	0.4	0.5	0.7
20	337.3	3287.0	3288.3		3288.5	0.0	1.9	207.9	215.5	0.5	0.8	0.9
0	337.3	3287.0	3288.3	3287.9	3288.4	0.0	2.0	181.4	201.3	0.6	0.5	0.8

Tabla J2 Resultados Obtenidos con el Software Hec-Ras Para un TR de 500 años

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)
1120	462.4	3291.0	3292.2	3292.0	3292.5	0.0	2.3	210.4	183.8	0.7	1.5	
1110	462.4	3291.0	3292.2		3292.4	0.0	2.3	209.5	190.5	0.7	1.4	
1100	462.4	3290.9	3292.1		3292.4	0.0	2.3	212.5	194.3	0.7	1.4	
1080	462.4	3290.7	3292.1		3292.3	0.0	2.2	228.5	204.1	0.6	1.3	1.6
1060	462.4	3290.6	3292.0		3292.2	0.0	2.0	246.2	214.9	0.6	1.0	1.1
1040	462.4	3290.5	3292.0		3292.2	0.0	2.3	251.1	222.2	0.6	1.3	1.6
1020	462.4	3290.4	3291.9		3292.1	0.0	1.7	272.2	235.9	0.5		
1000	462.4	3290.2	3291.9		3292.0	0.0	2.3	276.1	250.2	0.6	1.2	1.5
980	462.4	3290.1	3291.8		3292.0	0.0	2.3	286.8	253.5	0.6	1.2	1.6
970	462.4	3290.0	3291.8		3291.9	0.0	1.9	298.2	260.0	0.5	0.8	1.3
940	462.4	3290.0	3291.6		3291.8	0.0	2.4	244.0	243.3	0.6	1.1	1.2
920	462.4	3290.0	3291.6		3291.8	0.0	2.2	253.0	251.2	0.6	0.8	1.3
900	462.4	3290.0	3291.5		3291.7	0.0	2.2	253.6	253.9	0.6	0.9	1.1
890	462.4	3290.0	3291.5		3291.7	0.0	2.2	255.4	250.4	0.6	0.9	1.1
880	462.4	3290.0	3291.4		3291.7	0.0	2.2	253.3	248.4	0.6	0.9	1.2
860	462.4	3290.0	3291.4		3291.6	0.0	2.2	251.3	248.8	0.6	1.1	1.3
840	462.4	3290.0	3291.3		3291.5	0.0	2.4	232.2	247.6	0.7	1.1	1.5
830	462.4	3289.8	3291.2		3291.5	0.0	2.3	244.5	247.8	0.6	1.0	1.4
820	462.4	3289.7	3291.2		3291.4	0.0	2.1	264.5	248.2	0.6	0.9	1.3
800	462.4	3289.4	3291.2		3291.4	0.0	2.1	300.9	268.9	0.5	0.9	1.1
780	462.4	3289.1	3291.2		3291.3	0.0	2.2	309.5	263.5	0.5	1.0	1.1
760	462.4	3289.0	3291.1		3291.3	0.0	1.9	317.8	253.9	0.4	0.9	0.8
750	462.4	3288.9	3291.1		3291.3	0.0	1.9	327.1	253.0	0.4	0.8	0.9
740	462.4	3288.9	3291.1		3291.2	0.0	2.1	305.3	245.8	0.5	0.9	1.0
720	462.4	3288.9	3291.0		3291.2	0.0	2.2	277.0	241.4	0.5	1.0	1.0
700	462.4	3288.8	3291.0		3291.2	0.0	2.3	295.4	266.4	0.5	1.1	1.1
690	462.4	3288.3	3291.0		3291.1	0.0	2.4	321.2	275.3	0.5	1.2	1.1
660	462.4	3288.0	3290.9		3291.1	0.0	2.2	350.3	275.3	0.4	1.0	0.9
640	462.4	3288.0	3290.9		3291.1	0.0	2.3	332.6	257.2	0.4	1.1	0.9
630	462.4	3288.0	3290.9		3291.0	0.0	2.3	333.9	256.4	0.5	1.1	1.0
620	462.4	3288.0	3290.8		3291.0	0.0	2.7	296.2	237.8	0.5	0.9	1.2
600	462.4	3288.0	3290.8		3291.0	0.0	2.6	298.3	232.8	0.5	1.0	1.2
580	462.4	3288.0	3290.8		3290.9	0.0	2.2	337.2	239.1	0.4	1.0	1.1
560	462.4	3288.0	3290.8		3290.9	0.0	2.0	374.9	248.7	0.4	1.0	1.0

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)
540	462.4	3288.0	3290.8		3290.9	0.0	1.5	445.0	263.2	0.3	0.8	0.8
520	462.4	3288.0	3290.8		3290.8	0.0	1.3	494.5	269.4	0.3	0.7	0.7
500	462.4	3287.0	3290.8		3290.8	0.0	1.4	556.7	290.6	0.2	0.7	0.7
480	462.4	3287.0	3290.8		3290.8	0.0	1.3	592.1	301.1	0.2	0.7	0.7
460	462.4	3287.0	3290.8		3290.8	0.0	1.1	617.4	300.4	0.2	0.6	0.6
440	462.4	3287.0	3290.8		3290.8	0.0	1.2	613.7	296.1	0.2	0.6	0.6
420	462.4	3287.0	3290.8		3290.8	0.0	1.2	596.9	298.4	0.2	0.6	0.6
400	462.4	3287.0	3290.7		3290.8	0.0	1.3	572.2	295.1	0.2	0.6	0.7
380	462.4	3287.0	3290.7		3290.8	0.0	1.4	547.0	291.1	0.2	0.5	0.7
360	462.4	3287.0	3290.7		3290.8	0.0	1.3	554.5	285.6	0.2	0.6	0.7
340	462.4	3287.0	3290.7		3290.8	0.0	1.3	563.1	279.5	0.2	0.7	0.6
320	462.4	3286.9	3289.8	3289.5	3290.7	0.0	4.2	115.7	45.0	0.8	1.8	1.6
310	Bridge											
300	462.4	3286.4	3289.4	3289.4	3290.5	0.0	4.8	101.8	45.0	1.0	2.4	
280	462.4	3286.8	3288.3	3288.8	3290.0	0.0	6.3	92.4	145.2	1.9	1.7	2.6
260	462.4	3286.9	3289.0	3288.6	3289.3	0.0	2.5	236.4	230.1	0.6	1.1	0.8
240	462.4	3286.9	3289.0		3289.3	0.0	2.5	236.3	193.5	0.6	1.2	1.0
220	462.4	3286.9	3289.0		3289.2	0.0	2.2	275.2	235.6	0.5	1.1	1.0
200	462.4	3287.0	3289.0		3289.1	0.0	1.8	314.2	226.9	0.4	0.6	1.0
180	462.4	3287.0	3289.0		3289.1	0.0	1.9	310.3	240.0	0.4	0.6	0.9
160	462.4	3287.0	3288.9		3289.1	0.0	2.1	278.3	236.0	0.5	0.8	1.0
140	462.4	3287.0	3288.8		3289.0	0.0	2.3	262.7	228.6	0.6	0.9	1.2
120	462.4	3287.0	3288.8		3289.0	0.0	1.9	298.3	236.6	0.5	0.9	1.0
100	462.4	3287.0	3288.8		3288.9	0.0	1.8	308.1	234.1	0.4	0.8	0.9
80	462.4	3287.0	3288.8		3288.9	0.0	1.6	307.9	229.8	0.4	0.5	0.7
60	462.4	3287.0	3288.7		3288.9	0.0	1.7	297.7	233.0	0.4	0.6	0.8
40	462.4	3287.0	3288.7		3288.8	0.0	1.8	284.7	232.7	0.5	0.6	0.9
20	462.4	3287.0	3288.6		3288.8	0.0	2.2	258.8	235.9	0.6	0.9	1.0

Apéndice K. Socavación General

Figura K1 Resultados obtenidos en la sección del puente

Plan: Plan 01 Moyocc rio RS: 310 Profile: TR 500				
E.G. US. (m)	3290.67	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	3289.81	E.G. Elev (m)	3290.66	3290.62
Q Total (m3/s)	462.40	W.S. Elev (m)	3289.84	3289.86
Q Bridge (m3/s)	462.40	Crit W.S. (m)	3289.49	3289.39
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	2.93	3.48
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	3.96	3.76
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	116.82	123.02
Weir Submerg		Froude # Chl	0.79	0.74
Weir Max Depth (m)		Specf Force (m3)	343.04	356.18
Min El Weir Flow (m)	3294.00	Hydr Depth (m)	2.60	2.73
Min El Prs (m)	3292.00	W.P. Total (m)	45.12	45.25
Delta EG (m)	0.17	Conv. Total (m3/s)	6843.7	7465.2
Delta WS (m)	0.42	Top Width (m)	45.00	45.00
BR Open Area (m2)	214.21	Frctn Loss (m)	0.02	0.07
BR Open Vel (m/s)	3.96	C & E Loss (m)	0.02	0.04
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	115.91	102.29
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	458.79	384.48

Tabla K1 Resultados de la Socavación en la Sección Aguas Arriba del Puente

Eje X	Cota Terreno (msnm)	Nivel de aguas (msnm)	Estratos Involucrado	Tirante (m)	Caudal (m3/s)	Área (m2)	Tirante Prom. (m)	Ancho Libre (m)	Coef. Alfa
0.0	3288.6	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.2	-	-	0.0		0.6
5.0	3288.6	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.3	3.9	6.2	1.2	5.0	0.6
10.0	3288.5	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.4	4.9	6.4	1.3	5.0	0.6
15.0	3287.9	3289.8	Soc. 1er Estrato	2.0	6.0	7.9	1.7	5.0	0.5
19.4	3287.5	3289.8	Soc. 1er Estrato	2.3	7.3	9.6	2.1	4.4	0.5
24.2	3287.3	3289.8	Soc. 1er Estrato	2.5	13.5	11.8	2.4	4.8	0.7
29.1	3287.1	3289.8	Soc. 1er Estrato	2.8	14.8	12.8	2.7	4.8	0.6
33.9	3286.6	3289.8	Soc. 1er Estrato	3.3	19.3	14.6	3.0	4.8	0.6
38.7	3286.3	3289.8	Soc. 1er Estrato	3.5	22.9	17.4	3.4	4.8	0.6
43.6	3286.2	3289.8	Soc. 1er Estrato	3.7	23.1	17.4	3.6	4.8	0.6
48.4	3286.2	3289.8	Soc. 1er Estrato	3.7	23.7	17.8	3.7	4.8	0.6
53.3	3286.2	3289.8	Soc. 1er Estrato	3.7	23.7	17.8	3.7	4.8	0.6
58.1	3286.5	3289.8	Soc. 1er Estrato	3.3	23.1	17.4	3.5	4.8	0.6
63.0	3288.5	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.4	12.4	10.6	2.3	4.8	0.6
67.8	3288.4	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.4	4.7	6.7	1.4	4.8	0.6
75.5	3288.3	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.5	8.0	11.3	1.5	7.7	0.6
83.3	3288.3	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.6	7.6	11.9	1.5	7.7	0.5
91.0	3288.2	3289.8	Soc. 1er Estrato	1.6	8.0	12.5	1.6	7.7	0.5

Eje X	Descripción Material	Prof. del estrato (m)	Margen	Tipo de Suelo	Dm mm	Valor de z	Ys (Suelo no cohesivo)	Prof. de erosión (m)	Cota de socavación (msnm)
0.0	Arena con gravilla - prof. 10 m	2.5	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	0.00	0.00	3288.6
5.0	Arena con gravilla - prof. 10 m	2.4	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	1.38	0.12	3288.5
10.0	Arena con gravilla - prof. 10 m	2.3	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	1.61	0.24	3288.2
15.0	Arena con gravilla - prof. 10 m	2.1	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	1.86	0.00	3287.9
19.4	Arena con gravilla - prof. 10 m	2.2	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	2.36	0.05	3287.5
24.2	Arena con gravilla - prof. 10 m	2.2	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	3.39	0.85	3286.5
29.1	Arena con gravilla - prof. 10 m	2.6	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	3.61	0.82	3286.2
33.9	Grava -prof. 6.08 m	2.1	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	2.20	0.00	3286.6
38.7	Grava -prof. 6.08 m	5.0	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	2.50	0.00	3286.3
43.6	Grava -prof. 6.08 m	5.6	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	2.51	0.00	3286.2
48.4	Grava -prof. 6.08 m	5.8	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	2.56	0.00	3286.2
53.3	Grava -prof. 6.08 m	4.6	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	2.56	0.00	3286.2
58.1	Grava -prof. 6.08 m	2.4	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	2.51	0.00	3286.5
63.0	Arena con gravilla - prof. 7.5 m	5.2	Izq.	No Cohesivo	0.1	0.43	3.92	2.57	3285.9
67.8	Arena con gravilla - prof. 7.5 m	4.7	Izq.	No Cohesivo	0.1	0.43	2.00	0.59	3287.8
75.5	Arena con gravilla - prof. 7.5 m	4.0	Izq.	No Cohesivo	0.1	0.43	2.09	0.58	3287.8
83.3	Arena con gravilla - prof. 7.5 m	3.5	Izq.	No Cohesivo	0.1	0.43	2.01	0.44	3287.8
91.0	Arena con gravilla - prof. 7.5 m	3.0	Izq.	No Cohesivo	0.1	0.43	2.09	0.44	3287.8

Análisis de los resultados

Estrato 1:

 Espesor = **5.84 m**

 Socavación = **2.57 m**

Tabla K2 Resultados de la Socavación en la Sección Aguas Abajo del Puente

Eje X	Cota Terreno (msnm)	Nivel de aguas (msnm)	Estratos Involucrado	Tirante (m)	Caudal (m ³ /s)	Área (m ²)	Tirante Prom. (m)	Ancho Libre (m)	Coef. Alfa
0.0	3287.6	3289.9	Soc. 1er Estrato	2.2			0.0	0.0	0.1
5.4	3287.4	3289.9	Soc. 1er Estrato	2.5	1.4	0.5	2.4	5.4	0.1
10.8	3287.1	3289.9	Soc. 1er Estrato	2.7	10.2	1.9	2.6	5.4	0.4
16.2	3286.7	3289.9	Soc. 1er Estrato	3.2	22.0	3.6	3.0	5.4	0.7
21.6	3286.4	3289.9	Soc. 1er Estrato	3.5	50.9	7.3	3.3	5.4	1.3
27.0	3286.2	3289.9	Soc. 1er Estrato	3.7	52.0	7.3	3.6	5.4	1.2
32.4	3286.2	3289.9	Soc. 1er Estrato	3.7	55.5	7.9	3.7	5.4	1.2
37.8	3286.2	3289.9	Soc. 1er Estrato	3.7	55.1	7.8	3.7	5.4	1.2
43.2	3287.4	3289.9	Soc. 1er Estrato	2.4	31.9	6.2	3.4	16.2	0.3

Eje X	Descripción Material	Prof. del estrato (m)	Margen	Tipo de Suelo	Dm (mm)	Valor de z	Ys (Suelo no cohesivo)	Prof. de erosión (m)	Cota de socavación (msnm)
0.0	Arena con gravilla prof. 10 m	2.1	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	0.00	0.00	3287.6
5.4	Arena con gravilla prof. 10 m	2.2	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	0.64	0.00	3287.4
10.8	Arena con gravilla prof. 10 m	2.2	Der.	No Cohesivo	0.3	0.42	2.57	0.00	3287.1
16.2	Grava -prof. 6.08 m	2.1	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	2.23	0.00	3286.7
21.6	Grava -prof. 6.08 m	5.0	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	4.18	0.68	3285.7
27.0	Grava -prof. 6.08 m	5.6	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	4.25	0.55	3285.6
32.4	Grava -prof. 6.08 m	5.7	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	4.46	0.76	3285.4
37.8	Grava -prof. 6.08 m	4.2	Cauce	No Cohesivo	12.0	0.34	4.43	0.77	3285.4
43.2	Arena con gravilla prof. 7.5 m	4.2	Izq.	No Cohesivo	0.1	0.43	3.27	0.84	3286.6

Análisis de los resultados

Estrato 1:

Espesor = **5.72 m**Socavación = **0.84 m**

Apéndice L. Curvas Granulométricas

Tabla L1 Análisis Granulométrico para el sondaje CH-01

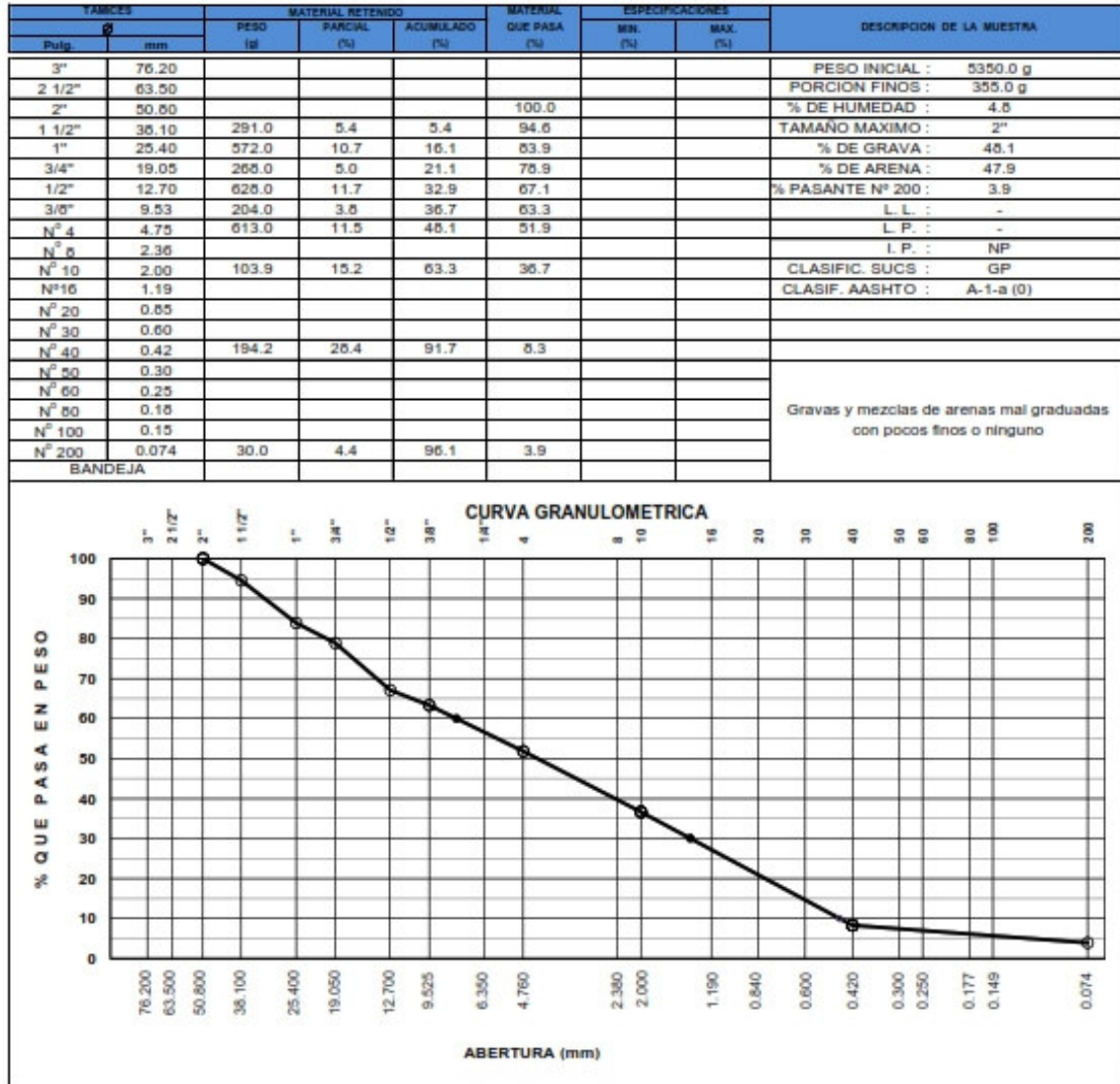
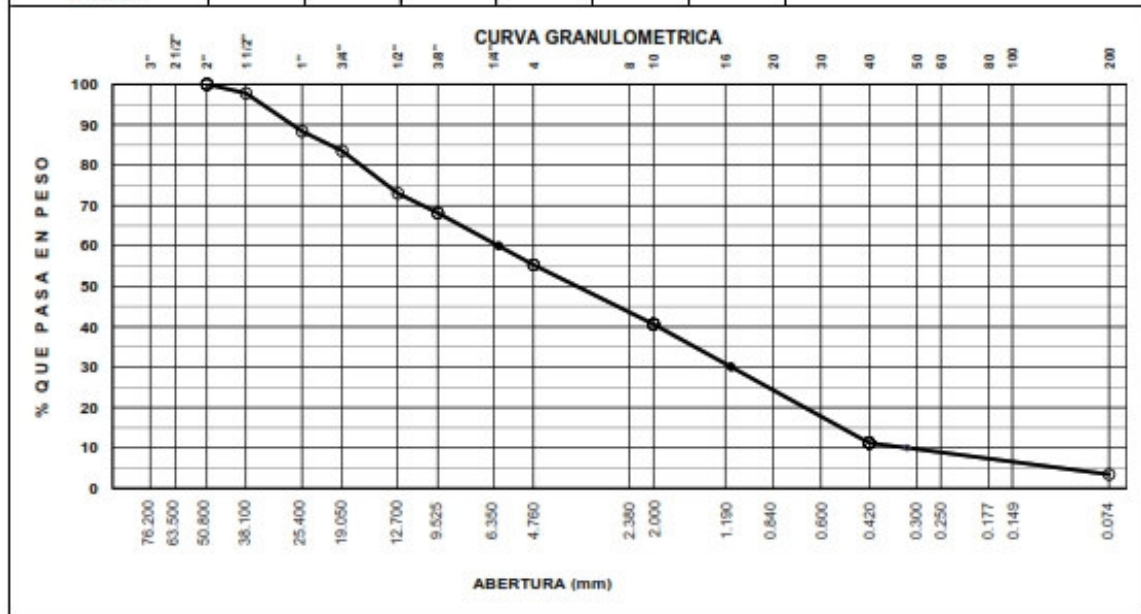


Tabla L2 Análisis Granulométrico para el sondaje CH-02

TAMICES		MATERIAL RETENIDO			MATERIAL QUE PASA (%)	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
Pulg.	mm	PESO (g)	PARCIAL (%)	ACUMULADO (%)		MIN. (%)	MAX. (%)	
3"	76.20							PESO INICIAL : 5255.0 g
2 1/2"	63.50							PORCION FINOS : 336.0 g
2"	50.80				100.0			% DE HUMEDAD : 10.4
1 1/2"	38.10	118.0	2.2	2.2	97.8			TAMAÑO MAXIMO : 2"
1"	25.40	497.0	9.4	11.6	88.4			% DE GRAVA : 44.7
3/4"	19.05	254.0	4.8	16.4	83.6			% DE ARENA : 51.9
1/2"	12.70	557.0	10.5	27.0	73.0			% PASANTE Nº 200 : 3.4
3/8"	9.53	257.0	4.9	31.8	68.2			L.L. : -
Nº 4	4.75	679.0	12.8	44.7	55.3			L.P. : -
Nº 8	2.36							I.P. : NP
Nº 10	2.00	89.8	14.7	59.4	40.6			CLASIFIC. SUCS : SP
Nº 16	1.19							CLASIF. AASHTO : A-1-a (0)
Nº 20	0.85							
Nº 30	0.60							
Nº 40	0.42	179.5	29.4	88.8	11.2			
Nº 50	0.30							
Nº 60	0.25							
Nº 80	0.18							
Nº 100	0.15							
Nº 200	0.074	47.7	7.8	96.6	3.4			
BANDEJA								

Arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o ninguno



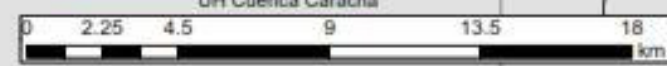
MAPAS

575000

800000

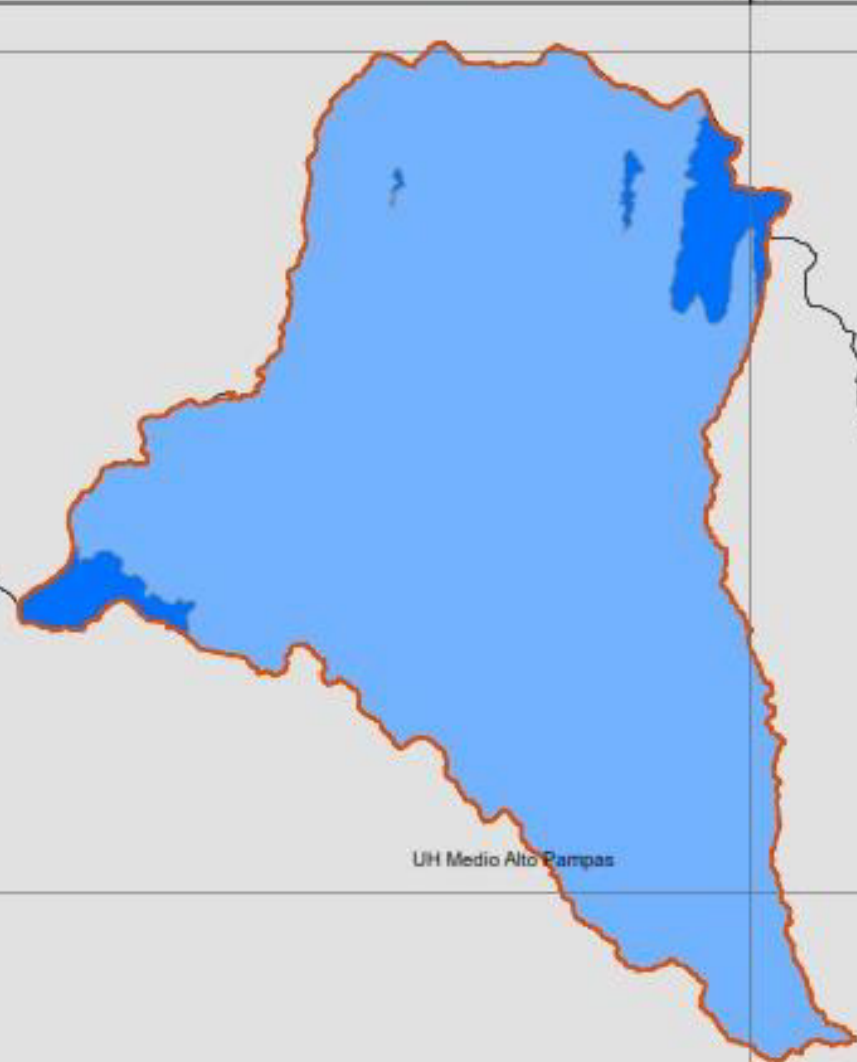
8525000

8525000



NOTAS:

1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18, DATUM WGS84.
2. CUENCA DELIMITADA USANDO EL DEM DEL SATELITE ALOS PALSAR.
3. FUENTES: CLIMATOLOGÍA (ZEE AYACUCHO) CUENCAS HIDROGRÁFICAS (ANA)



LEYENDA	
	Cuenca de Estudio
	Cuencas Hidrográficas (ANA)
PRECIPITACION MULTIANUAL	
	600 - 800 mm/año
	800 - 1000 mm/año

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUNTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOCC - CANGALLO - AYACUCHO- 2020	
Mapa: PRECIPITACIÓN MULTIANUAL EN LA CUENCA	Lámina:
Ítem: Clima	Asesor: -
Ubicación: Cangallo - Ayacucho	Autor SIG: Bach. Eric Alberto Espinoza Acosta
Mapa 01	
Escala: 1:150,000	

575000

800000

8500000

8500000

575000

800000

8325000

8300000

Mapa de Ubicación Nacional



Mapa de Ubicación Regional



UH Cuenca Huarpa

UH Medio Bajo Pampas

UH Medio Alto Pampas

LEYENDA

- Cuenca de Estudio
- Cuencas Hidrográficas (ANA)

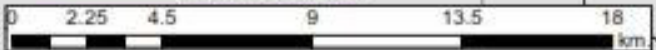
TEMPERATURA MEDIA ANUAL

- 8 - 12 °C

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOCC - CANGALLO - AYACUCHO - 2020

Mapa: TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN LA CUENCA		Lámina:
Ítem: Clima	Asesor: -	Mapa 02
Ubicación: Cangallo - Ayacucho	Autor SIG: Bach. Eric Alberto Espinoza Acosta	

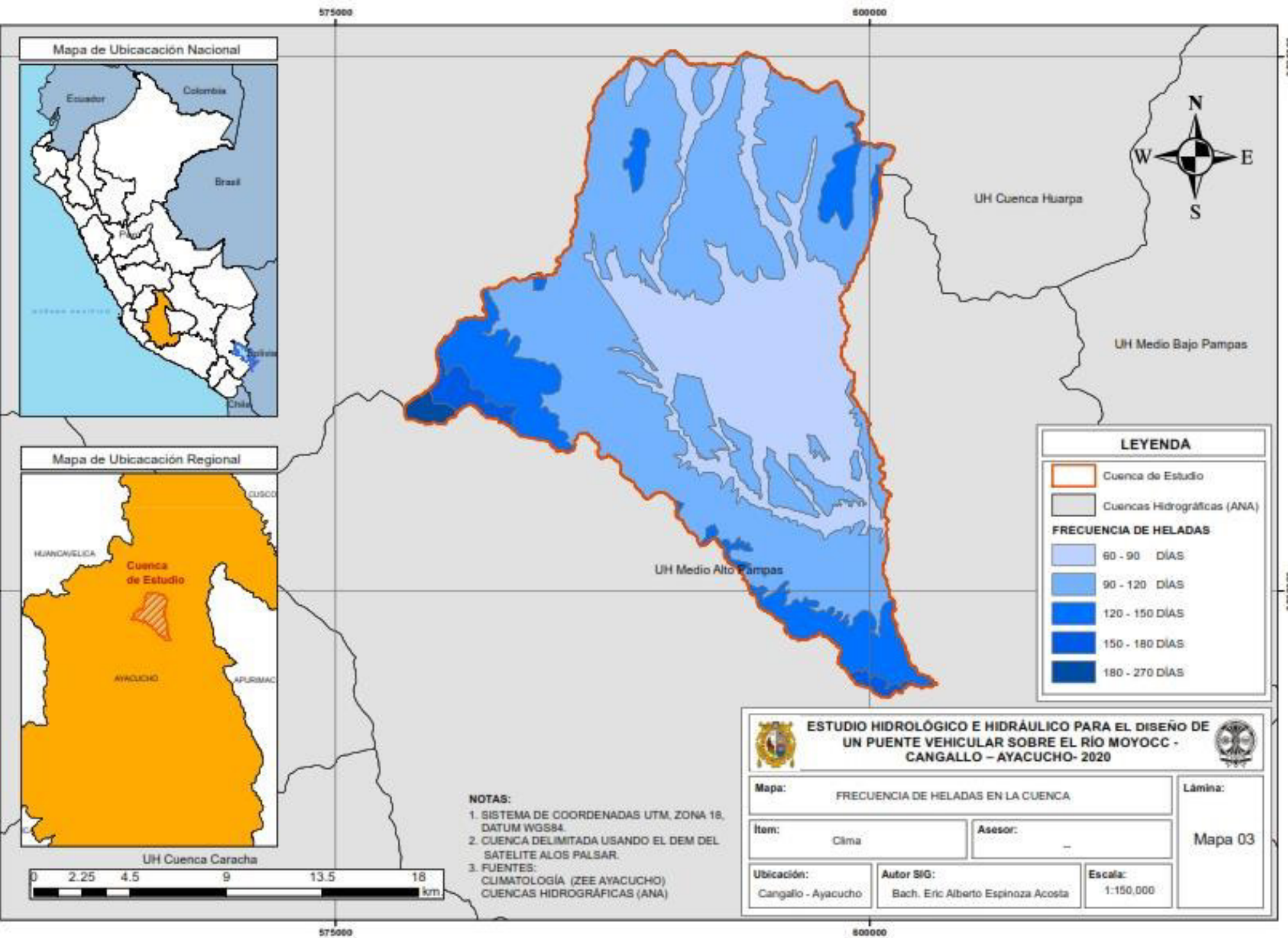
- NOTAS:**
1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18, DATUM WGS84.
 2. CUENCA DELIMITADA USANDO EL DEM DEL SATELITE ALOS PALSAR.
 3. FUENTES: CLIMATOLOGÍA (ZEE AYACUCHO) CUENCAS HIDROGRÁFICAS (ANA)



575000

800000

8300000



Mapa de Ubicación Nacional



Mapa de Ubicación Regional



LEYENDA

- Cuenca de Estudio
- Cuencas Hidrográficas (ANA)

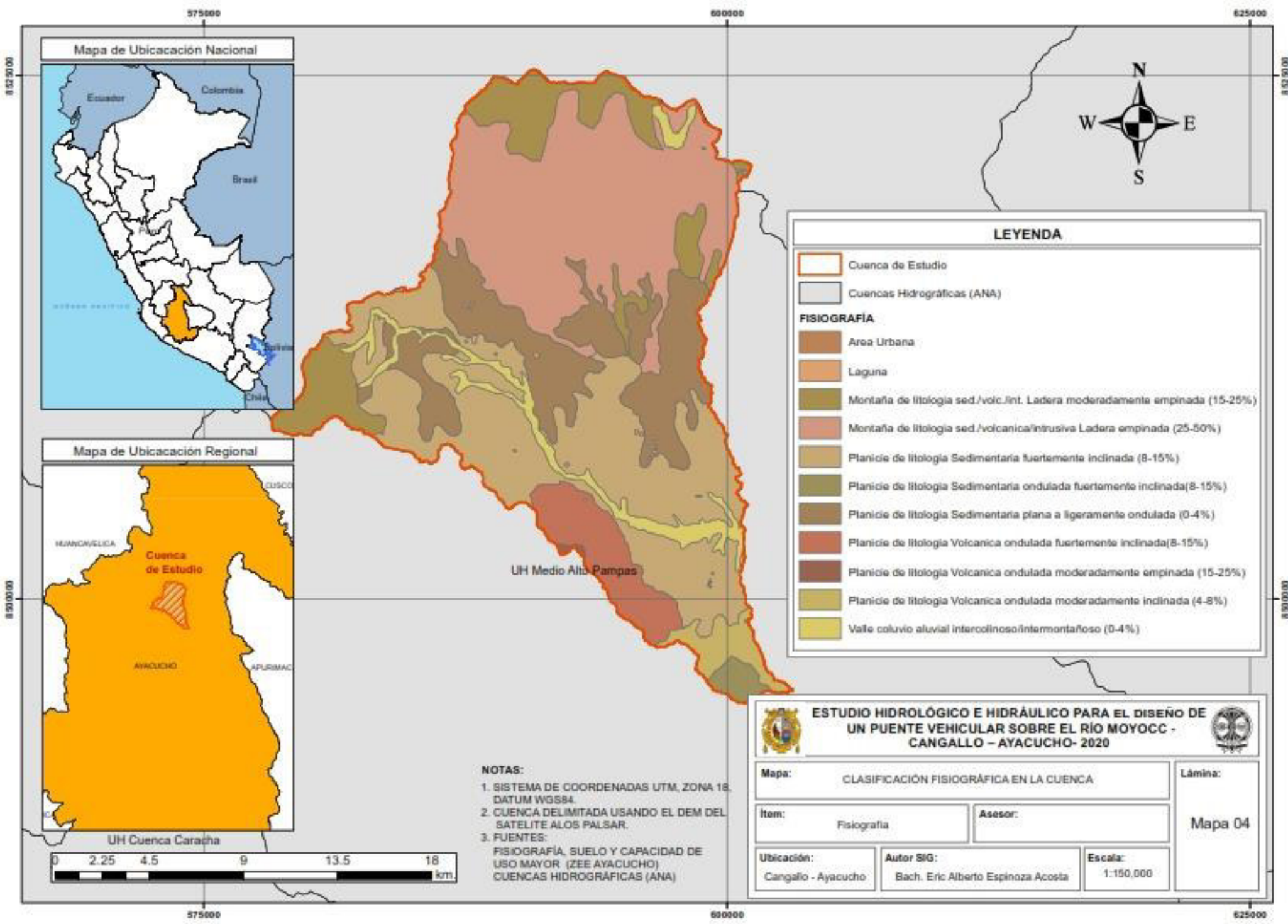
FRECUENCIA DE HELADAS

- 60 - 90 DÍAS
- 90 - 120 DÍAS
- 120 - 150 DÍAS
- 150 - 180 DÍAS
- 180 - 270 DÍAS

- NOTAS:**
1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18, DATUM WGS84.
 2. CUENCA DELIMITADA USANDO EL DEM DEL SATELITE ALOS PALSAR.
 3. FUENTES: CLIMATOLOGÍA (ZEE AYACUCHO) CUENCAS HIDROGRÁFICAS (ANA)

<p>ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOC - CANGALLO - AYACUCHO - 2020</p>		
Mapa: FRECUENCIA DE HELADAS EN LA CUENCA		Lámina:
Item: Clima	Asesor: -	
Ubicación: Cangallo - Ayacucho	Autor SIG: Bach. Eric Alberto Espinoza Acosta	Escala: 1:150,000
		Mapa 03





LEYENDA

- Cuenca de Estudio
- Cuencas Hidrográficas (ANA)
- FISIOGRAFÍA**
- Area Urbana
- Laguna
- Montaña de litología sed./volc./int. Ladera moderadamente empinada (15-25%)
- Montaña de litología sed./volcanica/intrusiva Ladera empinada (25-50%)
- Planicie de litología Sedimentaria fuertemente inclinada (8-15%)
- Planicie de litología Sedimentaria ondulada fuertemente inclinada(8-15%)
- Planicie de litología Sedimentaria plana a ligeramente ondulada (0-4%)
- Planicie de litología Volcanica ondulada fuertemente inclinada(8-15%)
- Planicie de litología Volcanica ondulada moderadamente empinada (15-25%)
- Planicie de litología Volcanica ondulada moderadamente inclinada (4-8%)
- Valle coluvio aluvial intercolinoso/intermontafoso (0-4%)

- NOTAS:**
1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18, DATUM WGS84.
 2. CUENCA DELIMITADA USANDO EL DEM DEL SATELITE ALOS PALSAR.
 3. FUENTES:
FISIOGRAFÍA, SUELO Y CAPACIDAD DE USO MAYOR (ZEE AYACUCHO)
CUENCAS HIDROGRÁFICAS (ANA)



ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOCC - CANGALLO - AYACUCHO - 2020		
Mapa:	CLASIFICACIÓN FISIOGRÁFICA EN LA CUENCA	Lámina:
Item:	Fisiografía	Asesor:
Ubicación:	Cangallo - Ayacucho	Autor SIG:
	Bach. Eric Alberto Espinoza Acosta	Escala:
		1:150,000
		Mapa 04

575000

500000

8320000

8320000



NOTAS:

1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18, DATUM WGS84.
2. CUENCA DELIMITADA USANDO EL DEM DEL SATELITE ALOS PALSAR.
3. FUENTES:
FISIOGRAFÍA, SUELO Y CAPACIDAD DE USO MAYOR (ZEE AYACUCHO)
CUENCAS HIDROGRÁFICAS (ANA)

UH Cuenca Huarpa

UH Medio Alto Pampas

UH Cuenca Caracha



LEYENDA

- Cuenca de Estudio
- Cuencas Hidrográficas (ANA)

SUELOS

- Area Urbana
- Lagunas
- Lithic Cryopsamments
- Lithic Cryorthents
- Lithic Haplocryands
- Typic Haplocryands
- Typic Haplustands
- Typic Ustorthents
- Vermic Udorthents

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOCC - CANGALLO - AYACUCHO - 2020

Mapa:	TIPOS DE SUELOS EN LA CUENCA	Lámina:	Mapa 05
Item:	Suelos	Asesor:	
Ubicación:	Cangallo - Ayacucho	Autor SIG:	Bach. Eric Alberto Espinoza Acosta
		Escala:	1:150,000

575000

500000

8300000

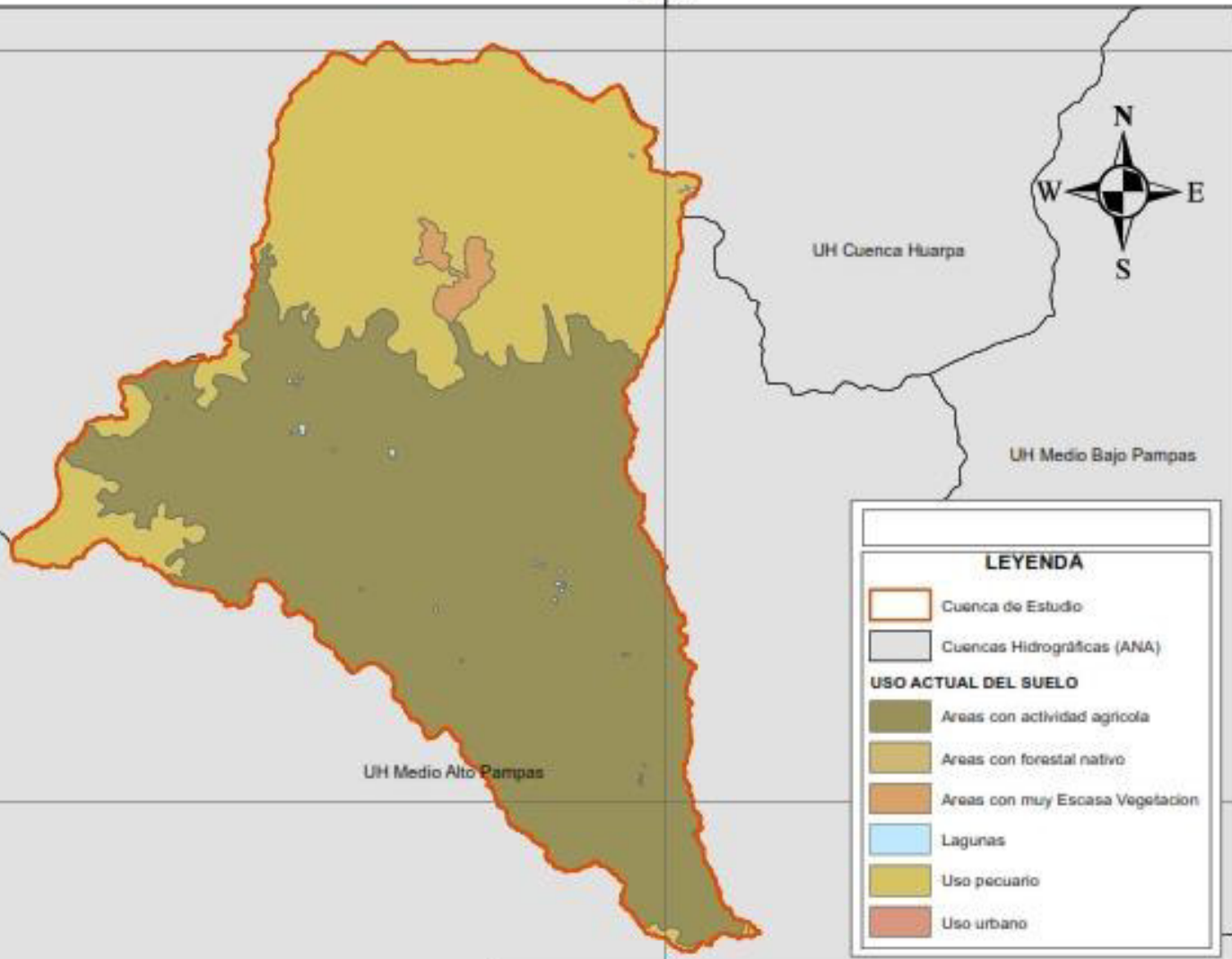
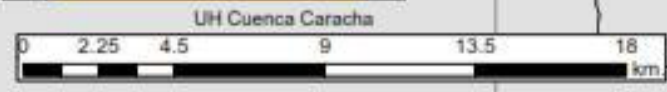
8300000

575000

600000

8523000

8523000



LEYENDA

- Cuenca de Estudio
- Cuencas Hidrográficas (ANA)

USO ACTUAL DEL SUELO

- Areas con actividad agrícola
- Areas con forestal nativo
- Areas con muy Escasa Vegetación
- Lagunas
- Uso pecuario
- Uso urbano

NOTAS:

1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18, DATUM WGS84.
2. CUENCA DELIMITADA USANDO EL DEM DEL SATELITE ALOS PALSAR.
3. FUENTES: FISIOGRAFIA, SUELO Y CAPACIDAD DE USO MAYOR (ZEE AYACUCHO), CUENCAS HIDROGRÁFICAS (ANA)

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOC - CANGALLO - AYACUCHO - 2020

Mapa: TIPOS DE USOS DE SUELOS EN LA CUENCA		Lámina:
Ítem: Uso actual de suelos	Asesor: -	Mapa 06
Ubicación: Cangallo - Ayacucho	Autor SIG: Bach. Eric Alberto Espinoza Acosta	
		Escala: 1:150,000

575000

600000

8500000

8500000

575000

600000

8 52 30 00

8 50 00 00

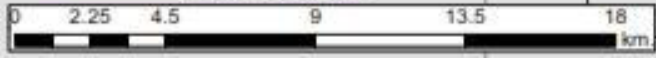
Mapa de Ubicación Nacional



Mapa de Ubicación Regional



UH Cuenca Caracha



- NOTAS:**
1. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18, DATUM WGS84.
 2. CUENCA DELIMITADA USANDO EL DEM DEL SATELITE ALOS PALSAR.
 3. FUENTES: COBERTURA VEGETAL (ZEE AYACUCHO) CUENCAS HIDROGRÁFICAS (ANA)





UH Cuenca Huarpa

UH Medio Alto Pampas

LEYENDA

- Cuenca de Estudio
- Cuencas Hidrográficas (ANA)
- VEGETACIÓN**
 - Áreas Urbanas
 - Áreas con muy Escasa Vegetación
 - Áreas de Cultivo
 - Bofedales
 - Bosque de Titaná
 - Césped de Puna
 - Lagunas
 - Pajonal

 ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO MOYOC - CANGALLO - AYACUCHO - 2020 					
Mapa:	COBERTURA VEGETAL EN LA CUENCA		Lámina:	Mapa 07	
Ítem:	Vegetación	Asesor:	-		
Ubicación:	Cangallo - Ayacucho	Autor SIG:	Bach. Eric Alberto Espinoza Acosta	Escala:	1:150,000

575000

600000

8 50 00 00